AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL CON 5G O SUPERIOR

CAMPO DE LA TÉCNICA

[0001] La presente divulgación está relacionada con redes de comunicaciones inalámbricas y describe la arquitectura de la red, los dispositivos inalámbricos y los nodos de la red inalámbrica adecuados para aplicaciones industriales, utilizando una quinta generación (5G) u otra red de comunicaciones inalámbricas.

ANTECEDENTES

[0002] La quinta generación de tecnología móvil (5G) podrá proporcionar una variedad de servicios más amplia que las tecnologías 3G/4G existentes. Los tres casos de uso principales de 5G son los siguientes: Banda ancha móvil mejorada (eMBB), tipo de comunicación de máquina masiva (mMTC) y comunicación de baja latencia ultra confiable (URLLC). Un objetivo clave del sistema 5G es poder soportar los estrictos requisitos del sistema de los mercados verticales. Esos requisitos incluyen el soporte simultáneo de múltiples combinaciones de confiabilidad, latencia, rendimiento, posicionamiento y disponibilidad, así como implementaciones locales con capacidad de supervivencia local, datos/enrutamiento locales, administraciones locales, seguridad, integridad de datos y privacidad.

[0003] En la Figura 1, se ilustra una perspectiva de red industrial del sistema 5G. Los requisitos de rendimiento del servicio provienen de las aplicaciones de automatización. El sistema 5G proporciona el servicio de comunicación a las aplicaciones de automatización. Para admitir la automatización en dominios verticales, los sistemas 5G deben ser confiables y flexibles para cumplir con los requisitos de rendimiento del servicio para atender aplicaciones y casos de uso específicos. Deben venir con las propiedades del sistema de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, seguridad e integridad.

[0004] Las especificaciones para 5G están siendo desarrolladas por miembros del Proyecto de Asociación de la 3.ª Generación (3GPP). El documento “Requisitos de servicio para aplicaciones de control ciberfísico en dominios verticales, etapa 1”, 3GPP TS 22.104, v.16.0.0 (enero de 2019), especifica los requisitos que proporcionan varios conjuntos de criterios de rendimiento que deben cumplirse para admitir satisfactoriamente diferentes casos de uso de aplicaciones de control ciberfísico utilizadas por varios mercados verticales.

[0005] En el espacio de aplicaciones industriales, los requisitos incluyen soporte para servicios mixtos en entornos de fábrica y fabricación, incluido el soporte para diferentes niveles de servicio, tales como comunicaciones masivas tipo máquina (mMTC), banda ancha móvil mejorada (eMBB) y tráfico de comunicaciones de baja latencia ultra confiable (URLLC) en la misma implementación. Se necesita apoyo para el servicio determinista industrial. También se requiere la integración entre el Sistema 5G (5GS) y las redes industriales existentes. Se requiere interoperabilidad, incluido el soporte para redes no públicas y la interoperabilidad con la red pública terrestre móvil (PLMN).

[0006] Con respecto a la disponibilidad y a la confiabilidad del sistema, el sistema 5G como proveedor de servicios de comunicación deberá cumplir con la definición de 3GPP de disponibilidad y confiabilidad. La disponibilidad del servicio de comunicación se define como el valor porcentual de la cantidad de tiempo que se entrega el servicio de comunicación de un extremo a otro de acuerdo con una calidad de servicio (QoS) acordada, dividida por la cantidad de tiempo que se espera que el sistema entregue el servicio de punta según la memoria en un área específica. La disponibilidad requerida debe determinarse por aspectos comerciales considerando la compensación entre la pérdida monetaria en momentos en que el sistema no está disponible y la complejidad para aumentar la disponibilidad, por ejemplo, aumentando la redundancia. Se apreciará que la disponibilidad superior al 99,95% normalmente requiere una

fuente de alimentación adicional para evitar que la red eléctrica pública (99,9% - 99,99% de disponibilidad en Europa) se convierta en el componente más débil.

[0007] La confiabilidad del servicio de comunicación se define como la capacidad del servicio de comunicación para funcionar según se requiera durante un intervalo de tiempo determinado, en determinadas condiciones. Estas condiciones incluyen aspectos que afectan la confiabilidad, tales como: modo de operación, niveles de estrés y condiciones ambientales. La confiabilidad se puede cuantificar utilizando medidas apropiadas tal como el tiempo medio hasta la falla o la probabilidad de que no ocurra ninguna falla dentro de un periodo de tiempo específico.

[0008] El uso de 5G en aplicaciones industriales debe cumplir con los requisitos de seguridad, donde la seguridad se define como la condición de estar protegido o es poco probable que cause peligro, riesgo o lesiones. Por lo tanto, los sistemas seguros deben diseñarse para que sean funcionalmente seguros desde el principio. Se pueden incorporar funciones de protección automática en el sistema para garantizar la seguridad del sistema mientras está en funcionamiento. Los aspectos de seguridad que se deben considerar en el diseño del sistema para garantizar la protección automática deben incluir, por ejemplo, errores humanos, fallas de *hardware* y *software*, y factores de estrés operacional y ambiental.

[0009] Hoy en día, muchas industrias tienen el control total de las implementaciones de sus redes locales. Por lo tanto, el aspecto de implementación local con respecto a la supervivencia local, los datos/enrutamiento locales y la gestión local se convierten en requisitos para las redes industriales. En resumen, la red de la fábrica debería funcionar normalmente incluso cuando se pierda la conexión con el mundo exterior. Además, puede haber requisitos relacionados con los datos que no abandonan las instalaciones, así como que el personal de IT local pueda administrar y cambiar la implementación de la red a pedido.

[0010] La seguridad, la integridad de los datos y la privacidad también son requisitos importantes para las industrias. No se debe filtrar información comercial crítica sobre procesos y datos del proceso de fabricación.

SUMARIO

[0011] En el presente documento se describen en detalle varias técnicas para mejorar el rendimiento en escenarios de Internet de las cosas industrial (IIoT), incluidas las técnicas para redes sensibles al tiempo (TSN) y la integración de redes inalámbricas 5G. Los dispositivos y nodos correspondientes también se describen en detalle.

[0012] Un método de ejemplo, que lleva a cabo un dispositivo inalámbrico, comprende recibir información del sistema (SI) desde una estación base de radio (RBS) de una red de acceso radioeléctrico (RAN), siendo el SI indicativo de soporte para TSN a través del RBS, y estableciendo al menos un flujo de datos TSN con una red de datos externa, a través del RBS. El método de ejemplo incluye además recibir una primera señal de temporización de la red de comunicaciones inalámbricas, a través del RBS, recibir una segunda señal de temporización de la red de datos TSN externa a la que está conectado el dispositivo inalámbrico, comparar la primera señal de temporización con la segunda señal de temporización para determinar un desplazamiento y transmitir el desplazamiento a la red de comunicaciones inalámbricas.

[0013] Otro método de ejemplo, que también lleva a cabo un dispositivo inalámbrico, comprende recibir una primera señal de temporización de la red de comunicaciones inalámbricas, recibir una segunda señal de temporización de una red de datos TSN externa a la que está conectado el dispositivo inalámbrico y establecer al menos un flujo de datos TSN con la red de datos TSN externa, a través de una estación base radio, RBS, en la red de comunicaciones inalámbricas.

[0014] Otro método de ejemplo se realiza en uno o más de uno de los nodos de una red central asociada con una red de acceso radioeléctrico (RAN) y es para manejar un flujo de datos sensibles al tiempo asociado con un equipo de usuario (UE) y una red externa. Este método de ejemplo comprende recibir, desde la red externa, un programa de transmisión asociado con un flujo de datos sensibles al tiempo y enviar, a la RAN, una solicitud para asignar recursos de radio para la comunicación del flujo de datos entre la RAN y un primer UE, en donde la solicitud comprende además información relacionada con el programa de transmisión. El método comprende además recibir, desde la RAN, una respuesta que indica si se pueden asignar recursos de radio para cumplir con el programa de transmisión asociada con el flujo de datos. El método comprende además obtener información de configuración para el flujo de datos, donde la información de configuración indica valores respectivos para uno o más de uno de los campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estáticos, inicia la transmisión de la información de configuración al primer UE, recibe un paquete de datos asociado con el flujo de datos desde la red de datos externa, elimina uno o más de uno de los campos del paquete de datos para generar un paquete de datos comprimido e inicia la transmisión del paquete de datos comprimido al primer UE.

[0015] Otro método de ejemplo lo realiza un dispositivo inalámbrico asociado con una red de comunicaciones inalámbricas y es para el transporte de paquetes de datos asociados con un flujo de datos en una red de datos externa. Este método de ejemplo comprende recibir SI de un RBS de un RAN, siendo el SI indicativo de soporte para TSN a través del RBS, y establecer al menos un flujo de datos TSN con la red de datos externa, a través del RBS. Este método comprende además obtener información de configuración para el flujo de datos TSN, donde la información de configuración indica valores respectivos para uno o más de uno de los campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con el flujo de datos TSN que deben permanecer estáticos, recibe,

desde el RBS, datos paquete asociado con el flujo de datos TSN, y agrega uno o más de uno de los campos al paquete de datos para generar un paquete de datos descomprimido.

[0016] Otro método de ejemplo lo realiza un dispositivo inalámbrico configurado para comunicarse con una RAN y es para programar recursos en la RAN según un programa de transmisión asociado con una red externa. Este método de ejemplo comprende recibir SI de un RBS del RAN, siendo el SI indicativo de soporte para TSN a través del RBS, y establecer al menos un flujo de datos TSN con la red de datos externa, a través del RBS. Este método de ejemplo comprende además recibir, desde la red externa, un programa de transmisión asociado con el flujo de datos TSN, enviar, a una red asociada con el RBS, una solicitud para asignar recursos de radio para la comunicación del flujo de datos TSN entre el dispositivo inalámbrico y el RBS, donde la solicitud comprende además información relacionada con el programa de transmisión, y recibir, desde la red, una respuesta que indica si se pueden asignar recursos de radio para cumplir con el programa de transmisión asociada con el flujo de datos TSN.

[0017] Otro método de ejemplo, que también lleva a cabo un dispositivo inalámbrico asociado con una red de comunicaciones inalámbricas, comprende recibir una primera señal de temporización de la red de comunicaciones inalámbricas y recibir una segunda señal de temporización de una red de datos de red sensible al tiempo, TSN, externa a la que el dispositivo inalámbrico está conectado. El método comprende, además, establecer al menos un flujo de datos TSN con la red de datos TSN externa, a través de una estación base de radio, RBS, en la red de comunicaciones inalámbricas, y recibir, desde la red externa, un programa de transmisión asociado con el flujo de datos TSN correspondiente.

[0018] Otro método de ejemplo más, que lleva a cabo un dispositivo inalámbrico, comprende recibir SI de un RBS de un RAN, siendo el SI indicativo de soporte para TSN a través del RBS, y establecer al menos un flujo de datos

TSN con una red de datos externa, a través del RBS. Este método comprende además obtener información de configuración para el flujo de datos TSN, donde la información de configuración indica valores respectivos para uno o más de uno de los campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con el flujo de datos TSN que deben permanecer estáticos. El método comprende además recibir, desde el RBS, un paquete de datos asociado con el flujo de datos TSN, y agregar uno o más de uno de los campos al paquete de datos para generar un paquete de datos descomprimido.

[0019] Otro método, que nuevamente lleva a cabo un dispositivo inalámbrico asociado con una red de comunicaciones inalámbricas, comprende establecer al menos un flujo de datos TSN con la red de datos TSN externa, a través de una estación base de radio, RBS, en la red de comunicaciones inalámbricas, y obtener información de configuración para el flujo de datos TSN, indicando la información de configuración valores respectivos para uno o más de uno de los campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con el flujo de datos TSN que deben permanecer estáticos. El método comprende además recibir, desde el RBS, un paquete de datos asociado con el flujo de datos TSN, y agregar uno o más de uno de los campos al paquete de datos para generar un paquete de datos descomprimido.

[0020] Otro método más que lleva a cabo un dispositivo inalámbrico asociado con una red de comunicaciones inalámbricas comprende establecer al menos un flujo de datos TSN con la red de datos TSN externa, a través de una estación base de radio, RBS, en la red de comunicaciones inalámbricas, y recibir, desde la red externa, un programa de transmisión asociado con el correspondiente flujo de datos TSN.

[0021] Otro método de ejemplo más lo lleva a cabo un primer dispositivo, y es para ayudar a la inscripción de un segundo dispositivo en un entorno de Internet de las cosas (IoT) y usar el segundo dispositivo. Este método de ejemplo comprende obtener una representación de una función de inscripción asociada

con el segundo dispositivo, donde la función de inscripción está asociada con al menos una aplicación de inscripción serializada que comprende información de inscripción asociada con el primer y segundo dispositivo, deserializando la aplicación de inscripción de manera que la información de inscripción asociada con el primer dispositivo se separa de la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo, y la transmisión de la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo al segundo dispositivo para iniciar la ejecución por el segundo dispositivo del proceso de inscripción del segundo dispositivo mediante la configuración del segundo dispositivo según la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo. Este método comprende además recibir, desde el segundo dispositivo, información de configuración asociada con el segundo dispositivo, y usar un primer entorno de ejecución que se ejecuta en el primer dispositivo para transferir un módulo del código a un segundo entorno de ejecución que se ejecuta en el segundo dispositivo, donde el módulo del código está configurado para ejecutarse dentro del segundo entorno de ejecución y exponer una función del segundo dispositivo, compatible con el segundo entorno de ejecución, al primer dispositivo. El método comprende además ejecutar una aplicación dentro del primer entorno de ejecución, donde la aplicación invoca de forma remota la función del segundo dispositivo a través del módulo del código transferido y el segundo entorno de ejecución.

[0022] Un método correspondiente se lleva a cabo mediante un segundo dispositivo y es para ejecutar un proceso de inscripción en un entorno de IoT asistido por un primer dispositivo y proporcionar al primer dispositivo acceso a una función del segundo dispositivo. Este método de ejemplo comprende recibir, desde el primer dispositivo, información de inscripción asociada con el segundo dispositivo, ejecutar el proceso de inscripción configurando el segundo dispositivo según la información de inscripción y transmitir información de configuración asociada con el segundo dispositivo al primer dispositivo. El método comprende además recibir un módulo del código de un primer entorno

de ejecución que se ejecuta en el primer dispositivo, a un segundo entorno de ejecución que se ejecuta en el segundo dispositivo, para exponer una función del segundo dispositivo que soporta el segundo entorno de ejecución al primer dispositivo, y usar el segundo entorno de ejecución para controlar el rendimiento de la función del segundo dispositivo en respuesta a una invocación remota de la función recibida a través del módulo del código desde una aplicación que se ejecuta dentro del primer entorno de ejecución.

[0023] Estos y otros métodos se describen en detalle a continuación y se ilustran en las figuras adjuntas. Los dispositivos correspondientes, los nodos de red y similares también se describen en detalle, al igual que las disposiciones de red y los entornos en los que estas técnicas pueden usarse ventajosamente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0024] La Figura 1 ilustra una perspectiva de red del sistema 5G.

[0025] La Figura 2 ilustra el concepto de Industria 4.0.

[0026] La Figura 3 muestra una red independiente 5G no pública integrada en un sistema de tecnología de operaciones (OT).

[0027] La Figura 4 muestra un interfuncionamiento de una red no pública 5G con una red pública de área amplia.

[0028] La Figura 5 ilustra el concepto de segmentos de red.

[0029] La Figura 6 muestra un ejemplo de cuatro segmentos diferentes en toda la red.

[0030] La Figura 7 ilustra las características de los segmentos de red.

[0031] La Figura 8 muestra los mecanismos para segmentar la red.

[0032] La Figura 9 ilustra la QoS en el sistema 5G.

[0033] La Figura 10 muestra la partición de recursos entre segmentos de red.

[0034] La Figura 11 muestra un ejemplo de función lógica dividida en aplicaciones de control de movimiento.

[0035] La Figura 12 muestra las funciones de control en una nube.

[0036] La Figura 13 ilustra una arquitectura para el control remoto de un robot sobre un enlace inalámbrico modelado.

[0037] La Figura 14 ilustra un ejemplo de un conjunto de robot colaborativo independiente del fabricante.

[0038] La Figura 15 muestra los principios de la geolocalización de TDOA.

[0039] La Figura 16 muestra distribuciones acumulativas para el posicionamiento en el escenario 3GPP *Indoor Open Office* (IOO), utilizando diferentes anchos de banda.

[0040] La Figura 17 ilustra los principios del posicionamiento híbrido.

[0041] La Figura 18 proporciona una vista regulatoria del arrendamiento de espectro.

[0042] La Figura 19 muestra las posibilidades de asignación de espectro para una banda de frecuencia asignada a servicios móviles.

[0043] La Figura 20 ilustra una red local que utiliza espectro con licencia.

[0044] La Figura 21 ilustra una red local que utiliza el arrendamiento de un titular de licencia, tal como un operador de red móvil (MNO).

[0045] La Figura 22 muestra las características de CBRS.

[0046] La Figura 23 muestra una arquitectura SAS de alto nivel.

[0047] La Figura 24 ilustra las áreas de protección PAL.

[0048] La Figura 25 muestra un escenario de nube industrial.

[0049] La Figura 26 ilustra la gestión de la información en una situación de fábrica simple.

[0050] La Figura 27 ilustra una arquitectura de red jerárquica en una fábrica.

[0051] La Figura 28 muestra diferentes servicios de paquetes y relaciones de calidad de servicio.

[0052] La Figura 29 presenta conceptos de redes sensibles al tiempo (TSN).

[0053] La Figura 30 ilustra un ejemplo de arquitectura de interfuncionamiento TSN y 5G en un escenario industrial.

[0054] La Figura 31 muestra el uso de puntos finales virtuales para conectar dispositivos que no son TSN a una red TSN usando 5G.

[0055] La Figura 32 ilustra la sincronización de tiempo de TSN a través de una red 5G.

[0056] La Figura 33 muestra el soporte de múltiples dominios de tiempo en un sistema 5G.

[0057] La Figura 34 muestra varios dominios de tiempo en una red de fábrica.

[0058] La Figura 35 ilustra las colas controladas por tiempo.

[0059] La Figura 36 muestra la replicación y eliminación de tramas para mayor confiabilidad.

[0060] La Figura 37 muestra un modelo completamente distribuido para TSN.

[0061] La Figura 38 ilustra un modelo de red centralizada/usuario distribuido para TSN.

[0062] La Figura 39 ilustra un modelo de configuración completamente centralizado para TSN.

[0063] La Figura 40 muestra un agente de configuración que consiste en CUC y CNC.

[0064] La Figura 41 muestra la interacción entre CNC y CUC.

[0065] La Figura 42 es un diagrama de flujo de señales que ilustra la configuración del flujo de TSN en un modelo de configuración centralizada de TSN.

[0066] La Figura 43 muestra una posible configuración de arquitectura de integración 5G-TSN.

[0067] La Figura 44 ilustra la configuración de TSN FRER.

[0068] La Figura 45 muestra la interacción entre AF, CUC y CNC para configurar FRER.

[0069] La Figura 46 muestra una red 5G.

[0070] La Figura 47 ilustra el concepto de controlador de cadena.

[0071] La Figura 48 muestra una vista funcional de alto nivel de una implementación de red central en un sitio de fábrica.

[0072] La Figura 49 ilustra el plano de control de la RAN, para multiconectividad.

[0073] La Figura 50 ilustra la arquitectura del plano de usuario de la RAN, para multiconectividad.

[0074] La Figura 51 ilustra diferentes tipos de portadores de radio para NR.

[0075] La Figura 52 muestra el rendimiento de la latencia cuando se utilizan miniintervalos.

[0076] La Figura 53 ilustra un retraso de alineación prolongado debido a la transmisión a través de la restricción del borde del intervalo.

[0077] La Figura 54 muestra el uso de repeticiones de miniintervalo a través de un borde de intervalo.

[0078] La Figura 55 muestra el uso de un factor beta para permitir la omisión de UCI en PUSCH.

[0079] La Figura 56 ilustra un PUCCH corto que ocupa 1 símbolo OFDM, con una periodicidad de 2 símbolos.

[0080] La Figura 57 muestra ejemplos de probabilidad de bloqueo por ocasión de monitoreo en función del tamaño de DCI, número de UE y tamaños de CORESET.

[0081] La Figura 58 muestra la latencia de datos del enlace descendente con una retransmisión.

[0082] La Figura 59 muestra la latencia de datos de enlace ascendente con una concesión configurada y una retransmisión.

[0083] La Figura 60 ilustra una comparación de la latencia de datos del enlace descendente.

[0084] La Figura 61 ilustra una comparación de la latencia de datos de enlace ascendente con base en subvenciones.

[0085] La Figura 62 muestra una comparación de la latencia de datos de enlace ascendente de concesión configurada.

[0086] La Figura 63 muestra la preferencia de enlace ascendente entre UE.

[0087] La Figura 64 muestra el rendimiento de MCS14 en un esquema de multiplexación controlada por potencia.

[0088] La Figura 65 muestra PDSCH BLER después de una transmisión, para varios esquemas de codificación de modulación diferentes.

[0089] La Figura 66 muestra la SINR de enlace ascendente para diferentes técnicas de múltiples antenas, con y sin precodificación coordinada multipunto y de enlace ascendente.

[0090] La Figura 67 muestra un ejemplo de solicitud de programación (SR) y operación de informe de estado del búfer (BSR).

[0091] La Figura 68 ilustra varias configuraciones de SR asignadas a diferentes tipos de tráfico.

[0092] La Figura 69 muestra SR retardada debido a una transmisión UL-SCH prolongada en curso.

[0093] La Figura 70 muestra un retraso en la obtención de una concesión dinámica a través de los procedimientos de SR.

[0094] La Figura 71 ilustra los procedimientos de concesión tipo 1 configurados.

[0095] La Figura 72 ilustra los procedimientos de concesión tipo 1 configurados.

[0096] La Figura 73 muestra corrientes deterministas industriales con diferentes llegadas y tamaños de carga útil.

[0097] La Figura 74 muestra flujos deterministas industriales con diferentes patrones, periodicidades, latencia y requisitos de confiabilidad.

[0098] La Figura 75 ilustra configuraciones superpuestas.

[0099] La Figura 76 muestra un ejemplo de procedimientos de priorización de canales lógicos (LCP).

[0100] La Figura 77 muestra un problema con el envío de tráfico no crítico a través de una concesión sólida.

[0101] La Figura 78 ilustra una restricción para evitar el problema de la Figura 77.

[0102] La Figura 79 muestra la latencia adicional que surge del envío de tráfico crítico a través de una concesión corta no robusta.

[0103] La Figura 80 ilustra una restricción para evitar el problema de la Figura 79.

[0104] La Figura 81 ilustra un problema con una concesión dinámica que prevalece sobre una concesión configurada.

[0105] La Figura 82 muestra el beneficio de habilitar la concesión configurada para anular la concesión dinámica de forma condicional.

[0106] La Figura 83 muestra una subvención superpuesta con diferentes duraciones de PUSCH.

[0107] La Figura 84 ilustra la habilitación de la apropiación intra-UE para mejorar la eficiencia de la red.

[0108] La Figura 85 muestra la duplicación de paquetes en escenarios de doble portadora (DC) y agregación de portadoras (CA).

[0109] La Figura 86 muestra errores residuales con y sin duplicación.

[0110] La Figura 87 muestra el dominio de tiempo universal y los dominios del reloj de trabajo.

[0111] La Figura 88 ilustra las transmisiones SFN.

[0112] La Figura 89 ilustra un caso de uso industrial con tres dominios de tiempo.

[0113] La Figura 90 muestra un método de cadena PTP continua.

[0114] La Figura 91 muestra un ejemplo del formato de trama MAC IEEE 802.3.

[0115] La Figura 92 muestra las ganancias de la compresión del encabezado de Ethernet.

[0116] La Figura 93 muestra posibles puntos de anclaje de compresión de encabezado Ethernet.

[0117] La Figura 94 muestra el fallo en el enlace radioeléctrico (RLF) en el caso de la duplicación de PDCP.

[0118] La Figura 95 ilustra un ejemplo de procedimiento de movilidad.

[0119] La Figura 96 muestra posibles realizaciones de la pila de protocolos de Industrial IoT mapeada al modelo OSI.

[0120] La Figura 97 muestra la categorización de Ethernet industrial.

[0121] La Figura 98 ilustra las transmisiones programadas según el tiempo que se utilizan en Profinet.

[0122] La Figura 99 muestra una estructura de trama para Profinet IRT.

[0123] La Figura 100 ilustra el rendimiento estimado de diferentes tecnologías inalámbricas con respecto a la confiabilidad con una carga creciente y requisitos de latencia E2E en aumento.

[0124] La Figura 101 muestra el acceso al canal y el intercambio de datos típicos en wifi.

[0125] La Figura 102 muestra el acceso al canal en wifi.

[0126] La Figura 103 ilustra una simulación del algoritmo Minstrel.

[0127] La Figura 104 muestra posibles pilas de protocolos de OPC-UA.

[0128] La Figura 105 ilustra OPC-UA sobre TSN.

[0129] La Figura 106 es un diagrama de bloques que ilustra un modelo de configuración de redes sensibles al tiempo (TSN) distribuidas, como se especifica en la norma IEEE 802.1Qbv-2015.

[0130] La Figura 107 es un diagrama de bloques que ilustra un modelo de configuración de TSN centralizado, como se especifica en la norma IEEE 802.1Qbv-2015.

[0131] La Figura 108 es un diagrama de bloques que ilustra un modelo de configuración de TSN totalmente centralizado, como se especifica en la norma IEEE 802.1Qbv-2015.

[0132] La Figura 109 muestra un diagrama de secuencia de un procedimiento de configuración de flujo de TSN ejemplar utilizando el modelo de configuración completamente centralizado que se muestra en la Figura 108.

[0133] La Figura 110 es un diagrama de bloques que ilustra un plano de control (CP) y una arquitectura de plano de usuario (UP) o datos de una red inalámbrica 5G ejemplar.

[0134] La Figura 111 es un diagrama de bloques que ilustra una disposición ejemplar para el interfuncionamiento entre la arquitectura de red 5G que se muestra en la Figura 110 y una arquitectura de red TSN totalmente centralizada ejemplar.

[0135] La Figura 112 es un diagrama de bloques que ilustra la selección de transmisión entre colas de tráfico con base en puertas, como se especifica en la norma IEEE 802.1Qbv-2015.

[0136] La Figura 113 es un diagrama de bloques que ilustra un escenario de comunicación ejemplar entre dos unidades de hablante/oyente de TSN a través de redes 5G y TSN, según varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación.

[0137] La Figura 114 muestra un diagrama de secuencia de un método y/o procedimiento ejemplar para configurar la entrega oportuna de paquetes de flujo de TSN a través de la configuración de red mostrada en la Figura 113, según varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación.

[0138] La Figura 115 es un diagrama de bloques que ilustra un escenario de comunicación ejemplar entre una unidad de hablante/oyente de TSN y un

controlador virtualizado a través de una red 5G, según varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación.

[0139] La Figura 116 muestra un diagrama de secuencia de un método y/o procedimiento ejemplar para configurar la entrega oportuna de paquetes de flujo de TSN a través de la configuración de red mostrada en la Figura 115, según varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación.

[0140] La Figura 117 es un diagrama de flujo que ilustra un método y/o procedimiento ejemplar que lleva a cabo un nodo de red en una red central (por ejemplo, una red central 5G), según varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación.

[0141] La Figura 118 es un diagrama de flujo que ilustra un método y/o procedimiento ejemplar que lleva a cabo un nodo de red en una red de acceso radioeléctrico (por ejemplo, NG-RAN), según varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación.

[0142] La Figura 119 es un diagrama de flujo que ilustra un método y/o procedimiento ejemplar que lleva a cabo el equipo de usuario (UE), según con varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación.

[0143] La Figura 120 es un diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones ejemplar, según varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación.

[0144] Las Figuras 121, 122 y 123 son diagramas de bloques de nodos de acceso radioeléctrico ejemplares configurados de diversas formas según diversas realizaciones ejemplares de la presente divulgación.

[0145] Las Figuras 124 y 125 son diagramas de bloques de dispositivos inalámbricos o UE ejemplares configurados de diversas formas, según diversas realizaciones ejemplares de la presente divulgación.

[0146] La Figura 126 ilustra las funciones de la red central 5G (5GCN) y la red de acceso radioeléctrico (RAN).

[0147] La Figura 127 muestra pilas de protocolos para datos de tipo PDU de Ethernet.

[0148] La Figura 128 ilustra la estructura de la trama TSN.

[0149] La Figura 129 es un diagrama de señalización para señalización de enlace descendente según realizaciones de la divulgación.

[0150] La Figura 130 es un diagrama de señalización para señalización de enlace ascendente según realizaciones de la divulgación.

[0151] La Figura 131 ilustra un método de conformidad con algunas realizaciones.

[0152] La Figura 132 ilustra otro método de conformidad con algunas realizaciones.

[0153] La Figura 133 ilustra otro método de conformidad con algunas realizaciones.

[0154] La Figura 134 ilustra otro método de conformidad con algunas realizaciones.

[0155] La Figura 135 muestra un esquema de operaciones para implementar un método de manejo de redes sensibles al tiempo a través de una red de acceso radioeléctrico.

[0156] La Figura 136 muestra un esquema de operaciones para implementar un método de anunciar redes sensibles al tiempo a través de una red de acceso radioeléctrico.

[0157] La Figura 137 muestra un esquema de operaciones para implementar un método de distribución de un mensaje de configuración para redes sensibles al tiempo a través de una red de acceso radioeléctrico.

[0158] La Figura 138 muestra un diagrama de bloques esquemático de un primer ejemplo de un sistema de comunicación.

[0159] La Figura 139 es un diagrama de bloques esquemático de un segundo ejemplo de un sistema de comunicación.

[0160] La Figura 140 es un diagrama de bloques esquemático de un tercer ejemplo de un sistema de comunicación.

[0161] La Figura 141 es un diagrama de bloques funcional de un primer ejemplo de un sistema de comunicación.

[0162] La Figura 142 muestra un primer diagrama de señalización esquemático para un sistema de comunicación.

[0163] La Figura 143 es un segundo diagrama de señalización esquemático para un sistema de comunicación.

[0164] La Figura 144 ilustra la interacción de 5G y TSN.

[0165] La Figura 145 muestra varios dominios de tiempo TSN gPTP en una fábrica

[0166] La Figura 146 ilustra cómo una BS puede sincronizar un UE con un tiempo de referencia celular.

[0167] La Figura 147 ilustra un escenario donde se supone que un dispositivo está conectado a través de un enlace celular a un dominio TSN.

[0168] La Figura 148 ilustra un escenario de planta asumiendo un dominio TSN conectado a un controlador virtual a través de un enlace celular.

[0169] La Figura 149 ilustra un escenario donde dos redes TSN están conectadas a través de un enlace celular.

[0170] La Figura 150 ilustra un ejemplo de procedimiento de sincronización.

[0171] La Figura 151 ilustra otro ejemplo de procedimiento de sincronización.

[0172] La Figura 152 es un flujo de secuencia para un ejemplo de procedimiento de sincronización.

[0173] La Figura 153 es un flujo de secuencia para otro ejemplo de procedimiento de sincronización.

[0174] La Figura 154 ilustra la transmisión de tiempo PTP usando métodos que se describen en el presente documento.

[0175] La Figura 155 ilustra un método de ejemplo que lleva a cabo un dispositivo inalámbrico.

[0176] La Figura 156 es un diagrama de bloques esquemático de un aparato virtual en una red inalámbrica.

[0177] La Figura 157 ilustra un método de ejemplo que lleva a cabo un nodo de red, tal como una estación base.

[0178] La Figura 158 es un diagrama de bloques esquemático de un aparato virtual en una red inalámbrica.

[0179] La Figura 159 ilustra un método de ejemplo que lleva a cabo un dispositivo inalámbrico.

[0180] La Figura 160 es un diagrama de bloques esquemático de un aparato virtual en una red inalámbrica.

[0181] La Figura 161 ilustra un método de ejemplo que lleva a cabo un nodo de red, tal como una estación base.

[0182] La Figura 162 es un diagrama de bloques esquemático de un aparato virtual en una red inalámbrica.

[0183] La Figura 163 es un esquema de operaciones combinado y un esquema de señalización según las realizaciones del presente documento.

[0184] La Figura 164 es un diagrama de bloques que representa un UE para manejar la configuración según las realizaciones del presente documento.

[0185] La Figura 165 es un diagrama de bloques que representa un nodo de red radioeléctrica para manejar la configuración en una red de comunicaciones inalámbricas según las realizaciones del presente documento.

[0186] La Figura 166 es un diagrama de bloques de un dispositivo inalámbrico de ejemplo, según las realizaciones del presente documento.

[0187] La Figura 167 es un diagrama de bloques de un nodo de red radioeléctrica de ejemplo, según las realizaciones del presente documento.

[0188] La Figura 168 ilustra un método para ayudar a la inscripción de un dispositivo en un entorno de Internet de las cosas (IoT), según algunas realizaciones.

[0189] La Figura 169 ilustra un método para inscribirse en un entorno de Internet de las cosas (IoT), según algunas realizaciones.

[0190] La Figura 170 es un dibujo esquemático que ilustra un proceso de inscripción según algunas realizaciones.

[0191] La Figura 171 es un esquema de operaciones que ilustra los pasos de un método de ejemplo según algunas realizaciones.

[0192] La Figura 172 es un diagrama de bloques que ilustra una disposición de ejemplo según algunas realizaciones.

[0193] La Figura 173 es un diagrama de bloques que ilustra una disposición de ejemplo según algunas realizaciones.

[0194] La Figura 174 es un diagrama de bloques que ilustra un entorno de red de ejemplo según una o más realizaciones.

[0195] La Figura 175 es un diagrama de flujo de llamadas que ilustra un ejemplo de señalización entre entidades según una o más realizaciones.

[0196] La Figura 176 es un diagrama de flujo que ilustra un método de ejemplo implementado por un primer dispositivo según una o más realizaciones.

[0197] La Figura 177 es un diagrama de flujo que ilustra un método de ejemplo implementado por un segundo dispositivo según una o más realizaciones.

[0198] La Figura 178 es un diagrama de bloques que ilustra un *hardware* de ejemplo según una o más realizaciones.

[0199] La Figura 179 es un diagrama de bloques que ilustra un primer dispositivo de ejemplo según una o más realizaciones.

[0200] La Figura 180 es un diagrama de bloques que ilustra un segundo dispositivo de ejemplo según una o más realizaciones.

[0201] La Figura 181 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un sistema para consultar una base de datos federada de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0202] La Figura 182 ilustra un diagrama de flujo de otra realización de un sistema para consultar una base de datos federada de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0203] La Figura 183 ilustra una realización de un nodo de red que tiene una base de datos federada de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0204] La Figura 184 ilustra otra realización de un nodo de red que tiene una base de datos federada de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0205] La Figura 185 y la Figura 186 ilustran una realización de un método que lleva a cabo un nodo de red que tiene una base de datos federada que representa una o más de una base de datos autónomas o subfederadas que están ubicadas en una jurisdicción igual o diferente de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0206] La Figura 187 ilustra una realización de un nodo de red que tiene una base de datos autónoma de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0207] La Figura 188 ilustra otra realización de un nodo de red que tiene una base de datos autónoma de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0208] Las Figuras 189 y 190 ilustran realizaciones de un método que lleva a cabo un nodo de red que tiene una base de datos autónoma, en una determinada jurisdicción, que está representada por una base de datos federada

o subfederada de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0209] La Figura 191 ilustra otra realización de un sistema para consultar una base de datos federada de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0210] La Figura 192 ilustra otra realización de un sistema para consultar una base de datos federada de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0211] La Figura 193 ilustra otra realización de un sistema para consultar una base de datos federada de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0212] La Figura 194 ilustra otra realización de un sistema para consultar una base de datos federada de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento.

[0213] La Figura 195 muestra una realización de un nodo de red, de conformidad con determinadas realizaciones descritas en el presente documento.

[0214] La Figura 196 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra el manejo de tramas de Ethernet en la UPF desde 3GPP TS 29.561.

[0215] La Figura 197 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra el interfuncionamiento 5G-TSN en una configuración industrial.

[0216] La Figura 198 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra el control de TSN y el plano de datos con un punto final virtual.

[0217] La Figura 199 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra las implementaciones de VEP como parte de la UPF para diferentes tipos de sesiones de PDU.

[0218] La Figura 200 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra VEP como se ve en la configuración de red TSN externa.

[0219] La Figura 201 es un esquema de operaciones que ilustra los pasos de un método de ejemplo según algunas realizaciones.

[0220] La Figura 202 es un esquema de operaciones que ilustra los pasos de un método de ejemplo según algunas realizaciones.

[0221] La Figura 203 es un diagrama combinado de esquema de operaciones y señalización que ilustra pasos de método y señalización ejemplares según algunas realizaciones.

[0222] La Figura 204 es un diagrama combinado de esquema de operaciones y señalización que ilustra pasos de método y señalización ejemplares según algunas realizaciones.

[0223] La Figura 205 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un aparato de ejemplo según algunas realizaciones.

[0224] La Figura 206 muestra la transmisión de flujos de datos TSN que emplea rutas redundantes.

[0225] La Figura 207 muestra un sistema de comunicación inalámbrica según realizaciones de la divulgación.

[0226] La Figura 208 es un diagrama de señalización según realizaciones de la divulgación.

[0227] La Figura 209 es un diagrama esquemático que muestra rutas redundantes en una red inalámbrica según realizaciones de la divulgación.

[0228] La Figura 210 es un diagrama esquemático que muestra rutas redundantes en una red inalámbrica según realizaciones adicionales de la divulgación.

[0229] La Figura 211 es un diagrama esquemático que muestra rutas redundantes en una red inalámbrica según realizaciones adicionales de la divulgación.

[0230] La Figura 212 es un diagrama de flujo de un método en un nodo de red central según realizaciones de la divulgación.

[0231] La Figura 213 es un diagrama de flujo de un método en un nodo de configuración según realizaciones de la divulgación.

[0232] La Figura 214 es una tabla que ilustra un formato de encabezado PTP.

[0233] La Figura 215 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra realizaciones de una red de comunicaciones inalámbricas.

[0234] La Figura 216 es un esquema de operaciones que representa un método que lleva a cabo un dispositivo de transmisión de según las realizaciones del presente documento.

[0235] La Figura 217 es un esquema de operaciones que representa un método que lleva a cabo un dispositivo receptor de según las realizaciones del presente documento.

[0236] La Figura 218 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra realizaciones de un soporte de dominio de tiempo múltiple en el 5GS que usa la difusión según algunas realizaciones del presente documento.

[0237] La Figura 219 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra realizaciones de un soporte de dominio de tiempo múltiple en el 5GS donde solo las tramas de gPTP relevantes según algunas realizaciones del presente documento.

[0238] La Figura 220 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra realizaciones de un soporte de dominio de tiempo múltiple en el 5GS según algunas realizaciones del presente documento.

[0239] La Figura 221 es un esquema de operaciones que representa un método que lleva a cabo un dispositivo de transmisión de según las realizaciones del presente documento.

[0240] La Figura 222 es un esquema de operaciones que representa un método que lleva a cabo un dispositivo receptor de según las realizaciones del presente documento.

[0241] La Figura 223 ilustra esquemáticamente una red de telecomunicaciones conectada a través de una red intermedia a un equipo central, según algunas realizaciones.

[0242] La Figura 224 es un diagrama de bloques generalizado de un equipo central que se comunica a través de una estación base con un equipo de usuario a través de una conexión parcialmente inalámbrica, según algunas realizaciones.

[0243] La Figura 225, la Figura 226, la Figura 227 y la Figura 228 son esquemas de operaciones que ilustran métodos de ejemplo implementados en un sistema de comunicación que incluye un equipo central, una estación base y un equipo de usuario.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0244] A continuación se presentan descripciones detalladas de conceptos, arquitecturas de sistemas/redes y diseños detallados para muchos aspectos de una red de comunicaciones inalámbricas destinada a abordar los requisitos y casos de uso de 5G. Los términos “requisito”, “necesidad” o términos similares deben entenderse como una descripción de una característica o funcionalidad deseable del sistema en el sentido de un diseño ventajoso de ciertas realizaciones, y no como una indicación de un elemento necesario o esencial de todas las realizaciones. Como tal, a continuación, cada requisito y cada capacidad descrita como requerida, importante, necesaria o descrita con un lenguaje similar, debe entenderse como opcional.

[0245] Sistema de comunicación Operation Technology y 5G

[0246] En la actualidad, se utilizan uno o más de una serie de tecnologías en los sistemas de comunicaciones industriales. Para los sistemas de fabricación en las fábricas, se utiliza una estructura de comunicación jerárquica (a menudo denominada pirámide de automatización), como se muestra en el lado izquierdo de la Figura 2. Este diseño se basa en el modelo ISA95/99. Los equipos

industriales están conectados en pequeños subsistemas que cubren, por ejemplo, una celda de producción. Estos subsistemas están separados por puertas de enlace y pueden utilizar diferentes tecnologías de comunicación; cada subsistema se gestiona de cerca para poder garantizar un rendimiento de comunicación crítico. En los siguientes niveles superiores, estos subsistemas están interconectados, por ejemplo, para la coordinación entre las células de producción y el control de supervisión del sistema de producción. Esta parte relacionada con las operaciones de fabricación se denomina dominio de tecnología de operaciones (OT) que contiene la comunicación crítica, donde los requisitos suelen volverse más exigentes en los niveles inferiores. Hoy en día, la comunicación crítica se basa predominantemente en tecnologías de comunicación cableada como bus de campo o Ethernet industrial. La parte de OT de la red está separada de forma segura de la parte de IT de la red que contiene las aplicaciones y servicios empresariales.

[0247] Se prevé una digitalización más amplia del sistema de fabricación para proporcionar una mayor flexibilidad y eficiencia, al transformar la fabricación en un sistema de producción ciberfísico. Esta transición también se conoce como la cuarta revolución industrial o Industria 4.0. Se prevé que todo el sistema de producción se pueda modelar, monitorear, evaluar y dirigir con un gemelo digital. Con ese fin, se desea una conectividad total en toda la fábrica, evitando islas de conectividad aisladas en el nivel del piso de la tienda, como se muestra en el lado derecho de la Figura 2. La separación de los diferentes dominios de la red se traslada así de la separación física (a través de pasarelas) a una separación lógica. En esta transición, las redes sensibles al tiempo (TSN) IEEE 802.1 juega un papel central, ya que permite brindar servicios de conectividad de alto rendimiento garantizados para ciertos flujos de tráfico en una infraestructura Ethernet común que se comparte entre comunicaciones críticas y no críticas. Como solución totalmente normalizada, también permite la convergencia de la

pluralidad de tecnologías de bus de campo patentadas existentes en la actualidad a una norma global.

[0248] La conectividad inalámbrica puede aportar un gran valor a un sistema de fabricación. Puede proporcionar ahorros de costos al evitar un cableado extenso, puede admitir nuevos casos de uso que no pueden realizarse con cables (por ejemplo, conectar componentes móviles). Pero, en particular, proporciona una flexibilidad significativa para rediseñar el piso de producción, que es una tendencia importante hacia la Industria 4.0. Hoy en día, el uso de la tecnología inalámbrica en el taller es muy limitado y se centra en la comunicación no crítica proporcionada a través de varias tecnologías diferentes. Para los servicios de comunicación críticos, hoy en día no existe una tecnología inalámbrica que pueda proporcionar una baja latencia confiable y determinista.

[0249] El 5G promete proporcionar servicios deterministas confiables de baja latencia, mientras que al mismo tiempo es compatible con eMBB y mMTC. (Cabe destacar que 5G mMTC se basa en LTE-M y NB-IoT, que pueden integrarse en una portadora NR. Finalmente, se espera un modo mMTC con base en NR). Con este fin, puede desempeñar un papel similar en el lado inalámbrico al que hace TSN para la conectividad cableada. Proporciona una tecnología universal normalizada a nivel mundial que converge todos los tipos de servicios y puede extender la conectividad inalámbrica a campos mucho más amplios de la comunicación en el taller.

[0250] Las TSN tienen un papel adicional que desempeñar para 5G. Las redes industriales son instalaciones de larga duración y la gran mayoría de las fábricas ya están desplegadas. La introducción de nueva tecnología es lenta y engorrosa en las instalaciones de áreas industriales abandonadas existentes. Se espera que TSN desencadene un rediseño de las prácticas de construcción, que se espera que ingrese incluso a las redes industriales abandonadas cuando sea factible. Al vincular 5G a TSN como el equivalente inalámbrico, TSN brinda una oportunidad de mercado de apertura para ayudar a transformar el mercado de

áreas industriales abandonadas. Esto motiva la necesidad de que la solución de arquitectura 5G se alinee en gran medida con TSN.

[0251] La integración de 5G debe abordar una serie de requisitos:

- Contenido local: Es posible que los datos relacionados con la producción no abandonen las instalaciones de la industria/fábrica, es decir, todos estos datos deben guardarse localmente, por ejemplo, por motivos de seguridad y confianza.
- Control total de la conectividad crítica: la comunicación crítica debe estar bajo el control del usuario final industrial y estar vinculada al sistema operativo donde se gestiona la operación sin interrupciones.
- Administración Local: la solución de gestión debe ser fácil de integrar con los procesos operativos y comerciales de la industria e incluir la observabilidad de la red.
- Capacidad de supervivencia local: la solución de conectividad no debe depender de fallas externas, es decir, debe ser autónoma en lo que respecta a la capacidad de supervivencia.
- Gestión del ciclo de vida (LCM): Varias industrias requieren LCM en el intervalo de decenas de años. esto significa que se necesita disponibilidad a largo plazo de dispositivos industriales e infraestructura de red, incluidas formas de configuración de dispositivos, actualizaciones de *firmware*, actualizaciones de *software* de aplicaciones, aprovisionamiento de credenciales de identidad, instalación, aprovisionamiento y mantenimiento en el campo.
- Seguridad: la red de conectividad garantizará que solo se permita el tráfico autorizado y que se aplique el nivel requerido de protección de confidencialidad (por ejemplo, encriptación y/o protección de integridad). También se admitirán funcionalidades como la protección contra intrusiones (piratas informáticos) de Internet, el *malware* que llega a los dispositivos y servidores, la manipulación de datos, etc. Se debe habilitar el soporte de

diferentes zonas de seguridad. Y la propia infraestructura de red debe estar segura y protegida de ataques externos.

- Integración con las soluciones existentes: la solución de conectividad debe integrarse en el sistema OT cableado existente, así como en otros dispositivos inalámbricos conectados. Un ejemplo es el transporte de tramas de Ethernet industrial.

[0252] Arquitectura del sistema

[0253] Una red 5G integrada en un sistema industrial, como se muestra en la Figura 3, necesita tener las siguientes funciones:

- acceso radioeléctrico 5G y red central para conectividad 5G, incluida conectividad de radio, soporte de movilidad, gestión de servicios y QoS, incluidas todas las categorías de servicios URLLC, eMBB y mMTC con rendimiento determinista
- Alta disponibilidad y redundancia
- Identidades de red que habilitan servicios de red privada (es decir, restringir el acceso a la red y los servicios de red a un grupo definido de dispositivos)
- Soluciones de seguridad según credenciales seguras
- Soporte para posicionamiento y sincronización de tiempo
- Mecanismos de aseguramiento de QoS y monitoreo de red
- Una solución de gestión de red ligera
- Una infraestructura de computación en la nube con rendimiento determinista y alta disponibilidad para aplicaciones industriales
- Capacidad para integrarse con sistemas industriales existentes (es decir, conectividad, infraestructura de computación en la nube, sistema de gestión)

- Capacidad para interfuncionar con redes públicas externas para casos en los que se requiera la continuidad del servicio dentro y fuera de la fábrica.

[0254] Un sistema 5G se puede implementar en diferentes variantes. En los casos en que un usuario industrial pueda obtener acceso local al espectro dedicado, se puede implementar un sistema 5G local independiente, como se muestra en la Figura 3. Una red 5G independiente de este tipo puede permitir el interfuncionamiento con una red pública, por ejemplo, mediante itinerancia. Alternativamente, se puede aplicar la segmentación de red federada mediante la creación de un segmento de red lógica, que se basa en la infraestructura física de dos (o más) redes.

[0255] Un sistema 5G local también se puede realizar como un servicio de red no público, proporcionado por un operador de red móvil pública en la ubicación industrial, como se muestra en la Figura 4. Por lo general, se necesita una implementación local en el sitio de al menos partes de la infraestructura de red. El desglose de datos en el sitio garantiza una baja latencia y permite políticas de privacidad de datos para la información que no abandona el sitio. La funcionalidad de control central se puede proporcionar desde los sitios externos de MNO, o puede ser total o parcialmente en el sitio, para respaldar, por ejemplo, la supervivencia local. Si bien los servicios de comunicación críticos se mantienen en el sitio a través de una ruptura local, algunas otras funciones también pueden usar la terminación externa de las sesiones de datos.

[0256] También se puede utilizar una combinación de una red local independiente y una red MNO pública como base para proporcionar un servicio de red no pública en los dos dominios de red. Un usuario industrial puede implementar una red local en el sitio, que junto con la infraestructura de la red pública proporciona el servicio de red no pública a través de la segmentación de la red federada. Por ejemplo, la implementación local puede implementarse para

“fortalecer” la red pública, en términos de cobertura, disponibilidad, capacidad y recursos informáticos locales.

[0257] Una red local también puede proporcionar capacidades de anfitrión neutral, al extender una red pública en el sitio además de proporcionar una red autónoma local. Para este propósito, se pueden aplicar soluciones de red compartida tal como la red central de múltiples operadores (MOCN) o la red de acceso radioeléctrico de múltiples operadores (MORAN). En los enfoques de redes compartidas, se necesita una solución de gestión de recursos que pueda proporcionar recursos y rendimiento garantizados para las diferentes redes compatibles (o segmentos de red). Una solución para compartir redes puede estar bien motivada tanto para los proveedores de redes locales como para los públicos. El proveedor local puede proporcionar un sitio local gratuito para el MNO, mientras que el MNO puede proporcionar sus recursos de espectro para la red. Dado que las mismas estaciones base pueden soportar servicios públicos y privados, debería ser posible una mejor coexistencia entre la red local y la pública. Además, una solución compartida puede estar motivada por diferentes servicios. Por ejemplo, un MNO público puede proporcionar servicios empresariales convencionales en el sitio industrial, por ejemplo, telefonía, banda ancha móvil y conectividad de IT, mientras que la red local independiente privada se utiliza para la conectividad de OT industrial local.

[0258] Segmentación de red para Internet de las cosas (IoT) industrial

[0259] La segmentación de redes se considera como un enfoque para habilitar o realizar soluciones de red de IoT industrial. La segmentación de redes puede proporcionar redes lógicas separadas y aisladas en una infraestructura compartida común. Por ejemplo, se puede utilizar para lo siguiente:

- Separar diferentes zonas de seguridad en una fábrica,
- Separar las diferentes categorías de servicios, por ejemplo, para aislar la comunicación crítica de la comunicación no crítica,

- Proporcionar una red IIoT no pública en una infraestructura de red pública que también se utiliza para comunicaciones móviles públicas.

[0260] La segmentación de la red es una forma conceptual de ver y realizar la red de proveedores. En lugar de la noción predominante de una red única y monolítica que sirve para múltiples propósitos, los avances tecnológicos tal como la virtualización y SDN nos permiten construir redes lógicas sobre una capa de infraestructura común y compartida.

[0261] Estas “redes lógicas”, que pueden denominarse “segmentos de red”, se establecen para un propósito comercial en particular o incluso para un cliente en particular (del proveedor). Son de un extremo a otro y están completos en el contexto del propósito comercial previsto. Son y se comportan como una red propia, incluidas todas las capacidades y recursos necesarios. Esto se extiende desde la participación de los recursos de la infraestructura, pasando por las funciones de red configuradas hasta la gestión de la red o incluso las capacidades de OSS/BSS. Abarca componentes de red tanto móviles como fijos. Una expectativa es que los diferentes segmentos sean independientes y estén aislados, incluso si comparten recursos físicos comunes y, por lo tanto, proporcionan una separación de preocupaciones. Los segmentos de red se pueden definir para abarcar varias infraestructuras de red físicas, lo que a veces se denomina segmento de red federado. Esto puede proporcionar, e incluso habilitar, una realización de red alternativa a la itinerancia.

[0262] Así como las redes existentes están diseñadas para realizar servicios, también lo están los segmentos de red. No son servicios en sí mismos, pero están diseñados para realizar uno o varios servicios. Como caso especial, un servicio (o una instancia de este) se mapea uno a uno con un segmento de red, lo que permite, por ejemplo, servicios de tipo mayorista. Los recursos (físicos o lógicos) se pueden dedicar a un segmento, es decir, instancias separadas, o se pueden compartir en varios segmentos. Estos recursos no son necesariamente todos producidos dentro del proveedor, algunos pueden de

hecho ser servicios consumidos de otros proveedores, lo que facilita, por ejemplo, la agregación, la itinerancia, etc.

[0263] Los segmentos de red se pueden definir como que comprenden un conjunto de recursos, como se muestra en la Figura 5. Estos podrían ser recursos físicos, ya sea un recurso compartido o un perfil asignado a un segmento o incluso recursos físicos dedicados si están motivados. Los sectores también se pueden definir como que comprenden entidades lógicas tales como funciones de red configuradas, funciones de gestión, VPN, etc. Los recursos (físicos o lógicos) pueden dedicarse a un segmento, es decir, instancias separadas, o podrían compartirse entre varios segmentos. Estos recursos no están necesariamente todos producidos dentro del proveedor, algunos pueden de hecho ser servicios consumidos de otros proveedores, lo que facilita, por ejemplo, agregación, itinerancia, etc. La segmentación de red permite el arrendamiento de capacidad de red con acuerdos de nivel de servicio (SLA) asociados, por ejemplo.

[0264] Dado que los segmentos se pueden crear para abordar un nuevo requisito comercial o cliente y es posible que deban adaptarse a los cambios, requieren un nuevo tipo de funciones de gestión del ciclo de vida, que tiene la función de crearlas, modificarlas (por ejemplo, actualizarlas) o eliminarlas. La segmentación de red permite diferentes arquitecturas de red que están optimizadas para el caso de uso específico para el que se está utilizando el segmento. Esta optimización para diferentes segmentos de red puede incluir tanto optimizaciones en el dominio funcional como en el despliegue geográfico de diferentes funcionalidades en la red. Esto se puede ver en la Figura 6, que ilustra un ejemplo de cuatro segmentos diferentes a través de la red. También esperan que el proveedor de servicios los respalde con la inclusión de servicios o aplicaciones específicos de la industria de otros terceros o proveedores de servicios de manera rentable y oportuna.

[0265] La definición de segmentación de red es doble. Para la definición general se utiliza la de GSMA: “Desde el punto de vista de un operador móvil, un segmento de red es una red lógica independiente de extremo a extremo que se ejecuta en una infraestructura física compartida, capaz de proporcionar una calidad de servicio negociada”. Además de esta definición general, existen varias implementaciones que se dan cuenta de lo anterior y, a menudo, se refieren a ellas cuando se menciona la “segmentación de red”. La más destacada proviene de la memoria de 5G Core, “Arquitectura del sistema para el sistema 5G (5GS), etapa 2”, 3GPP TS 23.501, v. 15.4.0 (diciembre de 2108): “Segmentación de red: Una red lógica que proporciona capacidades de red y características de red específicas […] Un segmento de red se define dentro de una PLMN e incluirá: el plano de control de la red central y las funciones de red del plano de usuario […]”. Los métodos, que se mencionan en al menos en parte de la definición anterior, no se limitan a 5G, sino que también están disponibles en redes 4G.

[0266] Con estas definiciones, el segmento de red básico se puede explicar según la Figura 7:

- Existe una infraestructura física compartida\ (ver [1] en la Figura 7).
- Se definen una o más redes lógicas de extremo a extremo independientes (ver [2] en la Figura 7), que comprenden:
  a. Un plano de control de la red central,
  b. Funciones de red del plano de usuario,
- Estas redes lógicas pueden soportar calidad de servicio negociada o capacidades de servicio especificadas o, en otras palabras, un acuerdo de nivel de servicio (SLA) sobre las capacidades de segmento de red (ver [3] en la Figura 7).

[0267] Una vez que se han definido los segmentos de red, una primera pregunta es cómo se asigna o enruta un flujo de tráfico de datos a través del segmento de red correspondiente. En muchos casos, un solo dispositivo hace uso de un solo segmento, por lo que la asignación se puede realizar asignando

cada UE a un segmento de red específico. Sin embargo, en algunos casos, un dispositivo puede proporcionar tráfico para varios segmentos.

[0268] Una línea de base en redes móviles para tratamientos de servicios para proporcionar un rendimiento de servicio específico y QoS son portadores dedicados; a menudo son una solución para cumplir con los requisitos de servicios o casos de uso específicos. En la red de acceso radioeléctrico (RAN), los portadores dedicados se asignan a los portadores de radio que el programador puede utilizar para entregar QoS específica del portador. Se pueden reservar recursos específicos para ciertos portadores dedicados. En los bordes de la red, los portadores pueden identificarse y tratarse individualmente según el filtro en los encabezados del paquete, como la dirección IP de origen de 5 tuplas, la dirección IP de destino, el número de puerto de origen, el número de puerto de destino y el protocolo (UDP o TCP).

[0269] La Figura 8 muestra cuatro métodos 4G disponibles para segmentar una red. Para el primero, se aplica el uso compartido de RAN, lo que permite que los eNB anuncien múltiples ID de PLMN. Para utilizar este enfoque, la RAN y la Core deben admitir esa característica, para garantizar que se anuncien los ID de PLMN y que el tráfico se enrute adecuadamente hacia/desde la red central correcta. El UE selecciona la PLMN según los procedimientos habituales de selección de red, que incluyen tener redes (domésticas) preferidas. Un UE solo puede ser atendido por una PLMN (excepto en el caso de UE multi-SIM). En la actualidad, esta solución es compatible con todos los UE y al menos con algunos sistemas del lado de la red.

[0270] La segunda solución se basa en los nombres de puntos de acceso (APN) configurados en el UE. En este caso, la RAN anuncia un ID de PLMN, pero el tráfico del plano de usuario se enruta a la red Core correcta según el APN. Un UE puede incluso tener múltiples APN configurados lo que da como resultado múltiples direcciones IP (*multi-homing*) cuando se establecen sesiones de PDN. No es sencillo asegurar que se utiliza la dirección IP de origen correcta

cuando se transmite en el enlace ascendente. Es posible que la configuración de más de un APN en el mismo UE para aplicaciones de Internet no sea compatible con todos los dispositivos. Esta solución no requiere cambios en la RAN, pero debe ser compatible con las redes Core.

[0271] 3GPP tenía un elemento de estudio llamado DECOR, ahora descrito en el documento de estándares como red central dedicada (DCN), que permite la selección de un segmento según la configuración de la red, en lugar de una ID de PLMN preferida o la configuración de APN, como se hizo para las soluciones anteriores. La característica debe ser compatible con RAN y Core, y la información del servidor de suscriptores domésticos (HSS) se utiliza para determinar el “tipo de uso de UE” y, con esto, adjuntarlo al segmento correcto. El UE no impacta en esta solución.

[0272] Un concepto conocido como eDECOR mejora aún más esto al permitir que el UE envíe un DCN-ID para seleccionar el segmento. Para utilizar este enfoque, RAN, Core y UE deben admitir la característica.

[0273] Tanto DECOR como eDECOR, solo permiten un segmento por UE, pero aseguran que los UE de diferentes tipos sean atendidos por diferentes segmentos. Dentro de cada núcleo dedicado, se pueden usar múltiples portadores dedicados y APN.

[0274] Para la versión 15 y posteriores, la segmentación 5G extiende esta característica a un número teóricamente ilimitado de segmentos, pero es probable que se apliquen restricciones dependientes de la implementación y los recursos en UE, RAN y Core. En cuanto a 4G, existen varias subopciones para realizar la segmentación en 5G, pero no se profundizará más en este documento.

[0275] Una vez que se ha asignado el tráfico al segmento correspondiente, la siguiente pregunta es cómo se puede proporcionar el rendimiento del servicio. En muchos casos de uso de IoT industrial, se requiere un rendimiento del servicio garantizado para el tráfico priorizado. En una red 5G normal (es decir, sin segmentación), o dentro de un solo segmento de red, se

pueden separar diferentes flujos de tráfico según la separación del flujo de tráfico, como se muestra en la Figura 9, que muestra cómo se aplica QoS en el sistema 5G. Se pueden proporcionar asignaciones de recursos dedicadas para el tráfico crítico. El control de admisión se utiliza para asegurar que el número de flujos de tráfico priorizados admitidos con recursos de transmisión garantizados (es decir, tasa de bits garantizada) no exceda los recursos disponibles, con margen suficiente para variaciones de recursos.

[0276] Para la partición de recursos entre segmentos, la reserva de recursos en la infraestructura física no se realiza por flujo de tráfico individual, sino que se basa en la suma de los flujos de tráfico críticos dentro de un segmento. Este requisito total debe definirse en el SLA de segmento de red. La partición de recursos no necesita ser estática. Se puede lograr una mayor eficiencia si los recursos no utilizados de un segmento pueden ser utilizados por otro segmento. Esto se puede ver en la Figura 10, que ilustra la partición de recursos entre los segmentos de ejemplo A y B. Lo que se requiere es que cada segmento de red pueda tener acceso a los flujos de servicio garantizados en cualquier momento (o al menos al nivel de disponibilidad definido en el SLA).

[0277] Aplicaciones industriales

[0278] A continuación se presenta un análisis de varias aplicaciones y actividades que se conectan a las tecnologías industriales. Este análisis incluye un análisis sobre la robótica en la nube, que es una nueva tecnología que brinda muchos beneficios adicionales, en comparación con tecnologías anteriores.

[0279] En el Capítulo 5.3.2 del “Estudio sobre la comunicación para la automatización en dominios verticales”, 3GPP TR 22.804, v. 16.2.0 (diciembre de 2018), se presenta el control de movimiento como un caso de uso para las fábricas del futuro. El control de movimiento es fundamental para cualquier aplicación de automatización y, por ejemplo, también es fundamental para los robots industriales. El movimiento de un robot o la funcionalidad de una máquina

de impresión es, básicamente, un control de movimiento coordinado de múltiples actuadores.

[0280] El control de movimiento se refiere a la tarea de conducir un actuador (o un grupo de actuadores) de una manera (y asegurarse de que lo esté haciendo) que requiera una aplicación. Los motores electrónicos son los actuadores más comunes en las industrias. Hay diversas formas de clasificar los motores eléctricos (por ejemplo, AC-DC (con o sin cepillo), paso a paso-servo-paso a paso híbrido). No obstante, los principios de control de movimiento son similares para cada clase de motor. Las tecnologías de comunicación se utilizan para coordinar y sincronizar múltiples actuadores y para un control de capa superior. Las aplicaciones de control de movimiento con requisitos de exactitud o precisión siempre se implementan como un bucle de control cerrado.

[0281] Existe una división lógica común en los sistemas de control de movimiento:

- Actuador físico (también conocido como motor) y codificador (es decir, uno o más de uno de sensores de velocidad, posición, etc.)
- Transductor (también llamado inversor)
- Controlador de movimiento
- Controlador lógico programable (PLC)

Esta división lógica de las funciones de control de movimiento se ilustra en la Figura 11.

[0282] Patrones típicos de comunicación en la arquitectura de control de movimiento (números como en la Figura 11):

1) Un PLC comunica comandos de nivel superior al controlador de movimiento, lo que impone requisitos de comunicación menos estrictos.

2) El controlador de movimiento genera los llamados puntos de ajuste (pueden ser velocidad, par, etc.) para el transductor, usando, por ejemplo:

a. Modulación de ancho de pulso, que no es tecnología de comunicación.

b. Protocolos como EtherCat o Profinet IRT o similares, con soporte de tiempos de ciclo muy bajos, generalmente por debajo de 1 ms.

3) Corrientes alimentadas desde el transductor al motor: suministro de energía a los motores según los puntos de ajuste, sin tecnología de comunicación.

4) Retroalimentación del codificador (sensor) al transductor y/o al controlador de movimiento; la retroalimentación depende del tipo de motor y codificador. La retroalimentación puede ser analógica o con base en, por ejemplo, en EtherCat o Profinet IRT como en 2) con los mismos requisitos (transmisión y retroalimentación cíclica del punto de consigna de bucle cerrado).

[0283] Un solo controlador de movimiento puede controlar varios actuadores, si, por ejemplo, se utilizan varios motores en la misma máquina. En el informe técnico que se menciona anteriormente, se enumeran los requisitos para las aplicaciones de control de movimiento (allí se aborda el bucle cerrado: controlador de movimiento-transductor-codificador); estos requisitos se reproducen en la Tabla 1, a continuación.

Aplicación	**N.º de sensores/actuadores**	**Tamaño de mensaje típico**	**Tiempo del ciclo T_{ciclo}**	**Área de servicio**
Impresora	>100	20 bytes	<2 ms	100 m x 100 m x 30 m
Herramienta de máquina	~20	50 bytes	<0,5 ms	15 m x 15 m x 3 m
Máquina de	~50	40 bytes	<1 ms	10 m x 5 m x 3 m

empaquetadora				

Tabla 1: Requisitos de control de movimiento

[0284] En 3GPP TR 22.804, se menciona además que no se aceptan dos pérdidas de paquetes consecutivas y que se requiere una sincronicidad muy alta entre todos los dispositivos involucrados (con una fluctuación de fase por debajo de 1 usec). Esto último es obligatorio para poder tomar muestras de codificadores distribuidos y también para aplicar nuevos puntos de ajuste del controlador de movimiento a los transductores en puntos de muestreo comunes. Esto se conoce como comunicación isócrona, lo que significa que las aplicaciones (por lo que el programa de control de movimiento y todos los actuadores y codificadores) están sincronizados con los tiempos del ciclo de comunicación que da la tecnología de comunicación (por ejemplo, de Profinet). Esto también asegura latencias mínimas y deterministas utilizando el acceso al canal temporizado.

[0285] Varios proveedores de equipos de control de movimiento, tal como el fabricante de control de movimiento Lenze, también combinan funcionalidades en entidades físicas únicas. En un “nivel de control” superior, utilizan un PLC + controlador de movimiento (Logic & Motion), junto a una interfaz hombre-máquina. Este controlador toma la entrada de los dispositivos IO (3) y alimenta sus puntos de ajuste, por ejemplo, al servoinversor (2) a través de EtherCat (“Nivel de campo”).

[0286] Otra tendencia es integrar codificador y/o transductor y/o controlador de movimiento en el motor. En ocasiones, esto también se denomina motor integrado o motor inteligente.

[0287] Además, es posible que se utilicen varios controladores de movimiento para la misma aplicación; cada controlador de movimiento controla un subconjunto de transductores. El movimiento coordinado del motor requiere

comunicación entre controladores de movimiento separados. En 3GPP TR 22.804, esto se conoce como comunicación “controlador a controlador” (C2C). Se asumen tiempos de ciclo entre 4 ms y 10 ms. Los requisitos para la sincronización son igualmente estrictos, con una fluctuación de fase por debajo de 1 usec también en el nivel C2C. Los tamaños de carga útil pueden ser de hasta 1 kB.

[0288] Por razones de seguridad, puede haber un control de seguridad funcional adicional implementado en aplicaciones de control de movimiento inalámbrico. La seguridad funcional se implementa como un bucle cerrado adicional, junto a la que se usa para el control de movimiento en sí. Esto se realiza mediante *hardware* adicional o funciones de seguridad integradas en los componentes de control de movimiento. Se utilizan protocolos de comunicación como ProfiSafe. Una restricción de seguridad es, por ejemplo, Safe Torque Off (STO) (de IEC 61800). STO define que, en caso de que el PLC o un PLC de seguridad adicional detecte algún error/problema de seguridad, se debe detener el suministro de potencia al motor. Una STO se puede activar, por ejemplo, al presionar un botón de emergencia. En 3GPP TR 22.804, se explica que, para la seguridad funcional, se requiere un servicio de comunicación de datos estrictamente cíclico entre ambos extremos. Si se interrumpe la conectividad, se activa una parada de emergencia, incluso si no se ha producido ningún evento de seguridad real. Existen diferentes requisitos (tiempo de ciclo de 4 ms a 12 ms, tamaño de paquete de 40 bytes a 250 bytes, fluctuación de fase tolerable en la transmisión según 3GPP TR 22.804) para diferentes casos de uso. Las funciones de seguridad pueden implementarse en diferentes componentes de la arquitectura de control de movimiento.

[0289] En resumen, existen cuatro tipos diferentes de comunicación para el control de movimiento:

1) Control de movimiento de bucle cerrado de nivel más bajo (controlador de movimiento-transductor-codificador)

2) Comunicación de controlador a controlador

3) Comunicación de seguridad funcional

4) Comunicación de PLC a controlador de movimiento

Los requisitos para el sistema de comunicación con respecto a la latencia están disminuyendo de 1 a 4. Si tiene sentido establecer enlaces 1.- 4. a través de una tecnología de comunicación inalámbrica depende de la aplicación. En la mayoría de los casos, podría ser más relevante establecer enlaces inalámbricos para 2), 3) y 4), pero quizás no para 1).

[0290] Robótica en la nube

[0291] En la investigación de robótica industrial, y en la robótica en general, la robótica en la nube es un tema importante. Describe cómo se pueden utilizar diferentes tecnologías en la nube para proporcionar beneficios adicionales para diversas tareas de robótica y, por lo tanto, mejorar la flexibilidad y las capacidades de todo el sistema. Varios estudios ya han demostrado los beneficios de conectar robots a una nube:

- Uso de recursos informáticos más potentes en la nube (por ejemplo, para inteligencia artificial, AI, tareas).
- Uso de datos casi ilimitados para análisis, toma de decisiones y aprendizaje (incluidas sombras digitales y simulaciones en tiempo real).
- Se habilitan nuevos tipos de casos de uso (por ejemplo, control cooperativo en la nube).
- Menor costo por robot, ya que las funcionalidades se descargan a una nube central.
- La posibilidad de realizar una conmutación por error en caso de que un robot se rompa físicamente de una copia de seguridad actualizada en la nube.
- La confiabilidad de las funciones se puede mejorar si se ejecutan múltiples instancias como espera en caliente en la nube y la operación puede

ser reemplazada inmediatamente de la función primaria defectuosa sin interrupción.

- Facilita la operación y el mantenimiento (actualizaciones de *software*, cambio de configuración, monitorización, etc.).
- Ahorro de energía, especialmente para robots móviles, que funcionan con baterías, al descargar el consumo de energía de la CPU a la nube.

[0292] De hecho, una alta flexibilidad es un requisito clave para la Industria 4.0. Es necesario para realizar una producción rentable y personalizada al admitir una rápida reconfiguración de las líneas de producción, así como un fácil desarrollo de aplicaciones. Las aplicaciones industriales típicas son sensibles al tiempo y requieren una comunicación de extremo a extremo altamente confiable. Por lo tanto, 5G URLLC y la nube perimetral son tecnologías necesarias para abordar los requisitos. Aunque algunas aplicaciones de robótica en la nube no requieren comunicación en tiempo real, algunas sí lo hacen en gran medida, especialmente si el procesamiento de la nube es relevante para el movimiento inmediato del robot. A continuación, se enumeran algunos de los principales desafíos de las aplicaciones industriales que se pueden abordar con la robótica en la nube:

- Control de bucle cerrado rápido (1 ms-10 ms) entre controlador y dispositivo.
- Enlace inalámbrico entre controlador y dispositivo.
- Aplicación industrial en tiempo real en un entorno de ejecución en la nube (por ejemplo, servocontrolador).
- Fiabilidad de nivel industrial (p. ej., la misma que con ProfiNet con base en cable).
- Líneas de producción flexibles (fácil reordenación y reprogramación, actualizaciones de *software* de bajo retraso, reconfiguración, es decir, capacidad FaaS).
- Control cooperativo y arquitectura modular.

- Algoritmos adaptativos (por ejemplo, para la colaboración humano-robot, el control debe adaptarse a los entornos dinámicos cambiantes y necesita capacidades cognitivas y de aprendizaje).
- Datos compartidos para diferentes aplicaciones de control.

[0293] A continuación, se describen a la brevedad algunos escenarios de robótica en la nube que involucran conexiones 4G/5G (reales o emuladas) y tecnologías en la nube para aplicaciones de robótica industrial.

[0294] Una aplicación de la robótica en la nube es reemplazar el controlador lógico programable (PLC) de *hardware* en un robot con una versión de *software* (soft-PLC) y ejecutarlo en un entorno virtualizado/nube en componentes básicos de HW. Un estudio conceptual de esto involucró una celda robótica real con dos brazos robóticos grandes, una cinta transportadora y algunos otros dispositivos de la industria. Para la comunicación se utilizó ProfiNet.

[0295] Un problema es qué nivel de control del robot se puede cambiar a la nube a través de LTE. Esto se ilustra en la Figura 12. El control de alto nivel que normalmente realiza el PLC no es muy crítico en cuanto a retraso, es decir, tiene un requisito de latencia de varias decenas de milisegundos (por ejemplo, ~30 ms), dependiendo de la configuración. Sin embargo, toda la comunicación es muy sensible a las variaciones de retraso (fluctuación de fase) y pérdidas de paquetes. Por ejemplo, en el caso de tráfico periódico con una frecuencia de 8 ms, tres pérdidas de paquetes consecutivas o fluctuación de fase de 3 x 8 (24) ms pueden hacer que se detenga toda la celda del robot. Esos requisitos son fáciles de cumplir cuando se utilizan componentes de *hardware* dedicados en una solución con base en cable, pero pueden ser un desafío al utilizar la ejecución virtualizada en tecnologías inalámbricas.

[0296] Desde la perspectiva de la plataforma en la nube, uno de los principales desafíos que presenta el control virtualizado es la ejecución de aplicaciones en tiempo real. Una aplicación puede utilizar un soft-PLC que utiliza

Windows 7 como sistema operativo base, junto a un sistema operativo en tiempo real que es responsable de ejecutar el código del PLC. Ambos funcionan en paralelo y se comunican a través de la comunicación entre procesos (CIP). La implementación de la lógica de control siempre la ejecuta el RTOS y Windows se utiliza a menudo como interfaz de usuario. El RTOS generalmente tiene algunos requisitos específicos para garantizar el rendimiento necesario, tal como temporizadores precisos y tarjetas de interfaz de red específicas. Se puede crear un entorno virtualizado que pueda albergar la plataforma del PLC de *software* y ejecutar la misma lógica de control que la que se estaba ejecutando en el PLC de *hardware*.

[0297] En un entorno de fábrica real, es factible colocar el nivel de PLC de la lógica de control de HW dedicado en una plataforma de nube perimetral y funciona adecuadamente incluso sobre LTE. Sin embargo, si investigamos aplicaciones tal como la planificación de trayectorias, la cinemática inversa y los bucles de control que dirigen con precisión las velocidades, aceleraciones o posiciones de los actuadores, se requiere una latencia significativamente menor en el intervalo de 1 ms a 5 ms. Para admitir esas aplicaciones, el servicio ultrafiable y de baja latencia de 5G es esencial, como se muestra en la Figura 12.

[0298] Una motivación detrás de mover el control de movimiento de los robots a la nube es nuevamente aumentar la flexibilidad. Por ejemplo, es mucho más fácil reorganizar las líneas de producción con dispositivos controlados por la nube, ya que solo los dispositivos deben moverse (sin cajas de controlador), más fáciles de administrar, reprogramar, realizar una conmutación por error o actualizaciones de *software* en dicho entorno. Sin embargo, algunas funcionalidades deben permanecer dentro/cerca del robot (a través de cables), por ejemplo, algunos mecanismos de seguridad en caso de problemas de conectividad. Los requisitos en la red se reducen si el robot también pudiera realizar su tarea sin conectividad. En caso de pérdida temporal de conectividad

o rendimiento reducido (debido, por ejemplo, a la movilidad extendida del robot en el taller), el robot podría reducir su velocidad de trabajo o activar otros mecanismos para garantizar la seguridad o los objetivos del proceso sin ser independiente de la red. El controlador del robot como entidad adicional al lado del propio robot debe retirarse del taller. En la Figura 13, se muestra una arquitectura para este tipo de implementación.

[0299] Otro enfoque podría ser que el control de movimiento se realice dentro del robot de forma autónoma y la conectividad se utilice solo para permitir nuevos casos de uso, tal como el control de robot cooperativo. Para el control cooperativo, una entidad de control aún puede necesitar un acceso rápido al estado real de los otros procesos de control. Esta opción es válida en algunos escenarios cuando, por ejemplo, el control de movimiento tiene un bucle de control de 5 ms dentro del robot, pero necesita coordinarse con otra instancia solo cada ~100 ms.

[0300] Se ha implementado un controlador de robot que incluye planificación y ejecución de trayectorias, y se evalúa el rendimiento de una aplicación de control de brazo de robot desde una nube local a través de un canal inalámbrico modelado. La aplicación bajo evaluación incluía el bucle de control cerrado de un brazo robótico industrial, donde el control se conectaba al brazo robótico a través de un enlace 5G modelado.

[0301] El efecto del retraso del enlace en el rendimiento de la calidad del movimiento del brazo del robot se puede medir mediante indicadores clave de rendimiento (KPI) específicos. El brazo del robot industrial tiene una interfaz de control de velocidad accesible externamente que acepta comandos de velocidad para cada articulación (servo) y publica información sobre el estado de la articulación con un tiempo de actualización de 8 ms. Los KPI pueden ser el tiempo de respuesta y la precisión de la ejecución de la trayectoria, es decir, desviaciones espaciales y temporales de la trayectoria planificada. Las mediciones han demostrado que los retrasos de la red por debajo de 4 ms no

tienen un impacto significativo en el rendimiento de esta aplicación. Esto se debe a que (1) la operación interna del robot termina en una desviación estándar de aproximadamente 2 ms en el tiempo de respuesta debido al muestreo interno utilizado en el robot, y (2) los tics del robot y el controlador no están sincronizados. El impacto de los retrasos de la red por debajo de 4 ms está enmascarado por el “ruido” de fondo de la configuración de medición.

[0302] Se pueden llegar a varias otras conclusiones:

- Reacción ante eventos externos: se desea un retraso de red bajo, porque el retraso de red entre el robot y el controlador aumenta directamente el tiempo de reacción.
- Refinamiento de la trayectoria en tiempo real (es decir, posicionamiento preciso del extremo del brazo del robot): La fecha límite en el tiempo de ejecución de la trayectoria conduce a un requisito sobre el retraso máximo tolerable de la red. En general, un mayor retraso de la red prolonga el tiempo de refinamiento y, de esta manera, aumenta el tiempo total de ejecución de la trayectoria.
- Precisión de la trayectoria: Algunas tareas requieren un movimiento preciso a lo largo del camino, tal como la soldadura, y no solo en la posición final. Otro ejemplo es la colaboración de más brazos robóticos donde los movimientos precisos y sincronizados son cruciales. Para estas tareas, se desea un retraso de red bajo si se debe respetar la información externa en la planificación de la trayectoria.

[0303] Los mecanismos internos de un brazo robótico también pueden imponer requisitos al retraso de la red. En general, un sistema con un tiempo de actualización bajo requiere un retraso de red menor. Por ejemplo, el control de un brazo robótico con un tiempo de actualización de 20 ms tolera un mayor retraso de la red que un brazo robótico más preciso y rápido con un tiempo de actualización de 1 ms. Además de esto, proporcionar una conexión de latencia

ultrabaja para un sistema con un tiempo de actualización relativamente alto tiene una ventaja de rendimiento limitada.

[0304] Los requisitos de rendimiento de la ejecución de la trayectoria también pueden imponer requisitos al retraso de la red. Los movimientos más rápidos del robot requieren un menor retraso de la red para un movimiento preciso. Por otro lado, si solo está disponible una conexión de latencia más alta, el uso de una velocidad de robot más baja puede compensar el aumento de la demora de la red hasta cierto punto. La optimización del rendimiento también puede brindar pautas para el retraso de red requerido. La elección de la precisión requerida adecuada puede mejorar el tiempo de ejecución. Por ejemplo, si un movimiento menos preciso es suficiente, la precisión relajada puede acortar el tiempo de refinamiento.

[0305] Los nuevos conceptos y aplicaciones robóticos incluyen el control de robots de colaboración masiva, así como el uso de gemelos digitales en sistemas de producción ciberfísicos. Estos se analizan a la brevedad en las secciones siguientes.

[0306] Hexápodo

[0307] Al introducir mayores capacidades de colaboración y adaptación en aplicaciones industriales tales como brazos robóticos y control de celdas robóticas, es posible que se requiera la colaboración de una gran cantidad de servos, lo que hace que el caso de uso sea aún más desafiante. El robot hexápodo es una aplicación útil para evaluar un amplio espectro de desafíos que surgen en una celda de robot de Industria 4.0, por ejemplo, servocontrol, colaboración, etc. La Figura 14 ilustra un robot hexápodo, que puede verse como un sistema agnóstico de robot-vendedor colaborativo, junto con un segmento 5G para el control con base en la nube.

[0308] El hexápodo se puede considerar como seis brazos robóticos de 3 grados de libertad conectados a través de un enlace base. Para evaluar los

requisitos de 5G, los servos en las 18 articulaciones pueden controlarse por separado desde una computadora ubicada en una red inalámbrica que se aleja del hexápodo. De esta manera, el hexápodo resulta ser una opción adecuada para visualizar el efecto de la colaboración sincronizada. La colaboración bien sincronizada debería dar como resultado una posición central estable, mientras que cualquier falla en el sistema da como resultado una sacudida de la plataforma. Los resultados de una evaluación del control inalámbrico del hexápodo se informaron en Geza Szabo, Sandor Racz, Norbert Reider, Jozsef Peto, “QoC-aware Remote Control of a Hexapod Platform”, ACM Sigcomm, Budapest, 2018.

[0309] Gemelo digital

[0310] El concepto de gemelo digital (DT) es útil para analizar los efectos de la red en el control de un robot real, donde su DT se ejecuta en una celda de robot compleja que ejecuta tareas ágiles de robot. Un DT realizable puede implementarse en el entorno de simulación de Gazebo y evaluarse contra un escenario completamente simulado que resuelve el Concurso de Robótica Ágil para Automatización Industrial (ARIAC). Esta evaluación trata cuestiones de las diferentes frecuencias de comando, lazos de control y manejo de la dinámica del robot real y simulado. Una evaluación de la arquitectura en un complemento Gazebo independiente del *hardware* muestra que la simulación de la red que controla un robot simulado se puede utilizar en escenarios de bajo retraso. En escenarios de alto retraso, la latencia simulada proporciona aproximadamente ~10% más de espacio con respecto al tamaño del retraso hasta que ocurre la falla completa en la celda del robot. Estos resultados se informan en Ben Kehoe, Sachin Patil, Pieter Abbeel, Ken Goldberg, "Survey of Research on Cloud Robotics and Automation", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (T-ASE): Special Issue on Cloud Robotics and Automation. Vol. 12, n.º 2. Abril de 2015.

[0311] Posicionamiento

[0312] El posicionamiento se reconoce como una funcionalidad importante en la industria y los escenarios de fabricación, con casos de uso tales como seguimiento de personal (por ejemplo, en minas), seguridad (por ejemplo, cuando se trabaja cerca de montacargas), ubicación de herramientas en plantas de fabricación/ensamblaje, optimización de la cadena de suministro, operación de vehículos guiados automáticamente, etc. La mayoría de los casos de uso requieren solo un posicionamiento relativo, por ejemplo, donde todas las posiciones se definen en relación con un punto de referencia común en una sala de la fábrica.

[0313] La precisión de posicionamiento requerida, así como el entorno y las condiciones de radio donde se realizará el posicionamiento, varían significativamente entre diferentes casos de uso. Sin embargo, la mayoría de los casos de uso de fabricación son en interiores, como por ejemplo una nave de fábrica o los túneles de una mina. Esto implica que las soluciones con base en el sistema global de navegación por satélite (GNSS) son difíciles de utilizar debido a los muy bajos niveles de intensidad de la señal recibida en el interior de las transmisiones por satélite, lo que da como resultado una cobertura deficiente o nula.

[0314] Las limitaciones de los sistemas GNSS en interiores se han abierto a las soluciones de posicionamiento con base en celulares. Las soluciones de posicionamiento comúnmente utilizadas en industrias y plantas de fábrica hoy en día se basan en wifi, identificación por radiofrecuencia (RFID), Bluetooth de baja energía (BLE), banda ultraancha (UWB) y LTE. Banda estrecha (NB)-IoT y CAT-M son tecnologías 3GPP LTE para abordar dispositivos de baja complejidad, baja potencia y bajo costo y, por lo tanto, son la única solución de posicionamiento 3GPP realista para casos de uso donde el activo a posicionar no contiene ya módem 3GPP para necesidades de comunicación. Las soluciones de radio, tal como RADAR, y las soluciones que no son de radio,

como LIDAR y los sistemas de visión por computadora, también son importantes, especialmente cuando se requiere un posicionamiento con alta precisión (submétrica).

[0315] La propagación por trayectos múltiples es a menudo una fuente de error crítica para el posicionamiento. En las salas de la industria, la propagación del retraso de las rutas suele ser relativamente corta, pero siguen siendo críticas dados los requisitos para un posicionamiento preciso en dichos entornos. La mayoría de los algoritmos de posicionamiento funcionan bajo el supuesto de disponibilidad de mediciones de línea de visión y no hay formas sencillas de distinguir entre línea de visión (LoS) y sin línea de visión (nLoS). Si se utiliza por error una ruta nLoS en lugar de una ruta LoS para el posicionamiento, tanto el tiempo de vuelo como el ángulo de llegada pueden ser engañosos. El tiempo de vuelo de la ruta nLoS será un límite superior del tiempo de vuelo de la ruta LoS, mientras que el ángulo de llegada puede ser completamente incorrecto. Por lo tanto, las rutas nLoS pueden degradar enormemente el rendimiento de los algoritmos de posicionamiento. Los futuros esquemas de posicionamiento industrial deben abordar este problema de manera satisfactoria.

[0316] Otro obstáculo para un posicionamiento preciso son los errores de sincronización de la red. Los algoritmos prácticos de sincronización de red pueden implicar errores de sincronización de red de hasta 360 ns, lo que corresponde a ±110 m de error de posicionamiento. Una alternativa prometedora para mejorar la precisión del posicionamiento es el monitoreo con base en interfaz de radio (RIBM). Esta solución se basa en las mediciones de temporización de la estación base de las señales de referencia de posicionamiento de las estaciones base vecinas y estima el desplazamiento de sincronización entre las estaciones base de modo que se pueda proporcionar una "sincronización virtual" con mucha mejor precisión. Alternativamente, se pueden considerar técnicas de posicionamiento que no requieren sincronización de red, por ejemplo, técnicas según el tiempo de ida y vuelta y/o las mediciones

del ángulo de llegada. Cabe destacar que cualquier estimación de precisión de posicionamiento indicada en el presente documento asume que se ha logrado una buena sincronización de red, por ejemplo, utilizando RIBM.

[0317] La precisión del posicionamiento, especialmente entre los instantes de tiempo en los que se realizan las mediciones, puede mejorarse significativamente considerando la trayectoria del movimiento. Además, las unidades de medida inercial (IMU) se están adoptando cada vez más en las terminales como un medio para actualizar las estimaciones de posición. Usan acelerómetros y giroscopios (y algunas veces también magnetómetros) para rastrear el movimiento del terminal.

[0318] Aspectos de implementación

[0319] Para reducir los costos y simplificar la implementación, se prefieren las soluciones donde se utiliza un sistema tanto para la comunicación como para el posicionamiento. Esto es especialmente importante en entornos donde el despliegue de un sistema de posicionamiento separado es difícil y costoso, por ejemplo, en minas donde el costo de instalación de cada nodo es, con frecuencia, alto. Sin embargo, si el despliegue de comunicaciones, que puede comprender una o unas pocas microestaciones base, por ejemplo, no proporciona una precisión de posicionamiento suficientemente buena, un sistema de posicionamiento separado o complementario agregado en la parte superior del sistema de comunicación puede ser la mejor solución, ya que el posicionamiento de alta precisión generalmente requiere un despliegue mucho más denso que la comunicación.

[0320] La precisión de posicionamiento que se puede lograr depende en gran medida de la densidad del despliegue y de las características del entorno de radio. Por tanto, la densificación de la red de comunicaciones puede ser un medio para lograr una precisión de posicionamiento mejorada. Un despliegue denso es especialmente importante en entornos con propagación multitrayecto

severa, especialmente si la propagación multitrayecto cambia dinámicamente, ya que de lo contrario puede que no haya suficientes rutas LoS disponibles para estimar la posición. También puede ser necesario un despliegue denso para garantizar que se puedan localizar los objetos ocultos con alta atenuación de señal.

[0321] La densidad de la red es un aspecto clave para proporcionar una precisión de posicionamiento suficientemente buena en escenarios de fabricación. Otro aspecto de implementación a considerar es lo simple que es instalar los nodos de anclas. La instalación puede incluir, por ejemplo, proporcionar manualmente la posición exacta del ancla, lo que puede ser difícil, lento y propenso a errores. Para evitar esto, se puede utilizar un algoritmo de localización y mapeo simultáneos (SLAM) para estimar la posición de cada ancla en la fase de inicialización.

[0322] Para que las implementaciones densas sean rentables, el costo de cada ancla debe mantenerse bajo. Sin embargo, el costo de cada ancla/estación base para tecnologías que proporcionan comunicación y posicionamiento es naturalmente más alto que para tecnologías que solo proporcionan posicionamiento, por ejemplo, RFID y UWB. Una forma de reducir el costo involucrado en la densificación de la red de comunicaciones para lograr un posicionamiento de alta precisión puede ser desarrollar anclas simples, utilizando la misma tecnología que las estaciones base más costosas, con capacidad reducida que solo proporciona posicionamiento. Por ejemplo, solo una o unas pocas estaciones base NR de alta capacidad montadas en el techo de una nave industrial pueden ser suficientes para proporcionar cobertura de comunicación. Los nodos/anclas de posicionamiento NR menos capaces se pueden usar para densificación y lograr un posicionamiento con alta precisión.

[0323] Otra forma de reducir la necesidad de un despliegue muy denso puede ser combinar la capacidad avanzada de conformación de haces de NR con reflectores. De esta manera, cada par de haz de transmisión y reflector

puede actuar como un ancla virtual, logrando así los beneficios de un despliegue muy denso con solo unas pocas estaciones base NR. Un desafío con esta solución es la estabilidad, ya que los reflectores deben estar estacionarios o al menos cambiar lentamente para garantizar una precisión de posicionamiento estable.

[0324] Aspectos del espectro

[0325] Es bien sabido que la precisión del posicionamiento mejora con un mayor ancho de banda. Además, un mayor ancho de banda de señal permite una mayor resolución del flanco ascendente de LoS de la señal recibida dominante nLoS y, por lo tanto, es más fácil detectar con precisión las rutas de LoS. Por otro lado, el uso de una frecuencia portadora más alta puede reducir la detectabilidad de la ruta de LoS debido a una mayor atenuación de la señal.

[0326] En la actualidad se están definiendo bandas de frecuencia para uso local, por ejemplo, la banda de 3,7 GHz a 3,8 GHz en Alemania y Suecia. El espectro nacional y/o el espectro sin licencia también se pueden utilizar para las industrias. El ancho de banda de 100 MHz debería ser suficiente para lograr una precisión de posicionamiento inferior al metro. Para mejorar aún más el rendimiento, se pueden combinar diferentes fragmentos de espectro.

[0327] Requisitos de precisión

[0328] Los requisitos de precisión de posicionamiento van desde el milímetro hasta el nivel de varias décimas de metro. Por ejemplo, la perforación y voladura en minas, así como la fabricación automatizada (alineación, ensamblaje) pueden beneficiarse de la precisión milimétrica. Otros ejemplos en los que se desea una precisión de centímetro a decímetro incluyen la ubicación de herramientas en los pisos de fabricación/ensamblaje y el seguimiento de vehículos guiados automatizados. Se requiere precisión de decímetro a metro para algunas soluciones de seguridad, por ejemplo, seguimiento de personal y advertencias en tiempo real para el personal que trabaja cerca de una carretilla

elevadora, pero también cuando se considera, por ejemplo, la optimización de la cadena de suministro y el seguimiento de activos (por ejemplo, herramientas, máquinas).

[0329] 3GPP ha documentado los requisitos de posicionamiento para los servicios de posicionamiento 5G en TS22.104, Sección 5.7, “Requisitos de rendimiento de posicionamiento”. La Tabla 2 extrae algunos de estos requisitos. Según 3GPP, según el caso de uso, el sistema 5G debe admitir el uso de tecnologías 3GPP y no 3GPP para lograr un posicionamiento de mayor precisión.

Supuesto	**Precisión horizontal**	**Disponibilidad**	**Encabezado**	**Latencia para la estimación de la posición de UE**	**Velocidad UE**
Paneles de control móviles con funciones de seguridad (zonas no peligrosas)	<5 m	90%	N/A	<5 s	N/A
Automatización de procesos: gestión de activos de planta	<1 m	90%	N/A	<2 s	<30 km/h

Área de ensamblaje flexible y modular en fábricas inteligentes (para el seguimiento de herramientas en el lugar de trabajo)	<1 m (posicionamiento relativo)	99%	N/A	1 s	<30 km/h
Realidad aumentada en fábricas inteligentes	<1 m	99%	<0,17 rad	<15 ms	<10 km/h
Paneles de control móviles con funciones de seguridad en fábricas inteligentes (dentro de las zonas	<1 m	99,9%	<0,54 rad	<1 s	N/A

peligrosas de la fábrica)					
Área de montaje flexible y modular en fábricas inteligentes (para vehículos autónomos, solo para propuestas de monitoreo)	<50 cm	99%	N/A	1 s	<30 km/h
Logística de entrada para la fabricación (para trayectorias de conducción [si son compatibles con otros sensores como	<30 cm (si es compatible con otros sensores como cámara, GNSS, IMU)	99,9%	N/A	10 ms	<30 km/h

cámara, GNSS, IMU] de sistemas de conducción autónomos)					
Logística de entrada para fabricación (para almacenamiento de mercancías)	<20 cm	99%	N/A	<1 s	<30 km/h

Tabla 2: Resumen de los requisitos de posicionamiento de 3GPP TS 22.104

[0330] Descripción general de las tecnologías de posicionamiento

[0331] A continuación, se ofrece una descripción general de las tecnologías de posicionamiento que pueden ser útiles para la fabricación, con un enfoque en cómo se pueden aplicar en un escenario de fabricación. La atención se centra en las técnicas 3GPP, pero aquí también se consideran otras técnicas. El posicionamiento utilizando balizas RFID y BLE no se ha incluido en esta descripción general, pero se apreciará que muchos de los mismos principios se aplican allí y que las diversas tecnologías descritas en el presente documento pueden combinarse con estas y otras tecnologías de posicionamiento.

[0332] LTE OTDOA

[0333] Desde la versión 9, LTE admite el posicionamiento de diferencia de tiempo en la llegada observada (OTDOA), que se basa en mediciones de diferencia de tiempo de señal de referencia (RSTD) que se describen en 3GPP TS 36.305. El UE recibe señales de referencia de posicionamiento (PRS) de las celdas vecinas, estima el tiempo de llegada (TOA) para cada celda usando mediciones RSTD y notifica el TOA con respecto a una celda de referencia. Posteriormente, el centro de ubicación móvil de servicio evolucionado (E-SMLC) estima la posición del UE según posiciones conocidas de eNB. La diferencia de tiempo de llegada (TDOA) se usa con respecto a una celda de referencia en lugar de TOA, porque esto elimina el requisito de que el UE esté sincronizado en el tiempo, aunque la red necesita estar sincronizada. En principio, se necesitan un mínimo de 3 celdas para el posicionamiento 2D y un mínimo de 4 celdas para el posicionamiento 3D.

[0334] La Figura 15 ilustra cómo se puede estimar la posición del UE a partir de 3 eNB, de conformidad con los principios de OTDOA, y es un gráfico conceptual de posicionamiento con base en 2D TDOA, asumiendo medidas TDOA perfectas. Cada TDOA (TOA de referencia eNB menos TOA de eNB) se traduce en una diferencia en la distancia (por ejemplo, en metros) cuando se multiplica por la velocidad de la luz. Cada TDOA devuelve una hipérbola en el plano 2D de posibles posiciones de UE. La intersección de tales hipérbolas es entonces la posición del UE. En la práctica, la posición es estimada por el E-SMLC utilizando la búsqueda de Gauss-Newton o algoritmos numéricos similares.

[0335] En LTE, el RSTD se puede estimar según señales específicas de la celda o según PRS opcionalmente definidos. Sin embargo, el procedimiento de estimación de TDOA normalmente usa PRS porque otras señales de referencia específicas de celda no pueden garantizar una probabilidad suficientemente alta de detección de celdas vecinas a una relación de señal a

interferencia y ruido (SINR) baja (sub -6 dB). Los PRS se definen a partir de secuencias Gold inicializadas por variables de tiempo (número de intervalo dentro de una trama y número de símbolo OFDM dentro de un intervalo) y PRS ID, y se asignan en un patrón diagonal que se desplaza en la subportadora. Esencialmente, tres factores principales contribuyen a una alta detectabilidad de PRS:

- Las secuencias Gold garantizan propiedades de baja correlación cruzada.
- Hay 2 elementos de recursos PRS por bloque de recursos y símbolo OFDM con una distancia (factor de reutilización) de 6 subportadoras. La ubicación específica de cada diagonal PRS está determinada por PRS ID mod 6. Las subportadoras no utilizadas para PRS están vacías para crear LIS (subtramas de baja interferencia).
- El PRS se puede silenciar en algunas ocasiones de transmisión para aumentar el SINR cuando se recibe PRS de células distantes.

[0336] El RSTD se extrae del perfil de retraso de potencia (PDP) generado mediante la correlación cruzada de la señal de banda de base de enlace descendente recibida con el PRS. El desafío aquí es detectar el pico más temprano en el PDP que no es un pico de ruido y luego tomar los retrasos de pico en términos de múltiplos de muestras. Una fuente importante de error de TOA son las condiciones nLoS en las que no se detecta la ruta de LoS debido al bloqueo o al sombreado.

[0337] La precisión de posicionamiento que se puede lograr con LTE OTDOA en implementaciones prácticas es del orden de 50 m a 100 m para la Versión 9. En la versión 14 de LTE, la resolución del informe al E-SMLC se cambió de Ts a Ts/2, donde Ts es la unidad de tiempo básica en LTE (32,55 ns), para mejorar la resolución de distancia relativa de 9,8 m a 4,9 m. Sin embargo, todavía no está claro qué precisión se puede lograr en la práctica. Además, OTDOA requiere sincronización de red y cualquier error de sincronización reduce

la precisión de posicionamiento que se puede lograr. Para LTE, existen conjuntos de chips UE de banda ancha móvil (MBB) disponibles que cubren la mayoría de los métodos de posicionamiento normalizados hasta la Versión 14.

[0338] La Figura 16 muestra los resultados de posicionamiento de OTDOA para el escenario 3GPP *Indoor Open Office* (IOO), utilizando diferentes anchos de banda de 100 MHz (30 kHz SCS, 275 PRB), 50 MHz (15 kHz SCS, 275 PRB), 10 MHz (15 kHz SCS, 50 PRB), 5 MHz (15 kHz, 25 PRB). El gráfico se basa en el uso de la señal de referencia de seguimiento (TRS) ya existente para el posicionamiento como línea de base en NR.

[0339] El escenario asume 6 gNB (en total 12 gNB) separados por 20 metros. ("gNB" es la terminología 3GPP para una estación base NR). Los resultados muestran que la precisión de posicionamiento mejora significativamente cuando se aumenta el ancho de banda de 5 MHz a 10 MHz y más cuando se aumenta aún más el ancho de banda a 50 MHz. Sin embargo, también se puede ver que los resultados de 100 MHz y 50 MHz no difieren mucho, con una precisión de alrededor de 8 metros en el percentil 80%. El caso de 100 MHz se puede mejorar aún más mediante el uso de un algoritmo de búsqueda de picos más avanzado para la estimación del tiempo de llegada (TOA). En las simulaciones actuales, el pico más temprano en el PDP, que es al menos la mitad de alto que el pico más alto, se toma como el pico LOS. Si se aumenta la relación señal/ruido (SNR), se puede mejorar la probabilidad de detectar un pico por encima del piso de ruido. Además, los errores mayores que la distancia entre sitios (ISD) de 20 m se pueden compensar en la práctica combinándolos con una estimación de ID de celda simple (CID) si la OTDOA se vuelve irrazonable, lo que no se hace aquí.

[0340] Banda estrecha (NB)-IoT y CAT-M son tecnologías 3GPP LTE para abordar dispositivos de baja complejidad, baja potencia y bajo costo. La disponibilidad de estos dispositivos de bajo costo hace que esta sea la única solución 3GPP realista para casos de uso donde el activo que se colocará no

contiene ya un módem 3GPP para las necesidades de comunicación. Sin embargo, la precisión de posicionamiento es significativamente peor cuando se utilizan dispositivos de IoT, principalmente debido al estrecho ancho de banda utilizado. Un estudio de simulación demostró un error de posicionamiento de 100 m en el percentil del 70% para NB-IoT en una implementación en interiores, mientras que LTE que usa 50 PRB para el posicionamiento dio ~23 m en el percentil del 70% en el mismo escenario.

[0341] El estrecho ancho de banda de los dispositivos NB-IoT se compensa en parte al permitir ocasiones PRS más largas en el tiempo. Sin embargo, las propiedades de correlación son malas ya que la PRS se repite en cada trama (10 ms). Los dispositivos NB-IoT también tienen tasas de muestreo más bajas para reducir el consumo de la potencia, lo que reduce la precisión de las mediciones de RSTD.

[0342] Los conjuntos de chips para dispositivos LTE IoT no están tan fácilmente disponibles como para LTE MBB. Sin embargo, el desarrollo está en curso y la disponibilidad está mejorando lentamente.

[0343] El posicionamiento de IoT para NR no está definido a partir de diciembre de 2018, pero un habilitador para una mejor precisión de posicionamiento de IoT es mejorar las propiedades de correlación de tiempo del PRS, por ejemplo, aumentando el intervalo de repetición del PRS. También se ha analizado la agregación de portadoras para NB-IoT y, en este caso, el aumento del ancho de banda puede ser otro habilitador para mejorar el posicionamiento de IoT. Otra alternativa puede ser modificar la fase del eNB PRS, asegurando así que los dispositivos NB-IoT puedan muestrear a velocidades bajas y aun así detectar las fases de los PRS.

[0344] Posicionamiento de ID de celda mejorada LTE

[0345] La identificación celda mejorada, o E-CID, se introdujo en la versión 9 de LTE. El UE informa a la red el ID de la celda de servicio, el avance de la

temporización y las ID, la temporización estimada y la potencia de las celdas vecinas detectadas. El eNB puede enviar información adicional al servidor de posicionamiento, como el ángulo de llegada, la porción de la celda, el tiempo de ida y vuelta, etc. El servidor de posicionamiento estima la posición del UE según esta información y su conocimiento de las ubicaciones de la celda.

[0346] La precisión de E-CID depende principalmente de la densidad de implementación. Para implementaciones en exteriores, la precisión de E-CID puede ser del orden de 100 m, para entornos urbanos con ISD de menos de unos pocos cientos de metros, o del orden de 3000 m, para entornos rurales con ISD de hasta varios kilómetros. No se ha estudiado la precisión de E-CID para entornos similares a la fabricación, pero se espera que sea del orden de la ISD, ya que el entorno contiene muchas trayectorias múltiples y, por ejemplo, los datos de ángulo de llegada pueden ser engañosos, debido a los reflejos. Por otro lado, incluso en un escenario tan desafiante, las huellas dactilares de RF deberían poder dar una precisión de unos pocos metros si la propagación de radio es estable y es factible una fase de calibración/entrenamiento.

[0347] Funciones de posicionamiento NR

[0348] Desde diciembre de 2018, no existe un concepto definido para el posicionamiento de NR. Se pueden imaginar características NR que permitan una precisión de posicionamiento mejorada sobre LTE OTDOA. Algunas de estas características también vienen con nuevos desafíos:

- Mejores estimaciones de distancia y ángulo de llegada/salida (AoA/AoD) en sistemas con base en haces.
- Las frecuencias portadoras más altas son compatibles con NR, lo que significa que las señales son más susceptibles al bloqueo/reflejo. Esto puede manejarse en parte mediante conformación de haces. Además, las frecuencias portadoras más altas generalmente vienen con anchos de banda más amplios, lo que permite una mejor resolución RSTD.

- Implementaciones más densas en términos de menor distancia entre sitios y radio de celda. Esto, combinado con la conformación de haces usando ID de haz para haces específicos, requiere inicializaciones de secuencia Gold más sofisticadas para preservar la ortogonalidad del código para todas las combinaciones posibles de haz/ID de celda.
- Se esperan mejores alineaciones de tiempo en NR, reduciendo así el error de sincronización de tiempo.
- La unidad de tiempo básica se reduce en NR en comparación con LTE. El número máximo de PRB es 275 (en comparación con 110 en LTE), lo que requiere una longitud de FFT de 4096, que es el doble que la de LTE. Además, el espaciado de la subportadora varía de 15 kHz a 240 kHz. Básicamente, esto implica intervalos de muestreo más cortos que en LTE, mejorando la resolución de posicionamiento TOA.

[0349] Se espera que las soluciones normalizadas para NR Rel-16 proporcionen las herramientas necesarias para lograr una precisión inferior al metro. Las simulaciones a nivel de enlace que muestran el potencial tecnológico de NR indican que, en teoría, podría ser posible una precisión subdecimétrica. El artículo del estudio de posicionamiento 3GPP de la versión 16 NR comenzó en octubre de 2018.

[0350] Posicionamiento usando el sistema de puntos de radio

[0351] El sistema *Radio Dot System* (RDS) de Ericsson es muy adecuado para la comunicación en la industria de interiores y en escenarios de fabricación. Sin embargo, con los productos RDS disponibles a partir de diciembre de 2018, solo está disponible el posicionamiento con base en ID de celda, ya que no es posible distinguir los DOT conectados a la misma IRU entre sí. Además, un RDS a menudo se implementa con celdas grandes, ya que se pueden conectar hasta 8 DOT a la misma IRU. Con el 5G DOT digital, se pueden conectar hasta 16 DOT a la misma IRU.

[0352] Se ha propuesto la mejora de la precisión de posicionamiento, haciendo posible el posicionamiento por DOT. La posición del UE se calcula utilizando un algoritmo de diferencia de tiempo de llegada de enlace ascendente (UTDOA) combinado con el nivel de potencia del DOT. Las simulaciones han demostrado que se pueden lograr errores de posicionamiento de menos de 1 metro con una buena SNR y un buen diseño de geometría DOT. Sin embargo, es probable que se produzcan errores de posicionamiento del orden de 1 a 5 metros cuando se tienen en cuenta varias fuentes de error, como la precisión de las posiciones DOT y los retrasos en la longitud del cable DOT.

[0353] Para escenarios de fabricación típicos con trayectorias múltiples severas, parece que el sistema *Radio Dot* (RDS) es la solución más adecuada para proporcionar comunicación y posicionamiento combinados, debido al despliegue denso y el bajo costo de los nodos.

[0354] Posicionamiento de wifi

[0355] El wifi ya se implementa comúnmente en las industrias y, por lo tanto, también se usa a menudo para el posicionamiento. Una solución de wifi comúnmente implementada es la solución ARUBA, que puede lograr, con solo el indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI) del punto de acceso, una precisión de entre 5 m y 10 m, según el reflejo y los patrones de antena. Para lograr una mejor precisión de posicionamiento, la solución ARUBA se puede combinar con balizas ARUMBA con batería Bluetooth de baja energía (BLE). Con esta solución de posicionamiento especializada, es probable que se logre una muy buena precisión de <3 m, e incluso puede ser posible una precisión de <1 m cuando el dispositivo que se va a colocar está ubicado cerca de una baliza.

[0356] La solución de posicionamiento wifi industrial líder logra una precisión promedio de 1 m a 3 m en entornos de oficina. Esta solución de posicionamiento incluye una radio wifi adicional, con un conjunto de antenas especializadas, que se incluye en la misma unidad que la radio wifi utilizada para

la comunicación. Las posiciones se estiman utilizando una combinación de RSSI y mediciones de ángulo de llegada (AoA).

[0357] Una diferencia entre el posicionamiento wifi y el posicionamiento OTDOA con base en 3GPP es que el posicionamiento wifi (IEEE 802.11mc) puede basarse en el tiempo de ida y vuelta (RTT). A diferencia del algoritmo OTDOA descrito anteriormente, la ventaja de utilizar RTT es que no hay necesidad de sincronización de la hora de la red.

[0358] UWB

[0359] Las técnicas de banda ultraancha (UWB) se han vuelto cada vez más populares en las soluciones de posicionamiento, ya que la alta resolución inherente en las señales UWB permite un posicionamiento preciso. Hay varios productos de posicionamiento con base en UWB disponibles. Muchos de ellos se basan en la tecnología DecaWave UWB, pero también existen soluciones patentadas (por ejemplo, Zebra).

[0360] La tecnología UWB se puede utilizar en varios algoritmos. Puede admitir TDOA de enlace descendente o ascendente, ángulo de llegada utilizando múltiples antenas, así como mediciones de intervalo directo, donde la sincronización de la hora de la red no es necesaria en absoluto.

[0361] Debido a la naturaleza de los pulsos de transmisión muy cortos que se utilizan en las técnicas UWB, UWB puede detectar y eliminar problemas que ocurren debido a la propagación por trayectos múltiples, ya que las reflexiones se detectan individualmente y se pueden filtrar. Esta es una clara ventaja en comparación con los sistemas de banda estrecha, donde tal discriminación no es posible. La precisión del tiempo de vuelo está en el intervalo de 2 cm a 5 cm. Cuando se aplica en un entorno real, la precisión de posicionamiento con UWB está en la escala de 10 cm.

[0362] Una ventaja de UWB es el potencial de dispositivos baratos, en comparación con los módulos 3GPP. Los transceptores UWB comerciales están

disponibles por aproximadamente 3 a 4 dólares estadounidenses. Esto permite una mayor densidad de instalación, una elección flexible de algoritmos para admitir varios casos de uso y una plataforma en la nube para admitir un ecosistema global que puede servir a varios segmentos a nivel mundial.

[0363] Lidar

[0364] Algunas técnicas de posicionamiento estiman la distancia midiendo el retraso de ida y vuelta de una onda ultrasónica o electromagnética al objeto. Las ondas ultrasónicas sufren grandes pérdidas en el aire y no pueden alcanzar distancias más allá de unos pocos metros. Los radares y los lidares utilizan ondas electromagnéticas en los espectros de radio y ópticos, respectivamente. Las longitudes de onda más cortas de las ondas ópticas en comparación con las ondas de radiofrecuencia se traducen en una mejor resolución y, por lo tanto, las soluciones lidar son una opción favorable para un posicionamiento de alta precisión. Al igual que en las soluciones de radar, los componentes principales de un lidar típico incluyen un transmisor y un receptor, y la distancia se mide según el retraso de ida y vuelta de la luz al objetivo. Esto se logra modulando la intensidad, fase y/o frecuencia de la forma de onda de la luz transmitida y midiendo el tiempo requerido para que ese patrón de modulación vuelva a aparecer en el receptor.

[0365] Las arquitecturas lidar populares incluyen esquemas de onda continua pulsada y modulada en frecuencia (FMCW). Los lidares pulsados se basan en las propiedades de las partículas de la luz y pueden proporcionar una precisión moderada en una amplia ventana de intervalos, mientras que los lidares FMCW se basan en las propiedades de onda de la luz. En estos lidares, la modulación se aplica a la frecuencia del campo de luz y el gran ancho de banda de frecuencia en el dominio óptico se vuelve accesible y puede explotarse para lograr una localización de muy alta precisión con precisión en el intervalo de nanómetros.

[0366] Resumen de técnicas de posicionamiento

[0367] Las propiedades importantes de las técnicas de posicionamiento discutidas en esta sección se resumen en la Tabla 3. Cabe destacar que los números de precisión indicados son solo para fines indicativos. La precisión de posicionamiento real depende de varios factores, que incluyen, entre otros, el despliegue de la red, la planificación de las celdas, el entorno de radio, etc.

	Método	**Precisión**	**Dispositivos y anclas**	**Integración con sistema de com.**	**Se requiere sincronización de red**	**Aspectos de implementación**
LTE	OTDOA	Rel-9: ~50-100 m Rel-14: Soporte estándar para ~5 m	Anclas y dispositivos costosos Puede usarse con NB-IoT si se requieren dispositivos baratos	Sí	Sí	Unos pocos eNB en el techo suelen ser suficientes para la cobertura de comunicaciones en una nave de fábrica.

NR	OTDOA AoA	Se espera una precisión inferior al metro.	Se esperan anclas y dispositivos costosos, al menos en un futuro próximo	Sí	OTDOA: Sí AoA: No	Unos pocos gNB en el techo suelen ser suficientes para la cobertura de comunicaciones en una nave de fábrica.
Radio Dot	CID UTDOA	Hoy: Solo celda de ID, ~30-200 m H2 2020: Soporte de localización por punto, ~3-5 m	Costo medio por ancla	Sí	CID: No UTODA: Sí	Implementado típicamente con ISD de 20 m
NB-IoT	OTDOA	LTE OTDOA: 100 m al	Dispositivos baratos	Sí, para un rendimiento limitado	Sí	Un eNB puede ser suficiente

		70% del percentil en interiores RDS: En el futuro, <5 m puede ser posible		y requisitos de latencia relajados		para la cobertura de comunicaciones, pero se necesita un despliegue más denso para realizar el posicionamiento.
Wifi	RSSI AoA RTT	Solución estándar: 5-10 m Solución especializada: 1-3 m	Anclas relativamente costosas cuando se especializan en el posicionamiento	Sí	No	El margen de cobertura típico es de alrededor de 50 m, pero los Aps a menudo se despliegan de manera más densa.
UWB	OTDOA UTDOA	Los producto	Anclas y dispositivo	No	OTDOA: Sí	A menudo se despliega

	AoA RSSI	s en el mercado afirman tener una precisión de 0,1 m	s económicos Complejidad y consumo de potencia en el ancla en lugar de en el dispositivo		U TDOA: Sí A oA: No R SSI: No	de forma muy densa, por ejemplo, con 10 m ISD. Hay disponibles soluciones para una configuración sencilla.

Tabla 3: Resumen de técnicas de posicionamiento

[0368] Posicionamiento híbrido

[0369] Muchos dispositivos en el mercado actual están equipados con sensores tal como una unidad de medición inercial (IMU). La IMU puede contener un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes, por ejemplo. Los datos proporcionados por la IMU pueden permitir al servidor de ubicación estimar la trayectoria del UE entre, después o durante una sesión de posicionamiento OTDOA/E-CID, y pueden reducir la necesidad de mediciones frecuentes de OTDOA/E-CID. Una solución de posicionamiento híbrida que utilice la IMU también puede ser beneficiosa en escenarios en los que el dispositivo puede salir de la cobertura de posicionamiento parte del tiempo, aumentando así la fiabilidad del posicionamiento. En la Figura 17, se ilustra un ejemplo de uso de datos de la IMU junto con estimaciones de posición. Se puede aplicar el mismo método incluso si las mediciones de la IMU no están disponibles, estimando la velocidad y dirección a partir de estimaciones de posición antiguas y prediciendo la trayectoria del UE.

[0370] Cabe destacar que un sistema de posicionamiento con base en únicamente en la IMU es un sistema de posicionamiento relativo, es decir, puede estimar la posición de un UE con respecto a una coordenada conocida. Por ejemplo, la diferencia de presión durante un periodo se traduce en un cambio de altitud y una aceleración durante un periodo indica un cambio de velocidad.

[0371] Para fusionar las mediciones de radio con los datos de la IMU, se requiere que los datos informados desde el UE equipado con la IMU estén alineados con un sistema de coordenadas delimitado por tierra normalizado. O que el UE informó que las mediciones de la IMU pueden permitir que el servidor de ubicación traduzca las mediciones a un sistema de coordenadas delimitado por tierra. Para obtener la posición del UE en coordenadas terrestres, se necesita la orientación del dispositivo. Un método común para determinar la orientación es utilizar giroscopio, magnetómetro y acelerómetro. Una vez estimada la orientación, se puede usar la orientación y el acelerómetro para estimar la aceleración relativa al sistema de coordenadas (acelerómetro menos gravedad). Al tener la aceleración relativa, es posible estimar el desplazamiento relativo del dispositivo mediante, por ejemplo, una doble integración.

[0372] LTE Rel-15 incluye soporte para el posicionamiento de la IMU y la especificación de la señalización y el procedimiento para soportar el posicionamiento de la IMU sobre el Protocolo de posicionamiento de ubicación (LPP), así como posicionamiento híbrido que incluye estimaciones relacionadas con la IMU.

[0373] Precisión de la sincronización de red

[0374] Para OTDOA, así como para la diferencia de tiempo de llegada de enlace ascendente (UTDOA), que es el método de posicionamiento admitido en LTE, los errores de sincronización de red que conducen a errores en las estimaciones de TDOA pueden dominar el error de posicionamiento general. Por lo tanto, es importante comprender qué precisión de sincronización de red se

puede lograr. En principio, los errores de sincronización pueden traducirse directamente en errores de posicionamiento considerando la distancia que recorre la luz durante el error de sincronización causado por el error de sincronización, es decir, un error de sincronización de 1 ns corresponde a un error de posicionamiento de 0,3 m.

[0375] El error de sincronización consiste principalmente en cuatro partes aditivas:

1) Error en la referencia de sincronización externa entregada al ancla (unidad de banda de base para macro estación base y DOT).

2) Error de sincronización entre el ancla (unidad de banda de base) y la referencia de sincronización externa.

3) Error de sincronización dentro de la estación base de radio (RBS).

4) Error de sincronización entre la antena RBS y el UE.

[0376] Al considerar los escenarios de fabricación, tenemos la siguiente situación para cada una de las cuatro partes:

1) La referencia de sincronización externa generalmente proviene de un receptor GNSS. Un receptor GNSS puede tener una precisión de <50 ns cuando tiene LoS en una gran parte del cielo, pero cuando hay rutas múltiples, la precisión disminuye rápidamente y la precisión supuesta de un receptor GNSS interior es <200 ns. La sincronización externa se puede mejorar mediante el uso de un receptor GNSS más caro con un mejor filtrado de trayectos múltiples y una mayor precisión interna.

2) La unidad de banda de base puede sincronizarse con un receptor GNSS con una precisión de alrededor de 150 ns. Este número solo se puede mejorar mediante el uso de un mejor *hardware*, es decir, una nueva unidad de banda de base.

3) El presupuesto para distribución interna es de 130 ns Lo que será en la práctica depende en gran medida de la configuración de *hardware* del RBS.

La más simple es una unidad de banda de base única conectada directamente con un salto a una unidad de radio con antena integrada (AIR).

4) No estará claro qué tan grande es el error de sincronización entre la antena RBS y el UE. Sin embargo, este error no afectará al error de posicionamiento de OTDOA ya que OTDOA se basa en la fase del PRS observada por el UE en la posición en la que se encuentra, y no se requiere sincronización entre la red y el UE.

[0377] La discusión anterior asume que el RBS está bloqueado en el tiempo con la referencia. Cuando el RBS llega al tiempo libre, la precisión puede disminuir.

[0378] Los números anteriores se pueden mejorar significativamente mediante el monitoreo con base en interfaz de radio (RIBM), donde se mide y se informa la diferencia de fase entre una antena RBS y una referencia. La diferencia de fase informada se puede tener en cuenta al calcular la posición de un objeto. El error de sincronización permanece, pero la parte del error que se tiene en cuenta no afectará la precisión de posicionamiento OTDOA. Este es un método prometedor, ya que RIBM puede lograr una precisión de sincronización virtual de aproximadamente 20 ns entre RBS. Por tanto, el error de referencia de sincronización externa 1) no afecta al posicionamiento OTDOA y puede ignorarse.

[0379] Para RDS, la sincronización entre los DOT conectados a la misma unidad de radio interior (IRU) es del orden de 6 ns, asumiendo que la IRU contiene *hardware* DOT común. Esto es válido tanto para el DOT heredado disponible hoy como para el DOT digital 5G que estará disponible en 2019. El RIBM puede ser una solución para lograr la sincronización entre los DOT conectados a diferentes IRU, pero puede requerir una característica especializada para operar, ya que el algoritmo RIBM estándar requiere que el nodo esté sincronizado para recibir cuando no está transmitiendo, lo que los DOT no hacen.

[0380] En resumen, los algoritmos prácticos de sincronización de red pueden implicar errores de sincronización de red de hasta 360 ns, cuando están bloqueados con la referencia GNSS, lo que corresponde a un error de posicionamiento de hasta ±110 m (3 sigma). Si el RBS está en remanente de tiempo, la precisión puede ser aún peor. En el futuro, RIBM puede proporcionar una precisión de sincronización virtual de aproximadamente 20 ns, lo que corresponde a un error de posicionamiento de 6 m. Para RDS, el posicionamiento utilizando DOT conectados a la misma IRU se ve afectado por errores de sincronización de aproximadamente 6 ns, lo que corresponde a un error de posicionamiento de aproximadamente 2 m. Si se utilizan DOT conectados a diferentes IRU para estimar la posición, es posible que RIBM se aplique en el futuro para proporcionar una precisión de sincronización virtual de aproximadamente 20 ns.

[0381] Mejora de la precisión en escenarios severos de trayectos múltiples

[0382] LTE OTDOA, así como otros algoritmos de posicionamiento, sufren severas penalizaciones en términos de precisión de posicionamiento si no hay forma de manejar el problema del multitrayecto. En esencia, OTDOA asume que el RSTD representa la ruta de LoS, pero en general es difícil determinar si la ruta de LoS está bloqueada o muy amortiguada. Como mínimo, se puede decir que una ruta nLoS representa un límite superior en la distancia entre el transmisor y el receptor. El problema de las trayectorias múltiples es significativo en entornos industriales típicos, especialmente para altas frecuencias. Algunos enfoques que abordan el problema de las trayectorias múltiples incluyen:

- Diseñar la red para que tenga buenas condiciones de LoS colocando nodos en ubicaciones favorables, por ejemplo, al utilizar una herramienta de planificación que pueda estimar la precisión de posicionamiento de varias ubicaciones de referencia. Esto puede implicar una mayor complejidad de

instalación y puede no ser factible para entornos industriales con muchos objetos en movimiento.

- Estimar nLoS usando pruebas de hipótesis, por ejemplo, pruebas de viabilidad usando posiciones de subconjuntos de estimaciones TOA/TDOA. Si la estimación es incoherente, categorizarla como nLoS. Este método puede tener una alta complejidad computacional para redes densas.
- Otra alternativa es considerar las actualizaciones de posición según las mediciones de la IMU y la navegación a estima como referencia y categorizar las rutas como nLoS si la TDOA medida no coincide con la posición de referencia lo suficientemente bien.
- Usar un modelo de entorno para el seguimiento de rayos y asocie las estimaciones de distancia con los rayos. De esta forma, las estimaciones de nLoS pueden contribuir de mejor manera a la estimación del posicionamiento. Estos modelados ambientales a menudo no están disponibles, pero pueden usarse si se desarrolla un gemelo digital.
- Estimación de nLoS mediante polarización. La polarización cambia en los eventos de rebote, por lo que se detecta nLoS si una polarización de referencia es errónea.
- Comparar las estimaciones de distancia individuales con una medición de velocidad/posición independiente de la comunicación (giroscopio/acelerómetro) para determinar qué estimaciones son factibles de LoS. Por supuesto, no todos los UE están equipados con tales sensores de ubicación.
- Rel-14 introdujo una mejora importante en LTE OTDOA llamada diferencia de tiempo de señal de referencia de múltiples rutas (RSTD). La idea principal era incluir varios posibles candidatos a picos del perfil de retraso de potencia (PDP) y estimar la posición utilizando la máxima probabilidad. De esta forma, la precisión de posicionamiento se mejoró significativamente, ya que el algoritmo no tomó decisiones difíciles en las rutas de LoS.

[0383] En resumen, podemos concluir que la selección del sistema de posicionamiento más adecuado para la fabricación debe tener en cuenta varios aspectos diferentes, incluidos:

- Precisión requerida
- Latencia requerida
- Aspectos de implementación
- Dispositivos

[0384] Cuando se trata de precisión, existen casos de uso de la industria con requisitos de posicionamiento que van desde una precisión de nivel mm hasta varias décimas de metros. En un entorno con una alta probabilidad de LoS y pocos obstáculos de bloqueo, puede ser posible estimar la posición con una precisión de diez metros a unas pocas décimas de metros en implementaciones con solo una o unas pocas microestaciones base montadas, por ejemplo, en el techo. de una nave industrial. Sin embargo, en muchos escenarios de fabricación, la realidad es un entorno con trayectorias múltiples, reflejos y muchos obstáculos de bloqueo. En tales escenarios, parece que el sistema *Radio Dot* (RDS) es la solución más adecuada para proporcionar comunicación y posicionamiento combinados, debido al despliegue denso y el bajo costo de los nodos.

[0385] Los números de precisión indicados para las diferentes técnicas de posicionamiento a menudo asumen que la sincronización de la red es suficientemente buena. Sin embargo, en muchos casos, los errores de sincronización de la red del orden de 10 ns a 20 ns, correspondientes a un error de posicionamiento de 3 m a 6 m, son muy difíciles de lograr. Para las necesidades de posicionamiento, la sincronización de red virtual lograda a través de RIBM es la solución más prometedora.

[0386] Las soluciones UWB se están volviendo cada vez más populares en la industria y en los casos de uso de fabricación debido a la alta precisión y los dispositivos relativamente baratos. Sin embargo, un inconveniente es que las

soluciones UWB no están integradas con un sistema de comunicación, como es el caso de las soluciones con base en 3GPP, por ejemplo. En el futuro, NR puede reemplazar a UWB, ya que NR también utilizará un ancho de banda muy amplio.

[0387] Los requisitos de latencia de posicionamiento en la fabricación se relajan para la mayoría de los casos de uso. Por ejemplo, realizar un seguimiento de las herramientas y los activos no requiere actualizaciones de posicionamiento muy frecuentes. Los casos de uso de fabricación más exigentes en términos de latencia de posicionamiento pueden estar relacionados con la seguridad. Un ejemplo es una alarma en tiempo real para advertir a los trabajadores cuando un montacargas está cerca. Las compensaciones entre alta precisión y latencia de posicionamiento para tal caso de uso aún no se han estudiado a fondo.

[0388] También es importante considerar la relación entre el dispositivo y el ancla. Para LTE y NR, tanto los dispositivos como las anclas son complejos y costosos, por lo que las soluciones con base en estas técnicas no son adecuadas para casos de uso en los que se deben rastrear muchos objetos pequeños, ya que cada objeto debe tener su propio dispositivo LTE o NR. En este caso, UWB o RFID pueden ser más adecuados ya que la mayor parte de la complejidad reside en el nodo de ancla y, por lo tanto, el dispositivo/etiqueta es barato. La tecnología con base en 3GPP con dispositivos baratos, tal como NB-IoT o CAT-M, también se puede considerar para este tipo de casos de uso, pero dado que estas técnicas son de banda estrecha, la precisión de posicionamiento que se puede lograr es baja.

[0389] Espectro

[0390] Para aplicaciones industriales, algunos problemas particulares relacionados con el espectro incluyen:

- Espectro adecuado para uso local,
- Medios regulatorios para permitir el uso local del espectro, por ejemplo, arrendamiento y concesión de licencias locales.

- Medios técnicos para permitir el uso local del espectro, por ejemplo, el acceso compartido con licencia evolucionado (eLSA) y el servicio de radio de banda ancha para ciudadanos (CBRS).
- 5G NR se utilizará como tecnología de acceso en una o más de una serie de bandas de frecuencia, incluidas muchas que se utilizan en la actualidad para LTE. Es probable que algunos intervalos de frecuencia estén más armonizados a nivel mundial, tal como de 3400 MHz a 3800 MHz y la parte superior del intervalo 24 GHz a 29 GHz, aunque es probable que existan variaciones en los planes de banda. El proceso de estudio de la WRC-19 (Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2019) que conduce a la identificación de bandas para las IMT2020 puede producir bandas de espectro de ondas milimétricas (mmW) adicionales en las que existe un buen potencial de armonización, por ejemplo, de 37 GHz a 43 GHz.

[0391] La regulación reciente ha designado bandas para “uso local o regional” (por ejemplo, de 3700 MHz a 3800 MHz en Alemania y Suecia, y de 3300 MHz en China). Tales acciones no son una solución de radio global para IoT industrial. Aun así, la introducción de estas bandas es un buen primer paso para las licencias de uso privado del espectro. No se prevé que estas acciones regulatorias se extiendan a todos los mercados de inmediato. Por lo tanto, está claro que el acceso adicional al espectro armonizado a nivel mundial requerirá oportunidades derivadas del espectro con licencia para operadores de redes móviles (MNO), esencialmente a través de acuerdos comerciales que permitan el arrendamiento de espectros o de capacidad en virtud de acuerdos de nivel de servicio (SLA) bien definidos.

[0392] La disponibilidad del espectro mmW plantea desafíos para el IoT industrial, principalmente debido al tiempo necesario para establecer productos en el mercado y la complejidad de la fabricación de semiconductores a frecuencias tan altas. Las prácticas de construcción de equipos no están establecidas, y quedan importantes desafíos en cuanto a soluciones rentables

para dispositivos. Los equipos de ondas milimétricas también pueden ofrecer algunas ventajas: las características de propagación de los transmisores de haz estrecho pueden permitir una mejor reutilización con control de potencia de transmisión y conformación de haces, y la coexistencia también puede ser más fácil. Las bandas de frecuencia también son adecuadas para señales de ancho de banda más amplio, aunque persisten incertidumbres en la cantidad de espectro que puede estar disponible para la tecnología inalámbrica industrial.

[0393] La cuarta revolución industrial, conocida en la literatura como Industria 4.0, es una oportunidad para las tecnologías inalámbricas 5G en situaciones de fabricación, exploración y control de procesos dentro de fábricas, minas, industrias de procesos, etc. La explotación de estas oportunidades requerirá acceso al espectro, ya sea sin licencia, compartida o con licencia exclusiva. De hecho, hay indicios claros de la industria de que la falta de acceso a espectro con licencia de alta calidad es un obstáculo clave que debe superarse. El acceso al espectro con licencia para la IoT industrial se puede proporcionar de tres formas.

1. Acuerdos de nivel de servicio (SLA): Los acuerdos con un MNO pueden cumplir con estos requisitos, con un servicio provisto o abastecido por un MNO; p. ej.,

- implementaciones de MNO en las instalaciones llave en mano o MNO que permiten la implementación por parte del usuario final de equipo aprobado que está opcionalmente conectado a redes públicas. Este caso no se trata con más detalle en este análisis.
- Una alternativa es establecer una red virtual privada que garantice la capacidad en una red MNO mediante el uso de la segmentación de redes.

2. Arrendamiento de espectros: MNO actuando como locador hacia verticales.

3. Licencia local: El regulador otorga licencias de espectro directamente a las verticales sobre un despliegue geográfico limitado, generalmente asociado con derechos de propiedad para el área cubierta.

[0394] La situación regulatoria para el arrendamiento de espectros se resume a continuación. La regulación para el arrendamiento de espectros es de interés para posibles modelos de negocio para casos de uso de 5G

- Estados Unidos es más maduro en lo que respecta al arrendamiento de espectros; las regulaciones para el arrendamiento se remontan a 2003-2004. El arrendamiento de espectros se utiliza comercialmente. La base de datos pública sistema universal de licencias (ULS) registra todos los acuerdos de arrendamiento.
- En América del Sur, algunos países permiten el arrendamiento entre los MNO.
- En la EU, el arrendamiento de las principales bandas móviles/celulares está permitido por reglamentación desde 2012. No está necesariamente implementado en la regulación en los estados miembros. Hasta ahora no se han encontrado ejemplos de arrendamiento comercial de frecuencias propiedad de MNO a no MNO.
- En Asia, los concursos generalmente impiden el arrendamiento de espectros en varios países importantes y, por lo tanto, no forman parte de la regulación.
- En África, el arrendamiento de espectros generalmente no está permitido.

[0395] En cuanto a las licencias locales, estas licencias no existen actualmente para uso público/privado. Algunos casos de uso de 5G, especialmente cuando se asocian con abordar la automatización industrial, se beneficiarían de las licencias locales; la introducción de 5G ofrece una oportunidad en este sentido. Las subastas planificadas de la primera banda 5G en Europa (3,4 GHz-3,8 GHz) han desencadenado la actividad reguladora en

dos países (Alemania y Suecia) al definir una realización particular de las licencias locales. En China, la industria ha mostrado interés en el espectro dedicado.

[0396] Con el fin de dar una visión completa de las posibles soluciones, también se mencionan las bandas sin licencia adecuadas para aplicaciones industriales. Las bandas sin licencia generalmente no son adecuadas para URLLC debido a la posibilidad de interferencia debido a la operación con base en contención; la variación en el rendimiento del acceso crea incertidumbre en el rendimiento y el rendimiento de retraso.

[0397] LSA evolucionada (eLSA) es una solución, en la actualidad en especificación, para soportar el arrendamiento y la concesión de licencias locales dentro de las regulaciones mediante una arquitectura de base de datos/controlador. Se supone que eLSA es compatible con cualquier banda y es tecnológicamente neutral. De manera similar, el Servicio de Radio de Banda Ancha Ciudadana (CBRS) en EE. UU., que se utilizará por primera vez en la banda de 3550 MHz a 3700 MHz, utilizará un sistema de acceso al espectro (SAS) para manejar los requisitos reglamentarios para esa banda. Esta es también una arquitectura de base de datos/controlador que proporciona oportunidades de arrendamiento para el uso del área local, mientras que la licencia real cubre áreas más grandes según las regulaciones de la FCC. El SAS también se puede utilizar para otras bandas si se cumplen los requisitos reglamentarios adecuados. La eLSA y la CBRS se encargarían de la coexistencia entre diferentes implementaciones según los requisitos reglamentarios requeridos en un país o región. Sin embargo, la forma en que se asegura la convivencia difiere entre eLSA y CBRS.

[0398] Se identifican muchas bandas de espectro diferentes para 5G. Aquí, solo se analizan las bandas que probablemente utilicen tecnología NR. Por ejemplo, la banda de 700 MHz se identifica como una banda 5G dentro de la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones

(CEPT), pero probablemente implementará 4G. Lo mismo se aplica a APAC con respecto a la banda de 700 MHz. Además, se ha analizado la banda de 2,3 GHz, por ejemplo, en Suecia, pero actualmente principalmente en el contexto de 4G.

[0399] En la actualidad no existen bandas armonizadas 5G 3GPP válidas y asignadas en todos los países del mundo, pero existen intervalos de espectro armonizados, como 3400 MHz a 3800 MHz, 24,25 GHz a 29,5 GHz. Se definirán varias bandas 3GPP dentro de cada intervalo. Muchas bandas de mmW pendientes de asignación dependen del resultado de la WRC-19.

[0400] Europa

[0401] La banda de 3400 MHz a 3800 MHz se identifica como una “banda pionera” para 5G en CEPT. Los planes para diferentes países varían mucho, dependiendo de los titulares con fechas de vencimiento de licencias muy diferentes. Hay países que planean subastar la banda completa y luego generalmente se proponen bloques de 100 MHz, como en Suecia. Otros solo tienen la parte superior o inferior, por ejemplo, 200 MHz disponibles actualmente, debido al uso de los titulares. Esto da como resultado licencias de banda más estrecha como en el Reino Unido. Cuando el espectro restante esté disponible, se realizarán nuevas subastas. Esto dará lugar a reservas de espectro no consecutivas para los operadores, si no se hace nada, tal como una reasignación de la banda. Es posible que la reasignación no ocurra, ya que “existe agregación de portadoras”.

[0402] La mayoría de los países promueven licencias nacionales, excepto Alemania y Suecia que proponen reservar 100 MHz (de 3700 MHz a 3800 MHz) para servicios locales según los planes existentes. El bloque está generalmente disponible en Suecia 2023.

[0403] En el “plan de acción 5G” de la EC (Comisión Europea) se define que todos los países deberán tener:

- Una red 5G en servicio en al menos 1 ciudad de cada país durante 2020.
- Construcción completa lista para 2025.

Esto probablemente signifique que la mayoría de los países se centrarán en la banda media (de 3 GHz a 8 GHz), ya que existirán varios requisitos de cobertura nacional para cumplir las ambiciones de la EC.

[0404] La banda de 26 GHz (de 24,25 GHz a 27,5 GHz) también se identifica para 5G. La definición exacta depende en gran medida del resultado de la WRC-19. En la mayoría de los países, el intervalo de 26,5 GHz a 27,5 GHz está vacío y se puede subastar ahora. En algunos países ya han comenzado las subastas.

[0405] Estados Unidos

[0406] En los Estados Unidos, hay varias bandas que apuntan a 5G en mmW (24/28/37/39 GHz), y solo recientemente la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) ha comenzado a considerar el espectro de banda media (por ejemplo, la banda de 3,7 a 4,2). Los operadores han identificado partes de las bandas existentes para implementar NR, por ejemplo, T-Mobile en 600 MHz y Sprint en 2600 MHz.

[0407] Hay próximas subastas de la FCC de espectro mmW a 28/39 GHz que no son propiedad de los licenciatarios existentes.

[0408] En la banda media, se permitirá 5G en la banda CBRS (de 3550 MHz a 3700 MHz). La banda tiene bloques con licencia (PAL) y con autorización general (GAA), con base en bloques de 10 MHz.

En 37-37,6 GHz se propone definir licencias para uso local.

[0409] Asia-Pacífico

[0410] Varios de los principales países de la región de Asia y el Pacífico están planificando subastas durante 2018/2019.

[0411] Corea subastó 3,5 GHz (de 3420 MHz a 3700 MHz) y 28 GHz (de 26,5 GHz a 28,9 GHz) en junio de 2018 a los operadores.

[0412] China planea asignar frecuencias adicionales en 2,6 GHz (160 MHz en total) y 4,9 GHz (100 MHz) a CMCC durante 2018. Las subastas de 3,5 GHz (de 3300 MHz a 3600 MHz) están previstas para 2019, mientras que se prevé el uso de 3300 MHz a 3400 MHz en interiores. En la actualidad, 2300 MHz es principalmente 4G en interiores, pero hasta ahora, no hay indicios de permitir 5G.

[0413] Japón está planeando un concurso para la banda de 3,6 GHz a 4,1 GHz, de 4,5 GHz a 4,8 GHz (200 MHz para operación privada) y de 27 GHz a 29,5 GHz (900 MHz para operación privada) durante 2019. Cabe destacar que partes de 3400 MHz-3600 MHz ya están asignadas a LTE y finalmente se convertirán a 5G, pero en Japón la asignación de banda está definida por ley y puede llevar mucho tiempo cambiar.

[0414] Australia está planeando la subasta 5G en 3400 MHz-3700 MHz a fines de 2018.

[0415] Otros países que están en proceso de planificar subastas 5G son India, Indonesia, Pakistán, Tailandia y Vietnam.

[0416] Oriente Medio

[0417] Países como Emiratos Árabes Unidos, Arabia Saudita y Qatar tienen planes concretos de subasta 2019-2021 para 3,5 GHz y 26 GHz. Otros países también han indicado próximas subastas, pero aún no se conocen detalles.

[0418] Resumen del espectro

[0419] En la Tabla 4 se muestra un resumen de las bandas de espectro 4G/5G en diferentes países. Los elementos que están sombreados se pueden utilizar para el servicio local y para la automatización industrial.

Banda de espectro	**Región/País**	**Uso local**
600 MHz (FDD)	EE. UU.	
2300 MHz (TDD)	China	En la actualidad, principalmente en interiores con 4G. Potencialmente también permitirá 5G.
2600 MHz (TDD)	EE. UU., China	
3300 MHz-3400 MHz (TDD)	China, África	Interior en China. Probablemente asignado para 5G.
3400 MHz-3600 MHz (TDD)	CEPT, China, Corea,	
3550 MHz-3700 MHz (TDD)	EE. UU. (CBRS)	Las PAL se basan en licencias regionales. GAA no califica para la protección contra interferencias según la regulación. Solo los sistemas implementados pueden protegerse alrededor del área de cobertura.
3600 MHz-3800 MHz (TDD)	CEPT, Corea	3,7 GHz-3,8 GHz en Alemania y Suecia
3600 MHz-4100 MHz (TDD)	Japón	

3700-4200	EE. UU.	Aviso de banda media de propuesta de reglamentación (NPRM)
4500 MHz-4800 MHz (TDD)	Japón	200 MHz para operaciones privadas
4900 MHz-5000 MHz (TDD)	China	Sugerido para servicios locales
5925 MHz-6425 MHz	EE. UU.	Sin licencia, posiblemente compartida con FS
6425-7125	EE. UU.	Puede ser sin licencia o con licencia, compartido con FS
24,25-27,5 GHz (TDD)	Depende de la WRC-19[1] (EE. UU. planifica la subasta de FDD en la banda de 24 GHz)	
27-29,5 GHz (TDD)	Japón	900 MHz para operaciones privadas
27,5-29,5 GHz (TDD)	EE. UU., Corea	
37-38,6 GHz (TDD)	EE. UU.	Posibilidad de uso local en 37 GHz-37,6 GHz; la FCC ha propuesto una licencia por regla

[1] WRC-19 (Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019), punto 1.13 del orden del día: Atribuciones adicionales a los servicios móviles entre 24,25 GHz y 86 GHz para IMT-2020 y posteriores

37-43,5 GHz (TDD)	Depende de la WRC-19	37 GHz-40,5 GHz 40,5 GHz-42,5 GHz 42,5 GHz-43,5 GHz
38,6-40 GHz (TDD)	EE. UU.	
42-42,5 GHz	EE. UU.	Parte del Aviso federal de propuesta de reglamentación (FNPRM)
47,2-48,2 GHz	EE. UU.	Parte de FNPRM

Tabla 4: Bandas de espectro 4G/5G en varios países diferentes

[0420] Métodos regulatorios para controlar el acceso al espectro local

[0421] Hay otros dos métodos regulatorios para acceder al espectro local:

- Arrendamiento de espectro,
- licencia local.

Estos métodos son aplicables si el operador accede al control del cliente sobre el espectro, o si los reguladores establecen la concesión de licencias locales como una política viable.

[0422] Bajo el enfoque de arrendamiento de espectro, un licenciatario/locador arrienda partes de su licencia a un locatario, con o sin una tarifa. El locatario puede arrendar partes de la banda de frecuencia, una parte del espectro a un área geográfica particular, o ambas. Un subalquiler es cuando el locatario arrienda un espectro a un locatario secundario. En la Figura 18, se muestra una vista regulatoria del arrendamiento de espectros

[0423] Las regulaciones para el arrendamiento de espectros difieren de un país a otro. Se pueden regular numerosos aspectos:

- La terminología
- Diferenciar o no diferenciar entre el control de jure (legal) y de facto (en principio, el propietario de la red radioeléctrica) sobre el espectro

- El proceso de solicitud, por ejemplo, el tiempo estipulado para la aprobación
- Qué bandas están disponibles para arrendamiento, considerando, por ejemplo, implicaciones competitivas
- El plazo del contrato de arrendamiento, sin exceder el plazo de la autorización de la licencia
- La posibilidad de subalquilar
- El área definida para el arrendamiento
- Entre otras cosas.

Además, los reguladores pueden optar por hacer más o menos público el contrato de arrendamiento.

[0424] La siguiente es una descripción general de la situación regulatoria con respecto al arrendamiento de espectros:

- Estados Unidos es más maduro en lo que respecta al arrendamiento de espectros; existen regulaciones desde 2003-2004. El arrendamiento de espectros se implementa comercialmente. Hay ejemplos de arrendamiento de espectros, agregadores de espectros, intermediarios de espectros. Existe una base de datos pública de búsqueda (ULS), que contiene todos los acuerdos de arrendamiento.
- En América del Sur, algunos países permiten el arrendamiento entre los MNO.
- En la EU, el arrendamiento de las principales bandas móviles/celulares está permitido por reglamentación desde 2012. No está necesariamente implementado en la regulación en los estados miembros. No parece que existan ejemplos de arrendamiento comercial de frecuencias propiedad de MNO en Suecia, Finlandia, Reino Unido, Irlanda, Alemania, Francia o Italia.

- En el Reino Unido, Ofcom no permite el arrendamiento en las principales bandas de telefonía móvil, debido a las implicaciones de la competencia.
- En Irlanda, se permite el arrendamiento en las principales bandas de telefonía móvil, tras la revisión de ComReg de las implicaciones de la competencia.
- En Suecia, se permite el arrendamiento de espectros. Hasta ahora, el regulador solo ha permitido el arrendamiento a corto plazo debido a su planificación de subastas (falta de planes estables a largo plazo). Hasta ahora, los operadores no han permitido el arrendamiento a largo plazo con protección garantizada, debido a las incertidumbres en la planificación/construcción de su red.
- En Finlandia, se permite el arrendamiento de espectros, pero el arrendamiento nunca se ha abordado en relación con las licencias de MNO y, por lo tanto, el regulador nunca ha implementado este caso.
- En el caso de Alemania, el arrendamiento de espectros se abordó por primera vez en una consulta de 3,7 GHz a 3,8 GHz en otoño de 2018. El regulador definió a los propietarios y usuarios (inquilinos) como licenciatarios.
- En Italia, el arrendamiento de espectros está permitido y se utiliza comercialmente.
- En Asia, los concursos generalmente evitan el arrendamiento de espectros en varios países importantes y, por lo tanto, el arrendamiento de espectros no es parte de la regulación, por ejemplo, no está permitido en China, India, Japón, pero existe un interés creciente en el comercio de espectro. Se permite el arrendamiento de espectros, pero no se utiliza en Corea.
- En África, el arrendamiento de espectros en general no parece estar permitido. Sin embargo, Nigeria publicó recientemente las Directrices de comercio de espectros, incluido el arrendamiento de espectros.

- El arrendamiento comercial de espectros de MNO en Estados Unidos se refiere a varios casos.
- Los operadores nacionales arriendan espectros entre ellos para abordar mercados donde se necesita capacidad/cobertura/crecimiento.
- Los operadores nacionales arriendan espectros a operadores no nacionales, por ejemplo, el programa LTE in Rural America (LRA) de Verizon. Verizon ha inscrito en el programa a 21 portadoras rurales y más pequeñas, y 19 han lanzado redes LTE a través del programa. El programa permite a Verizon construir rápidamente áreas rurales.
- En
- El interés de MNO en arrendar espectros para verticales 5G, por ejemplo, en un caso de uso de automatización de fábrica, aún está por verse.

[0425] El arrendamiento de espectros de bandas móviles de los operadores se ha realizado principalmente a otros operadores con el fin de cumplir con la cobertura y otros requisitos del regulador. En cuanto al volumen, esto es casi exclusivamente en los EE. UU.

[0426] En bandas más altas (>10 GHz), los servicios fijos son un caso de uso que implica el arrendamiento de operadores por parte de proveedores de servicios. Esto está establecido tanto en EE. UU. como en Europa.

[0427] Con la llegada de 5G, las verticales proporcionan casos de uso que necesitan un espectro dedicado (móvil). Una pregunta es qué actor será el locatario.

[0428] Se desconocen las reacciones de los operadores a largo plazo sobre la posibilidad de arrendar espectros móviles a verticales. Existen oportunidades y problemas tanto para el locador como para el locatario para que se lleve a cabo dicho contrato de arrendamiento, por ejemplo:

- Es interesante para los MNO para el espectro que no está completamente explotado.

- El MNO puede dudar en arrendar espectros en áreas con gran demanda, o donde se anticipa demanda dentro de 5 a 10 años
- El tiempo de arrendamiento necesario de más de 30 años, debido a las inversiones en procesos y edificios, es mucho más largo que la duración de la licencia del MNO.

[0429] La introducción de 5G provocará un cambio generalizado en la capacidad de los operadores para proporcionar SLA a través de la segmentación de la red. Si bien la segmentación de red se admite en varios grados con todas las redes con base en 3GPP, el 5G CN proporcionará a los operadores un marco que permite programar segmentos de red para efectuar la separación entre casos de uso, clases de QoS y proveedores de servicios. Entonces sería posible tener un caso de implementación en el que la segmentación pueda permitir el arrendamiento de la capacidad de la red. Esto permitiría al usuario local tener el control de los SLA de un extremo a otro e incluso controlar el comportamiento de la RAN, incluida, por ejemplo, la QoS, dentro de los límites. El MNO implementaría e integraría el RAN con el CN según el SLA del arrendamiento sin perder el control general sobre la planificación y la administración.

[0430] Las bandas posibles para el arrendamiento de espectros deben cumplir con ciertos requisitos. El arrendamiento de la banda debe estar permitido en la regulación en el país/región específico. La eliminación de China, África y Japón de la Tabla 4 anterior da como resultado la siguiente tabla:

Banda de espectro	**Región/País**	**Comentario**
600 MHz (FDD)	EE. UU.	
2600 MHz (TDD)	EE. UU.	
3400 MHz-3600 MHz (TDD)	CEPT excepto Reino Unido	Corea, desconocido.

3550 MHz-3700 MHz (TDD)	EE. UU. (CBRS)	
3600 MHz-3800 MHz (TDD)	CEPT excepto Reino Unido	Corea, desconocido.
24,25-27,5 GHz (TDD)	Depende de la WRC-19 (EE. UU. planifica la subasta de FDD en la banda de 24 GHz)	
27,5-29,5 GHz (TDD)	EE. UU.	Corea, desconocido.
37-38,6 GHz (TDD)	EE. UU.	
38,6-40GHz (TDD)	EE. UU.	
42-42,5 GHz	EE. UU.	

Tabla 5: Bandas de espectro 4G/5G para arrendamiento

[0431] Licencia local

[0432] La mayoría de las licencias utilizan límites administrativos predefinidos para definir el área de una licencia, tales como:

- Fronteras nacionales
- Fronteras regionales u otras estructuras administrativas más grandes
- Comunidades/Municipios

[0433] El siguiente nivel de granularidad podría ser la propiedad. Con este enfoque, los derechos de propiedad y uso de la tierra se pueden utilizar como la definición administrativa que se utilizará para las licencias locales. Si se necesita espectro local de una licencia de espectro de área más grande, una solución para aumentar la granularidad sería utilizar el arrendamiento de subáreas. Esta solución puede definir áreas más grandes que la propiedad, si es necesario.

[0434] En la actualidad, cuando un regulador define una licencia local para un área que es más pequeña que una región/municipio, la definición ha sido una coordenada y un radio, un nombre de evento, una dirección, coordenadas que definen un área, etc. Esto no ha sido un problema dado que el número de tales licencias ha sido bajo. Sin embargo, con la llegada de los casos de uso de 5G, esto cambiará. Es un trabajo en progreso para los reguladores.

[0435] Si la cantidad de licencias locales crece con los casos de uso de 5G, las necesidades de coordinación también aumentan:

- Se necesitan bases de datos geográficas para mostrar las áreas autorizadas, por ejemplo, para los nuevos solicitantes.
- La interferencia entre las implementaciones necesita coordinación a través de requisitos regulatorios.

[0436] Si bien existen licencias nacionales y regionales para servicios comerciales, existen licencias locales para fines no comerciales, tal como laboratorios de prueba y plantas de prueba. Posiblemente, las licencias para algunos servicios de creación de programas y eventos especiales (PMSE) podrían considerarse locales. La llegada de 5G, con nuevos tipos de casos de uso, requerirá licencias locales para fábricas, por ejemplo, y establece nuevos requisitos en la regulación.

[0437] La banda principal para los servicios 5G en Europa es de 3,4 GHz a 3,8 GHz, y las subastas de esta banda desencadenan una actividad reguladora con respecto a las licencias locales. Las bandas más altas, por ejemplo de 24,25 GHz a 27,5 GHz (banda pionera para la implementación temprana en Europa), son adecuadas para uso local en el sentido de que es menos probable que sus características de propagación causen problemas de coexistencia, especialmente cuando se usan en interiores. En la actualidad, las discusiones regulatorias con respecto a las licencias locales para estas bandas están en gran medida fuera de alcance o pueden simplemente estar entrando en el ámbito de las posibilidades, pero se espera que esto cambie con el interés de la industria.

[0438] Ciertos entornos interiores son susceptibles de reutilización del espectro en múltiples usos, especialmente si las redes están separadas por pisos en edificios modernos. Es bien conocido que la pérdida en varios pisos de un edificio puede ser de varias decenas de dB, incluso en frecuencias de banda media como 3,5 GHz.

[0439] La industria en China ha mostrado interés en las licencias locales en foros de estándares, apuntando a la propuesta de 3,7 GHz-3,8 GHz en Alemania.

[0440] Un ejemplo de una licencia asignada a la industria es la asignación de 1800 MHz-1830 MHz que se proporcionó a la industria de energía hidroeléctrica canadiense en la década de 1990.

[0441] Europa: 3,7 GHz-3,8 GHz (parte de 3,4 GHz-3,8 GHz, banda primaria para servicios 5G)

[0442] Varios países han subastado el espectro y más por seguir. Dos países han tenido consultas, incluidas las licencias locales, y están en tratativas.

- Alemania promulgó reglas de subasta en el tercer trimestre de 2018 con una subasta programada para el 1.° y 2.° trimestre de 2019. Las reglas distinguen entre uso interior y exterior para “usos locales relacionados con la propiedad”, lo que implica que la propiedad es una definición de local. Tenga en cuenta que hay propiedades que no son propiedad privada, por ejemplo, calles, parques, etc.

- Suecia, la última subasta fue el primer trimestre de 2020. Las consultas recientes definen las “asignaciones de bloques locales”. Aquí, local se define como una referencia a “áreas geográficas pequeñas”, por ejemplo, minas, instalaciones interiores y puntos calientes. Cabe señalar que también se mencionan en las consultas las licencias regionales, generalmente correspondientes a un municipio.

[0443] EE. UU.: 3,4 GHz-3,55 GHz (posible extensión a CBRS)

[0444] En los EE. UU., la Administración Nacional de Telecomunicaciones e Información (NTIA) está evaluando el uso compartido del espectro entre los radares militares y la banda ancha móvil en esta banda. Los sistemas establecidos difieren aquí en comparación con la gama CBRS existente. Si se aplican las reglas de CBRS, las operaciones con licencia se realizarían en todos los condados y el tercer nivel estaría compuesto por el acceso autorizado general. Los grandes tamaños de área en la banda CBRS la hacen inadecuada para uso industrial ya que es poco probable que las verticales participen en el mercado de subastas.

[0445] Bandas para licencias locales

[0446] Las bandas posibles para licencias locales deben cumplir con ciertos requisitos. El regulador debe permitir la concesión de licencias locales

[0447] Mantener las iniciativas locales en la Tabla 4 anterior da como resultado la siguiente tabla:

Banda de espectro	**Región/País**	**Comentario**
3300 MHz-3400 MHz (TDD)	China	Interior en China. Probablemente asignado para 5G.
3550 MHz-3700 MHz (TDD)	EE. UU. (CBRS)	Las PAL se basan en licencias regionales. GAA no califica para la protección contra interferencias según la regulación. Solo los sistemas implementados pueden protegerse alrededor del área de cobertura.

3600 MHz-3800 MHz (TDD)	3,7 GHz-3,8 GHz en Alemania y Suecia	Interior y exterior
4500 MHz-4800 MHz (TDD)	Japón	200 MHz para operaciones privadas
27-29,5 GHz (TDD)	Japón	900 MHz para operaciones privadas
37-38,6 GHz (TDD)	37 GHz-37,6 GHz es una posibilidad en EE. UU.	En cambio, la FCC ha sugerido una licencia por regla y compartida con el uso federal.

Tabla 6: Bandas de espectro 4G/5G para licencias locales

[0448] Soporte tecnológico para alquileres y licencias locales

[0449] En Europa, eLSA es una continuación del sistema especificado por ETSI de acceso compartido licenciado que gestiona el acceso al espectro en bandas IMT donde los titulares no pueden ser evacuados dentro de un tiempo previsible razonable. El acceso se puede gestionar en tiempo y área geográfica. El sistema crea zonas geográficas de protección y exclusión que los titulares no permiten que otros utilicen. En eLSA, las zonas de concesión se introducen para permitir también el manejo local del licenciatario donde se puede automatizar el proceso de concesión y gestión de las numerosas licencias de acceso local. También incluiría el manejo del arrendamiento de frecuencias a usuarios de área local de licencias establecidas tal como MNO. La Figura 19 muestra las posibilidades asumidas de asignación de espectro para una banda de frecuencia asignada a servicios móviles, tal como IMT.

[0450] El trabajo de especificación del sistema eLSA ha comenzado en ETSI (Europa) y se basa en el Informe técnico de ETSI: “Estudio de viabilidad

sobre acceso temporal al espectro para redes inalámbricas locales de alta calidad". Se supone que la especificación técnica sobre los requisitos del sistema estará lista a fines de 2018 y será seguida por especificaciones sobre flujos de arquitectura y procedimientos, y luego seguida por una especificación de protocolo. En Asia-Pacífico, se ha compartido información relacionada con los servicios de "área local" y se ha aprobado el inicio de la elaboración de un informe técnico.

[0451] El sistema eLSA se basa en un concepto de base de datos/controlador. Admite licencias y alquileres, pero no operaciones sin licencia/exentas de licencia con, por ejemplo, acceso concedido, tal como espacios en blanco o acceso con licencia por regla, ya que esto no proporcionará los requisitos de protección contra interferencias necesarios.

[0452] La base de datos se denomina Repositorio de eLSA y se supone que está en el dominio Regulatorio. El controlador se denomina controlador eLSA y garantiza que el sistema del licenciatario eLSA tenga las configuraciones necesarias para operar según las condiciones de la licencia, lo que respalda fácilmente las necesidades de alta calidad para respaldar los casos de uso de URLLC. El controlador obtendrá los requisitos de coexistencia e intercambio reglamentarios requeridos del repositorio de eLSA.

[0453] La Figura 20 muestra un bosquejo de la arquitectura posible para las licencias locales, mientras que la Figura 21 muestra la arquitectura posible para el arrendamiento. En el último caso, la caja del controlador eLSA también contiene algunas de las funciones del repositorio de eLSA porque el MNO es el que arrienda las frecuencias.

[0454] En los Estados Unidos, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) ha definido el servicio de radio de banda ancha de ciudadanos (CBRS) en la banda de 3550 MHz a 3700 MHz, en las regulaciones codificadas en las reglas de la FCC. La Figura 22 ilustra aspectos del CBRS.

[0455] El radar naval y el servicio del Sistema de satélite fijo (FSS) usan la banda CBRS. Estos dos servicios constituyen el uso principal del Nivel 1. Los usuarios de servicios de banda ancha inalámbrica con derechos adquiridos, tal como los proveedores de servicios de Internet inalámbricos (WISP), que operan bajo las reglas de 47 CFR Parte 90, subparte Z, también están protegidos contra la interferencia del CBRS hasta abril de 2020. Los dos niveles restantes permiten respectivamente la emisión de licencias de acceso prioritario (PAL) y acceso autorizado general (GAA) en la banda para uso de banda ancha inalámbrica. Los usuarios de PAL se benefician de las licencias de espectro según el área licenciada y el ancho de banda adquiridos. A los usuarios de GAA se les permite acceder a cualquier espectro no utilizado por niveles superiores según el acceso autorizado.

[0456] Los dispositivos de radio se registran como dispositivos de servicio de radio de banda ancha de ciudadanos (CBSD) según su ubicación y sus parámetros operativos. Cualquier dispositivo de radio elegible puede solicitar acceso a la licencia de acceso prioritario (PAL) y al espectro GAA. Dado que la FCC no otorga ninguna protección regulatoria para los usuarios del espectro GAA, se deja a los acuerdos de la industria crear soluciones para la coexistencia GAA. Mientras que el Foro de Innovación Inalámbrica (WInnForum) especifica protocolos independientes de la tecnología que están principalmente orientados al cumplimiento normativo, la Alianza CBRS busca mejorar el rendimiento de las redes LTE que operan en CBRS.

[0457] La Alianza CBRS se creó como una organización comercial de la industria que busca promover y mejorar el funcionamiento de LTE en la banda, para una o más de una serie de casos de uso, incluidas las redes de celdas pequeñas implementadas por el operador asociadas con el servicio público, el servicio inalámbrico fijo para el reemplazo de la última milla e inalámbrico industrial. La Alianza está especificando cambios en la arquitectura de la red para permitir tanto la operación que implementa el operador tradicional como la

operación de la red privada, incluidas las centrales neutrales, y ha proporcionado una plataforma para establecer el ímpetu de las contribuciones en 3GPP para definir la operación de las bandas 48 y 49 para LTE-TDD y LTE-eLAA en la banda. La Alianza CBRS también introducirá 5G NR en la banda en 2019. El enfoque de 5G en aplicaciones inalámbricas industriales encaja con la misión de la Alianza CBRS.

[0458] El sistema de acceso al espectro (SAS), una base de datos de geolocalización y un administrador de políticas, autoriza el acceso al espectro CBRS por parte de los CBSD. SAS protege principalmente a los usuarios de nivel superior de la operación de nivel inferior de conformidad con las regulaciones de la FCC. Las relaciones lógicas en CBRS se describen mediante la interfaz SAS-CBSD y SAS-SAS, como se muestra en la Figura 23, que ilustra la arquitectura SAS de alto nivel, incluida la funcionalidad de administrador de coexistencia (CxM) para el espectro GAA. Los sistemas de radar federales están protegidos por la implementación de una red de sensores que forman el componente de detección ambiental (ESC) que informa al SAS sobre la actividad de los radares costeros. Los usuarios de PAL reciben licencias regionales en grandes áreas geográficas en bloques de 10 MHz.

[0459] Cada PAL es de 10 MHz y está limitado a un máximo de siete licencias confinadas dentro de los primeros 100 MHz de la banda CBRS, es decir, de 3550 MHz a 3650 MHz. Las nuevas reglas han basado las áreas de licencia en los condados, que suman 3142 en los Estados Unidos. Hay siete PAL en cada área de licencia, los términos de la licencia son de diez años con una garantía de renovación y las licencias se pueden dividir y desagregar. Los operadores individuales tienen un límite máximo de cuatro licencias PAL. La capacidad de arrendar espectros bajo restricciones geográficas y la capacidad de desagregar licencias respaldarán un mercado secundario en el uso del espectro para las industrias. De esta forma, es probable que las licencias PAL admitan URLLC sin un impedimento significativo.

[0460] El WInnForum está definiendo mecanismos tecnológicamente neutrales para administrar la banda, incluida la protección de los titulares y PAL. Se están desarrollando requisitos adicionales para la coexistencia entre los usuarios de GAA, con mucho debate sobre si la coexistencia debe ser diseñada por la autoridad central del SAS o por la acción local de las CBSD que surjan del conocimiento del entorno de radio.

[0461] La Figura 24 es una ilustración de la gestión del espectro PAL. Los usuarios de PAL están protegidos solo dentro de un área de cobertura con un contorno dibujado alrededor de una implementación real de una o más CBSD. Estas áreas de cobertura se conocen como áreas de protección PAL (PPA) y están delimitadas por un nivel de señal de -96 dBm desde la estación transmisora. Las áreas de protección PAL (PPA) representan grupos desplegados de CBSD con áreas de cobertura superpuestas que pueden fusionarse para registrar una región poligonal que califica para protección contra interferencias de otro uso no asociado de PAL o GAA. La figura muestra varios tratados de licencia, cada uno de los cuales corresponde a un condado. Los usuarios de PAL que abarcan varios tramos de licencia, es decir, que tienen licencias en más de un tramo, pueden combinar sus licencias para crear una asignación de canal común.

[0462] Los usuarios de GAA pueden utilizar el espectro PAL siempre que las implementaciones PAL reales en PPA estén protegidas de interferencias agregadas que superen los -80 dBm dentro del PPA. Esto se ilustra para PPA C en la figura, donde se permite que dos CBSD GAA operen en el mismo canal que el usuario PAL siempre que la interferencia agregada de sus transmisiones no exceda los -80 dBm en la mayor parte del límite de PPA. Obviamente, los PPA de diferentes operadores que se superponen o están lo suficientemente cerca utilizarán asignaciones de espectro exclusivas. Por lo tanto, los usuarios de GAA tienen garantizado el acceso a todo el espectro de 150 MHz si la banda no está obstaculizada por niveles más altos.

[0463] Si bien los usuarios de GAA no están protegidos de la interferencia mutua o la interferencia de niveles superiores, WInnForum y la Alianza CBRS se han comprometido a intentar especificar métodos para crear una experiencia de mayor calidad para los usuarios de GAA. El procedimiento de la Alianza CBRS reasigna el espectro asignado por SAS al grupo de coexistencia de la Alianza CBRS, crea gráficos de interferencia local según modelados ambientales y optimiza la asignación de espectro de un administrador de coexistencia (CxM) que asesora a las redes de CBSD. Además, el CxM gestiona la coordinación de enlace ascendente-descendente para la señal TDD. Se espera que todas las redes LTE-TDD estén sincronizadas en fase de celda y la especificación de coexistencia de la Alianza CBRS detalla cómo se logrará, independientemente de SAS o CxM. WInnForum y la Alianza CBRS intentarán garantizar al menos 10 MHz de espectro por CBSD. Es probable que esto sea desconsiderado con el servicio eMBB en áreas congestionadas.

[0464] Tanto el espectro PAL como el GAA pueden abordar los requisitos de URLLC, pero la calidad de URLLC no se puede garantizar en todas las situaciones de GAA. Por lo tanto, un operador no podría suscribir SLA que prometerían a un cliente que la capacidad o el rendimiento de la latencia no se degradarían, a menos que la instalación cubierta estuviera físicamente aislada de otras interferencias.

[0465] El CBRS tiene varias desventajas:

- La naturaleza de tres niveles del régimen de licencias, y especialmente las reglas que permiten GAA, crean mucha incertidumbre en la utilidad de la banda. Parte de esta incertidumbre surge de la falta de comprensión sobre si el espectro GAA es como un espectro sin licencia o es similar a un espacio en blanco: no lo es. De hecho, una interpretación estricta de las reglas de la FCC sobre el uso de GAA llevaría a uno a creer erróneamente la analogía del espacio en blanco.

- Las especificaciones de WINNF han creado la impresión entre algunos operadores de que podrían usar únicamente el espectro GAA de una manera que asegure la protección contra interferencias. Tal impresión tal vez requiera una división del espectro entre los usuarios en la medida en que el ancho de banda se intercambie por calidad. Esto no es adecuado para el uso de eMBB.
- Las especificaciones de coexistencia de WINNF y de la Alianza CBRS tienden a devaluar las implementaciones al aire libre. Las estaciones base de alta potencia se cuentan para la protección del titular en mayor medida que las de baja potencia. Las implementaciones en interiores pueden verse favorecidas al asignar espectro, y las grandes redes de nodos interiores podrían captar más espectro del que les corresponde a menos que SAS introduzca medidas de equidad. Esperamos que haya enfoques pragmáticos con base en garantías comerciales.
- Los casos de uso interesantes para el CBRS se encuentran en pequeñas celdas urbanas y micros para cobertura y descarga. La razón de esto es principalmente las grandes áreas de licencias, y es más probable que los operadores liciten por licencias en mercados lucrativos. Para el uso de la automatización industrial del CBRS, los operadores deben adquirir licencias con la intención de desagregar o arrendar su espectro.
- El CBRS se ha definido en una banda que es de interés principal para 5G. Los términos bajo los cuales se ofrece el espectro, especialmente PAL, hacen que la banda sea cuestionable para el servicio eMBB y tiene una utilidad mixta para fines industriales, incluidos los modos de operación URLLC.

[0466] Por otro lado, hay cosas que agradan del CBRS:

- El enfoque de úselo o piérdalo que utiliza el CBRS es un ejercicio bien pensado para mejorar la utilidad del espectro. Las reglas motivan a los operadores a usar su licencia con implementaciones reales, y los operadores

tienen un incentivo para implementar sus propias radios o arrendar PPA para obtener ingresos de su espectro.

- Si la mayoría de los usuarios del CBRS son usuarios de celdas pequeñas en interiores, el éxito de la banda estaría garantizado. Una gran cantidad de casos de uso industrial califican.
- La FCC no puede sesgar los procedimientos de subasta para favorecer el uso del espectro por parte de la industria y las empresas. Además, los usuarios industriales no están realmente interesados en competir en el mercado de licencias. De hecho, el concepto de licencia local de Ericsson depende de que las licencias se asignen por regla a los propietarios de bienes raíces, posiblemente por una pequeña tarifa de registro. Al permitir la desagregación de licencias, la FCC ha proporcionado a los usuarios industriales opciones: arrendamiento, compra u operación con las reglas de la GAA.
- Está previsto que el CBRS entre en implementación comercial y se probará en el campo. El establecimiento de organizaciones de la industria que desarrollan los estándares, incluidos aquellos para el uso de LTE en la banda, asegura el despliegue real y el éxito de la banda de alguna forma. No se puede decir lo mismo de LSA en 2,3 GHz. De hecho, existe un interés notable en torno al CBRS entre otros reguladores, por ejemplo, Ofcom. Las experiencias en la implementación del CBRS pueden alentar a la industria de las telecomunicaciones a aceptar el CBRS como una forma tolerable de implementar el uso compartido del espectro.

[0467] Coexistencia

[0468] En general, existirán problemas de coexistencia cuando las redes industriales que utilizan tecnologías celulares o RLAN compartan espectro con otros servicios, por ejemplo, el satélite. Es posible que las industrias obtengan acceso al espectro que está designado globalmente para su uso por radionavegación, servicios satelitales o servicios fijos, siempre que exista

suficiente aislamiento geográfico o por pérdida de trayectoria entre dichos servicios. Por ejemplo, el uso del espectro en fábricas en interiores puede ocurrir fácilmente en bandas de satélite. Es deseable que tales bandas estén cerca de las bandas asignadas para el uso de RLAN o IMT para que exista un incentivo para que los fabricantes incluyan tales bandas en el equipo de radio. La banda CBRS es una de esas bandas que tiene una estrecha asociación con bandas ya designadas para uso móvil en la mayoría de los mercados del mundo.

[0469] Otro aspecto del uso industrial del espectro es el problema de la utilidad del espectro. Si bien las tecnologías celulares tienen la ventaja de una alta eficiencia espectral, también es necesario que la regulación permita un alto grado de reutilización del espectro. En muchos casos, esto implicará comprender hasta qué punto se puede reutilizar el espectro en áreas de licencia que están muy próximas.

[0470] Hay casos en los que la coexistencia en la realidad no es problemática. El espectro interior para casos de uso de la industria puede beneficiarse del espectro inutilizable (incluida la asignación no móvil) para otros, por ejemplo, satélites, FS, FFS, radar (no solo en interiores). Sin embargo, también se deben considerar los casos de uso del espectro exterior para la industria.

[0471] Si bien es cierto que los casos de uso industrial en interiores pueden beneficiarse del espectro de uso secundario que puede designarse para otros servicios, por ejemplo, satélites, FS, FSS, radar, etc., es igualmente importante designar el espectro local para uso en exteriores por parte de las industrias.

[0472] <u>Espectro compartido: consideraciones de mercado</u>

[0473] La filosofía detrás de las regulaciones de espectro compartido difiere entre EE. UU. y Europa. La FCC ha estado dispuesta a definir el CBRS

de una manera que otorgue un alto valor a la utilidad del espectro, mientras que la EU ha tendido hacia la calidad y estabilidad del espectro.

[0474] En Europa, el respaldo de la IoT industrial se enfoca en bandas bajo licencia dado que el nivel de interferencia de otras bandas puede contenerse hasta un cierto grado. Se espera que haya muchos contratos de licencia y arrendamiento en un país.

[0475] En ETSI se está diseñando un sistema LSA evolucionado para manejar los problemas de implementación y coexistencia de manera eficiente. Según el país, los escenarios de coexistencia con posibilidades de cocanal pueden ser local en interior a local en interior, local en interior y cobertura regional superpuesta, y local en interior a local en exterior. Las condiciones reglamentarias de compartición deben manejar esto en, por ejemplo, el dominio de frecuencia (y la posible necesidad de patrón de reutilización), la distancia de guarda (de ser necesaria), los supuestos de pérdida de señal a través de las paredes y el establecimiento de un nivel máximo de intensidad de señal permitida en el límite que aseguraría una previsibilidad de interferencia a señales vecinas. Esto facilitaría la implementación de la red con niveles conocidos de interferencia esperada para asegurar los niveles de calidad de la red deseados.

[0476] Las bandas sin licencia y las bandas exentas de licencia cuya interferencia tiene un comportamiento impredecible pueden usarse para servicios que no requieren una alta QoS y que, simultáneamente, pueden usarse en conjunto con la red bajo licencia.

[0477] En los Estados Unidos, lo más probable es que el arrendamiento y el uso privado del espectro se produzcan en el ámbito del CBRS. Las normas PAL estás orientadas a la protección de las implementaciones reales. Las áreas que cuentan con una definición de licencia y que no están cubiertas por espectros radioeléctricos de un licenciatario están disponibles a los usuarios de GAA, siempre que las PPA establecidas no reciban interferencia. El licenciatario,

sin embargo, es libre de rentabilizar su licencia permitiendo que los PPA privados la arrienden. Probablemente, esto mejore la utilidad del espectro.

[0478] El uso de GAA está abierto a implementaciones privadas y contará con una calidad de experiencia combinada según uno o más de una serie de factores; urbanización, densidad poblacional, intereses comerciales, implementaciones en interiores frente a implementaciones en exteriores, implementaciones en exteriores de celdas pequeñas frente a celdas amplias (baja potencia frente a alta potencia).

[0479] WInnForum y CBRS Alliance están comprometidos a definir los principios de coexistencia para GAA que puedan reducir el impacto de la interferencia a los usuarios de GAA a partir del uso de cocanales del espectro asignado. El desarrollo de procedimientos para la coexistencia es conflictivo y por lo general involucra la ortogonalización de asignaciones de espectros entre CBSD vecinos que podrían interferir entre sí. Esto tiene la desventaja de reducir las asignaciones individuales de espectros a los CBSD en ciertas circunstancias. Esto es particularmente preocupante respecto del uso de NR en la banda, en especial en casos donde se prevé la cobertura de eMBB.

[0480] Espectro sin licencia

[0481] El uso industrial de la tecnología inalámbrica puede superponerse a las tecnologías de red de área local radioeléctrica (RLAN) o celular. En efecto, no es necesario clasificar todo el uso industrial del espectro como derivado de una comunicación sumamente confiable o correspondiente a una comunicación crítica. Ciertas características del entorno de automatización industrial son un alto nivel de importancia a la disponibilidad del espectro, facilidad de implementación y poca regulación, y oportunidades para el desarrollo de una red confiable y segura. Sin embargo, muchos casos de uso y tal vez la mayoría de los casos de uso industrial pueden también aprovechar el espectro exento de licencia. El desarrollo de las tecnologías MulteFire y LAA para la operación

exenta de licencia proporciona una vía para que el sector de las comunicaciones celulares ingrese en el dominio RLAN.

[0482] Las desventajas clave del espectro sin licencia incluyen la necesidad de operar en presencia de interferencia y la baja confiabilidad provocada por el uso compartido del espectro según la inteligencia distribuida. Por lo general, esto se traduce en nodos radioeléctricos que usan prevención de colisiones y la etiqueta "escuchar antes de hablar" (LBT) para acceder al canal inmediatamente. Esto no está abierto a las garantías de KPI. Por lo tanto, el espectro sin licencia no es en general adecuado para aplicaciones de misión crítica.

[0483] Las bandas de interés para aplicaciones industriales del espectro sin licencia abarcan una amplia variedad de bandas del espectro. La FCC en los Estados Unidos ha sido la más agresiva en los últimos años en cuanto a la expansión de la disponibilidad del espectro sin licencia.

[0484] La Tabla 7 enumera bandas sin licencia en diversos países. El texto subrayado hace referencia a bandas que están en consideración. Las bandas de la tabla son las indicadas para uso de banda ancha y no incluyen diversas bandas designadas como bandas de comunicación para dispositivos de corto alcance. Las bandas sin licencia, por lo general, no son aptas para URLLC debido a la posibilidad de interferencia.

Banda de espectro	**Región/País**	**Comentario**
600 MHz	EE. UU.	Las reglas de TVWS permiten a los dispositivos para espacios en blanco sin licencia operar en bandas de guarda entre servicios inalámbricos y bandas de TV y en la separación dúplex ente las bandas de enlace descendente y enlace ascendente

Banda de espectro	Región/País	Comentario
		inalámbricos. Esto incluye la operación sin licencia en el canal 37 de UHF, que también aloja el servicio de radioastronomía (RAS).
902-928 MHz	EE. UU.	Salto de frecuencia o modulación digital según la Sección 15.
863-870 MHz	Europa	Banda de dispositivos de corto alcance para micrófonos inalámbricos, uso de LPWAN por medio de SigFox.
2400-2483,5 MHz	En todo el mundo	Banda ISM; reglas según la Sección 15.
5,150-5,250 GHz	Estados Unidos, Europa, Japón	EE. UU.: banda U-NII-1, solo para uso en interior, antena integrada. Europa: banda 1 de RLAN.
5,250-5,350 GHz	Estados Unidos, Europa, Japón	EE. UU.: U-NII 2A, uso en interior y exterior. Europa: la banda 1 de RLAN requiere TPC.
5,350-5,470 GHz	Europa	Europa: Disponible para uso en RLAN.
5,470-5,725 GHz	Estados Unidos, en todo el mundo	U-NII 2C/2E, DFS y detección de radares, interior y exterior. Europa: banda 2 de RLAN.

Banda de espectro	**Región/País**	**Comentario**
5,725-5,850 GHz	Estados Unidos, en todo el mundo	Banda U-NII 3, se superpone con la banda ISM en todo el mundo.
5,725-5,875	Europa	BRAN
5,925-6,425 GHz	EE. UU.	Propuesta para banda 5 de U-NII, requiere AFC (base de datos).
6,425-6,525 GHz	EE. UU.	Propuesta para banda 6 de U-NII, solo en interior.
6,525-6,875 GHz	EE. UU.	Propuesta para banda 7 de U-NII, requiere AFC.
6,875-7,125 GHz	EE. UU.	Propuesta para banda 8 de U-NII, solo en interior.
57-64 GHz	Estados Unidos, Canadá, Corea	mmW sin licencia
59-66 GHz	Japón	mmW sin licencia
59,4-62,9	Australia	mmW sin licencia
57-66 GHz	Europa	mmW sin licencia
66-71 GHz	EE. UU.	Propuesta para [banda] sin licencia por la FCC.

Tabla 7: Bandas sin licencia

[0485] El arrendamiento de espectros en Europa y Estados Unidos no constituye un problema reglamentario, aunque no queda claro el interés y el negocio para los operadores. En Asia y África, los debates por el arrendamiento de espectros recién han comenzado.

[0486] El espectro interior para casos de uso de la industria puede beneficiarse del espectro inutilizable (incluida la asignación no móvil) para otros, por ejemplo, satélites, FS, FFS, radar (no solo en interiores). Sin embargo, también se deben considerar los casos de uso del espectro exterior para la industria.

[0487] Si bien es cierto que los casos de uso industrial en interiores pueden beneficiarse del espectro de uso secundario que puede designarse para otros servicios, por ejemplo, satélites, FS, FSS, radar, etc., es igualmente importante designar el espectro local para uso en exteriores por parte de las industrias.

[0488] eLSA es indiferente a las bandas y la tecnología para arrendamiento de espectros y la concesión de licencias locales. CBRS va a ser la mejor oportunidad para uso industrial del espectro en los Estados Unidos. CBRS se está especificando en una gama de espectros al que IMT puede acceder globalmente, lo que hace posible la economía de escala y permite el arrendamiento y la desagregación de licencias. Permitir la desagregación no significa que CBRS facilite la concesión de licencias locales.

[0489] La armonización global de los espectros de IMT y MBB ha sido un deseo que nunca logró concretarse adecuadamente. La consecuencia de las diversas acciones reglamentarias sobre el espectro en el caso de los servicios móviles a lo largo de los años hará difícil que se logre la armonización para casos de uso industriales. Sin embargo, el sector de las telecomunicaciones está interesado en asignar porciones del espectro entre 3400 y 4200 MHz y 24,25 a 29,5 GHz para uso industrial.

[0490] El intervalo entre 3400 y 4200 MHz probablemente sea la primera gama de frecuencias, excluyendo a China y a Estados Unidos, donde se comenzará a establecer 5G. El respaldo reglamentario limitado para la concesión de licencias locales en este intervalo creará demoras en el uso del espectro que no depende del MNO. Por ejemplo, en Suecia, la concesión de licencias locales puede estar disponible, como temprano, después de 2023 para 5G, y en la mayoría del resto de los países europeos la acción reglamentaria todavía está fuera de consideración. Por consiguiente, el arrendamiento probablemente sea la única opción de acceso al espectro, a excepción de un servicio un servicio prestado por un MNO, en ese periodo. El espectro mmW puede resultar de interés para facilitar la disponibilidad de licencias locales de manera más oportuna, peso ello dependerá, hasta cierto punto, de la asignación de bandas móviles en WRC-19.

[0491] Seguridad

[0492] Suele decirse que la seguridad de un sistema solo es tan sólida como su eslabón más débil. Sin embargo, dependiendo de qué parte del sistema sea, violar la seguridad (o descuidarla) puede acarrear consecuencias muy diferentes. Cuando se habla de un sistema que involucra a más de una entidad, las identidades seguras utilizadas y su manejo y protección son componentes básicos de una parte mayor en la que otra funcionalidad de seguridad confía. Las identidades se utilizar para autenticar las entidades, para otorgar acceso y autorizar acciones, y para establecer sesiones seguras entre las entidades. Eso significa que un dispositivo tiene que tener una identidad segura y que proporcionar mecanismos con base en *hardware* (HW) y *software* (SW) que protejan y aíslen la identidad y las credenciales del dispositivo. No solo se deben proteger las identidades, sino también los mismos dispositivos, p. ej., mediante el control adecuado de qué SW se ejecuta en el dispositivo. Todas las cosas mencionadas anteriormente se habilitan teniendo un certificado raíz de confianza

(RoT) de HW en el dispositivo, que básicamente es un anclaje de seguridad en el que se basa la seguridad.

[0493] Identidad

[0494] La identidad de un dispositivo se usa para identificar el dispositivo ante un interlocutor. Por lo general, la identidad consiste en un identificador y credenciales tales como una clave, un par de claves o una contraseña que se usa para la autenticación del dispositivo. Una identidad autenticada permite que el interlocutor (tal como una red, un servicio o un dispositivo par) tome decisiones de política de seguridad bien fundadas para el control de acceso a la red y a los recursos, el uso del servicio, los cargos, las configuraciones de calidad de servicio, etc.

[0495] Las identidades con base en un secreto compartido dependen de que todos los terminales que participan en la comunicación, y solo ellos, conozcan un valor secreto. La aleatoriedad del secreto compartido es una característica clave. Por lo general es bastante débil para una combinación de nombre de usuario y contraseña, la forma más básica de identidad con base en un secreto compartido. Además de la aleatoriedad, también es importante la longitud del secreto y que este se maneje en condiciones de seguridad tanto en el dispositivo como del lado del servidor.

[0496] Con las claves asimétricas, el identificador de una entidad es la clave pública de la clave asimétrica y la clave privada correspondiente actúa como credencial de autenticación. Una firma generada mediante la clave privada puede ser verificada por cualquiera que tenga acceso a la clave pública correspondiente. Esta es, quizás, la fortaleza principal de la clave asimétrica en comparación con una clave simétrica (secreto compartido).

[0497] Para brindarle valor adicional a la identidad con base en clave asimétrica, es posible hacer que la identidad sea validada por una autoridad de certificación (CA). La CA verifica la identidad de la entidad propietaria del par de

claves y emite un certificado que valida el vínculo entre el propietario y la clave pública. Las desventajas con los certificados incluyen el tamaño del certificado (o cadena de certificado), lo que podría ser un inconveniente en entornos restringidos, y el costo agregado de obtener y mantener (renovar) el certificado. Para reducir costos, una empresa también puede configurar su propia CA.

[0498] Los mecanismos de clave pública sin procesar (RPK) alcanzan una solución intermedia entre la simplicidad de las claves precompartidas y los beneficios de las soluciones criptográficas asimétricas. Una RPK es un certificado minimalista, significativamente menor que un certificado típico, que contiene solo la clave pública en un formato específico. Una RPK es como un certificado autofirmado: no hay una entidad de confianza que responda por la identidad provista, es decir, el par que recibe esta identidad debe usar un mecanismo fuera de banda para confiar que es la identidad de la entidad con la que desea comunicarse.

[0499] Para todas las infraestructuras de clave pública (PKI), se recomienda tener una forma de revocar las claves en riesgo. Formas comunes de hacerlo son una lista de revocación de certificados (CRL) que pueda ser recuperada de una autoridad de certificación (CA) o comprobar el estado del certificado en línea usando el protocolo de estado de certificado en línea (OCSP).

[0500] Los sistemas celulares 3GPP son un claro ejemplo de uso de identidades con base en secretos compartidos. Una identidad 3GPP consiste en el IMSI, un identificador de 15 dígitos, y su credencial asociada, un secreto compartido de 128 bits. Esta información se almacena en la base de datos de suscriptores (p. ej., HLR o HSS) en la red central 3GPP y en la UICC o la tarjeta SIM instalada en el equipo de usuario (UE). La UICC funciona como almacenamiento de seguridad y como TEE para las credenciales de 3GPP. Para dispositivos de IoT, en cambio, pueden usarse UICC integradas permanentemente (eUICC). Una eUICC tiene menor superficie y permite actualizaciones remotas de los datos de la suscripción.

[0501] En el caso de 5G, 3GPP también considera alternativas a las credenciales SIM tradicionales, a saber las llamadas “credenciales alternativas”. TR 33.899 busca diferentes soluciones de identidad, incluidos los certificados. En las especificaciones, el soporte para los certificados se describe en, p. ej., 33.501, donde EAP-TLS se define como una alternativa a AKA. EAP-TLS implica que se usen certificados para la autenticación. Para identificar la red, el uso de certificados está disponible parcialmente a través de la definición del identificador oculto (SUCI), que es el identificador privado (SUPI) del UE cifrado con la clave pública de su red de origen, es decir, la red ya tiene un par de claves asimétricas para el que la clave pública es parte del perfil del suscriptor. El SUPI está definido en 3GPP TS 23.501. Allí, se indica el identificador de la dirección de red (NAI) como un formato posible del identificador que respaldaría también el uso de certificados.

[0502] Seguridad de extremo a extremo (E2E)

[0503] En la mayoría de los casos, proteger la comunicación de un dispositivo es importante. Tanto protegerla contra la filtración de información a terceros sin autorización como contra que un tercero modifique los datos en tránsito. Esto puede lograrse aplicando protección de la confidencialidad (cifrado) y de la integridad (firma de los datos). El tipo exacto de seguridad que se necesita para los datos depende en gran medida del caso de uso y se relaciona con los datos, su uso, sensibilidad, valor y el riesgo asociado con el uso indebido de los datos. Sin embargo, como regla general, siempre debe aplicarse la protección de la integridad, mientras que la necesidad de protección de la confidencialidad debería evaluarse caso por caso. En general, debe usarse una sola clave por propósito (cifrado, autenticación, etc.).

[0504] Para proteger los datos existen muchos protocolos normalizados disponibles, incluidas soluciones de seguridad “comunes” de Internet, tales como TLS, IPsec y SSH. Las soluciones optimizadas para IoT incluyen DTLS como

una variante de TLS para IoT y el trabajo en curso para perfilar un IPsec apto para IoT. Además, las soluciones de seguridad de capa de aplicaciones, tales como OSCORE (definido en IETF), están disponibles y son especialmente útiles para dispositivos restringidos. Los beneficios en comparación con TLS incluyen seguridad de extremo a extremo que puede proporcionarse incluso entre los proxies de la capa de transporte, p. ej., comunicación del tipo almacenamiento y retransmisión utilizada con dispositivos inactivos. También se optimiza la tara de protocolo.

[0505] 3GPP también suministra herramientas para proteger el tráfico de extremo a extremo hacia un servicio, incluso fuera de la red 3GPP. La arquitectura de inicialización genérica (GBA), 3GPP TS 33.220, utiliza las credenciales SIM para autenticar el UE/la suscripción a un servicio de red, denominado función de aplicación de red (NAF) en la jerga de GBA. GBA requiere que haya una relación de confianza entre el servicio/NAF y el operador. Con esa confianza, NAF puede solicitar claves de sesión de la red, las que se basan en las credenciales SIM del UE. Esas credenciales de sesión pueden usarse para autenticación y establecimiento de una sesión segura entre el UE y el servicio.

[0506] Certificado raíz de confianza de *hardware*

[0507] El concepto de un certificado raíz de confianza de *hardware* (HW RoT) incluye los siguientes aspectos:

- Almacenamiento seguro
- Arranque seguro/medido
- Entorno de ejecución de confianza (TEE) ejecutado por HW
- Administración de claves y criptográfica protegida por HW (aceleración criptográfica, generador de números aleatorios mediante HW, generación/almacenamiento/acceso seguro a claves)

[0508] La seguridad por HW también se extiende al entorno en el que los dispositivos se fabrican, tal como la protección de interfaces y los mecanismos utilizados durante la fabricación y el desarrollo, el uso de aprovisionamiento seguro de claves, generación de claves, configuraciones seguras de dispositivos, firma de códigos, etc.

[0509] El fundamento de protección en el que un dispositivo se comporta como se pretende es ser capaz de garantizar que solo un *software/firmware* autorizado se ejecute en el dispositivo. Esto requiere un mecanismo de arranque seguro que se origine a partir de un certificado raíz de confianza de *hardware*. El mecanismo de arranque seguro verifica, durante el arranque del dispositivo, que todo el *software* cargado tenga autorización para ejecutarse. Una HW RoT es una entidad de confianza inherentemente, lo que significa que sus datos, su código y su ejecución no pueden alterarse desde el exterior de sus límites de confianza. Consiste en funciones que deben operar como se espera (según su diseño), sin importar qué *software* se ejecute en el dispositivo.

[0510] Un dispositivo también debe tener un mecanismo de almacenamiento de seguro para proteger los datos confidenciales del dispositivo, tales como las claves criptográficas, mientras se encuentren almacenados en la memoria no volátil (fuera de un chip). Tal mecanismo también depende en un HW RoT, p. ej., una clave individual por chip almacenada en una memoria no volátil en el chip, o memoria OTP.

[0511] Con el objeto de poder recuperarse de infecciones de *malware* y para minimizar el riesgo de pérdida de datos confidenciales o el cambio en el comportamiento del dispositivo, las partes del *firmware* y el *software* relacionadas con la seguridad deben estar separadas (y ejecutarse de manera aislada) del resto del *software*. Esto se logra usando un entorno de ejecución de confianza (TEE) creado mediante mecanismos de aislamiento de HW.

[0512] Fortalecimiento del dispositivo

[0513] Un dispositivo contiene, por lo general, interfaces y mecanismos para depuración y análisis de HW con el objetivo de detectar problemas de un dispositivo dado descubiertos durante la producción de ASIC, la producción de dispositivos o en el campo. El Joint Test Action Group (JTAG), norma 1149.1 de la IEEE, es una interfaz común para depuración y diversos análisis de HW. Estos mecanismos e interfaces deben estar protegidos de modo que personas sin autorización no puedan usarlos para recuperar o modificar el FW/SW y/o datos del dispositivo. Esto puede lograrse inhabilitando de manera permanente la interfaz, permitiendo que solo entidades autorizadas usen la interfaz o limitando a qué puede accederse con la interfaz. Además, en el caso del acceso autorizado, se debe garantizar que la persona que lleve a cabo la depuración o el análisis de fallas no pueda acceder a los datos confidenciales que pertenecen al usuario o propietario del dispositivo, tales como las claves.

[0514] La seguridad del SW es uno de los componentes básicos más importantes de la seguridad del dispositivo. La seguridad de HW y la de SW se complementan entre sí. Si bien no es posible fabricar un dispositivo seguro sin seguridad de HW como base, lo mismo también aplica a la seguridad de SW.

[0515] Si bien los GW de IoT con procesadores de aplicaciones habitualmente ejecutan OS con base en Linux, los dispositivos de IoT con base en MCU principalmente ejecutan OS ligeros, tales como Mbed OS y Zephyr OS. También se usan otros OS con certificación de alta seguridad en dispositivos que tienen que satisfacer requisitos de alta disponibilidad y seguridad. Elegir el OS correcto es importante y el fortalecimiento de la seguridad de tal OS reviste la misma importancia. La entropía de fortalecimiento, los componentes del espacio del usuario y la funcionalidad de la red también pueden considerarse parte del proceso de fortalecimiento de la seguridad del OS. Otros aspectos que deben considerarse en relación con el fortalecimiento del dispositivo incluyen:

- Usar un SW desarrollado según las mejores prácticas de desarrollo de *software* seguro.
- Sandboxing y aislamiento: ejecución de un SW en un entorno aislado.
- Concepto del menor privilegio: los procesos solo obtienen los privilegios requeridos.
- Fortalecimiento criptográfico: usar bibliotecas criptográficas seguras con código revisado y con trazabilidad.
- Uso de un PRNG criptográficamente seguro.
- Certificación (cuando corresponda).
- Actualización segura del SW: actualizaciones firmadas que se aplican de manera oportuna.

[0516] Seguridad para la protección

[0517] Sin embargo, estos mecanismos y herramientas de seguridad (tal vez, con la excepción del no repudio) deberían implementarse en cualquier sistema seguro, independientemente de que el objetivo sea o no lograr un sistema seguro. El requisito de seguridad es, quizás, más una indicación del nivel de seguridad requerido y de que la configuración de seguridad debe volver a comprobarse, dado que cualquier error podría acarrear consecuencias más graves que en un sistema que no cuente con tal requisito de seguridad. La configuración de seguridad también tiene que ver con la elección del nivel de seguridad, las claves y los algoritmos adecuados para usar en el sistema. Además de la seguridad, una parte (al menos) igualmente relevante para la protección es, p. ej., la disponibilidad y confiabilidad del sistema en relación con los canales de comunicación y los servicios que conforman el sistema, o la operación correcta de los componentes (que los valores informados sean precisos, sincronización temporal, etc.).

[0518] Interferencia intencional

[0519] Al igual que la seguridad, la interferencia intencional también es un tema que cuyas ramificaciones llegan al dominio de seguridad. La interferencia intencional es una forma de un ataque de denegación de servicio (DoS). Algunas medidas contra la DoS también sirven contra la interferencia intencional, p. ej., el equilibrio de carga y el reencaminamiento de tráfico, lo que en una interfaz aérea significaría equilibrio de carga y limitación de velocidad, estaciones de base de respaldo y frecuencias adicionales.

[0520] Dispositivos industriales

[0521] Los dispositivos industriales varían de sensores de propósito único, simples y pequeños, a grandes conjuntos complejos de dispositivos, tales como unidades robotizadas y papeleras. Así, una pregunta muy pertinente que abordamos aquí es qué es un dispositivo. Los dispositivos de IoT suelen clasificarse de dos maneras principales: dispositivo de detección y dispositivos de actuación. Los dispositivos de detección están equipados con cierta clase de sensor que mide un aspecto específico, tal como la temperatura, la luminosidad, la humedad, un conmutador, etc. Los dispositivos de actuación son aquellos que reciben una instrucción y cambian de estado en consecuencia, p. ej., una luz que puede encenderse o apagarse o la velocidad del ventilador de un aire acondicionado. Los dispositivos más complejos tienen un juego de sensores y actuadores combinados, pero solo una interfaz de comunicación. Las máquinas mucho más complejas pueden consistir en varios dispositivos más pequeños compuestos por varios sensores y actuadores. Por lo general, incluso en el caso de un dispositivo pequeño, se implementa un microcontrolador o computadora pequeña para alojar la pila de comunicación además de funcionalidades de procesamiento, memoria y otras. En esencia, un dispositivo muy complejo es, en realidad, una pequeña red en sí que comprende varias partes que pueden o no

interactuar entre sí y que pueden o no comunicarse a través del mismo módulo de comunicación.

[0522] La gama de requisitos agregados a la comunicación en sí varía según el propósito y la criticidad de la tarea que se pretende que realice el dispositivo en cuestión. Estos requisitos pueden incluir rendimiento, latencia, confiabilidad, vida útil de la batería y cobertura ampliada. Por ejemplo, puede verse que un sensor simple que informa cambios de temperatura tiene requisitos de comunicación relajados, mientras que el control de robots en forma inalámbrica desde la nube requiere un servicio URLLC. Las redes deben ser capaces de admitir una combinación de dispositivos y servicios en la misma implementación. En caso de que el dispositivo en cuestión sea, en realidad, un objeto complejo con diferentes conjuntos de sensores y actuadores que se comunican a través de la misma interfaz, las redes también pueden requerir una combinación de servicios, es decir, diferentes tipos de tráfico, desde el mismo dispositivo. Esto podría ser, por ejemplo, un robot con una videocámara a efectos de monitoreo (flujo de tráfico de banda ancha móvil) y un brazo manipulador (tráfico de URLLC), o una grúa pórtico en un puerto con funcionalidad por control remoto.

[0523] Con el objeto de ingresar a los mercados verticales industriales, es necesario abordar los diferentes casos de uso descritos anteriormente y responder algunas preguntas cruciales de investigación relativas a los dispositivos. ¿Cómo combinar dispositivos con diferentes requisitos de URLLC, cómo combinar diferentes flujos de URLLC en un dispositivo y cómo combinar flujos que no son de URLLC con flujos de URLLC en un dispositivo? ¿Cómo monitorear las métricas de QoS en el dispositivo y enviar esta información oportunamente a la BS o al controlador de red? ¿Cómo garantizar la redundancia en el dispositivo (UE, portadoras, etc.)?

[0524] Por último, el dispositivo no es una parte aislada de la red, en especial si tiene altas funcionalidades de procesamiento. En cambio, el

dispositivo es parte del sistema y puede albergar funciones del sistema, p. ej., parte de la nube perimetral, o la aplicación de algoritmos federados de aprendizaje automático, lo que puede ser beneficioso desde el punto de vista computacional y también desde el de la privacidad.

[0525] Nube distribuida

[0526] El siguiente análisis introduce el concepto de una nube distribuida diseñada específicamente para satisfacer los requisitos de escenarios industriales: la nube industrial. Además, se describe un sistema de administración de información que puede recopilar, almacenar y administrar grandes cantidades de datos provenientes de la planta de fabricación. El acceso a la información almacenada se maneja a través de una API bien definida que permite a los desarrolladores enfocarse por completo en lo que debe hacerse con los datos en lugar de intentar resolver cómo conseguir datos específicos de interés.

[0527] En el caso de la computación centralizada (IT) tradicional en la nube, esta ofrece muchos beneficios sobre el hosting local. Los méritos técnicos incluyen el acceso ubicuo y a pedido a recursos de cómputo (CPU, almacenamiento, red, aplicaciones, servicios), elasticidad (ampliación y reducción de recursos) y medición (monitoreo y pago por uso real). Los recursos del proveedor de servicios se agrupan simultáneamente para diversos consumidores del servicio. La utilización de *hardware* remoto implementado, gestionado y mantenido por un proveedor de servicios permite reducir el trabajo del departamento de IT local en gran medida. Todas estas propiedades se traducen en un menor costo general para los consumidores.

[0528] Un modelo de nube centralizada ofrece muchas ventajas, pero no resuelve todos los requisitos industriales. Hay dos problemas importantes que requieren consideración. En primer lugar, la señalización en grandes distancias agudiza la latencia general. En el caso de los procesos en tiempo real (críticos)

con restricciones estrictas de temporización, la demora de ida y vuelta de la nube puede ser perjudicial para el desempeño o incluso puede hacer que determinados casos de uso sean imposibles de implementar. La fluctuación de retraso también puede ser un gran problema, dado que la comunicación desde y hacia la nube puede implicar muchos enlaces externos sobre los cuales se puede ejercer poco control. En segundo lugar, las tareas computacionales relacionadas con la producción industrial tienden a estipular requisitos estrictos sobre la disponibilidad, la consistencia y la seguridad. Aun cuando las aplicaciones y los servicios nativos de la nube puedan y deban diseñarse y configurarse de manera redundante y a prueba de fallas, la comunicación no se ve fácilmente garantizada. Por ejemplo, los cables de fibra [óptica] pueden romperse debido a trabajos de construcción, las tabla de enrutamiento pueden corromperse y también hay cortes de energía. Independientemente del motivo, cualquier interrupción de la conectividad de red podría resultar catastrófica para la producción. En particular, cualquier cosa que se relacione con un algoritmo de control de bucle cerrado que se ejecuta en una nube central debe hacerse de modo tal que las pérdidas de comunicación se manejen con sumo cuidado. Ya sea que eso signifique replicación *in situ* del algoritmo de control, una degradación paulatina u otra cosa, se lo debe decidir caso por caso.

[0529] Para mitigar los problemas descritos anteriormente y al mismo tiempo retener los beneficios de la computación en la nube, se propone un enfoque distribuido. El principio se representa en la Figura 25. Básicamente, una nube central (también conocida como centro de datos) está conectada a varias otras instancias de cómputo en diferentes ubicaciones físicas. Estas instancias periféricas podrían tener funcionalidades muy diferentes con respecto a la potencia de procesamiento, la memoria, el almacenamiento y el ancho de banda disponibles para la comunicación. Por lo general, las aplicaciones también están distribuidas para que diferentes partes de ellas se ejecuten en elementos independientes de *hardware*. Cuando se usa en relación con [procesos de]

producción, a este sistema se lo denomina la nube industrial. Otra noción que suele usarse como sinónimo de nube distribuida es nube perimetral. Sin embargo, el término “nube perimetral” también puede usarse para hacer referencia específica a recursos de la nube ubicados en las estaciones de base. Como se muestra claramente en la Figura 25, un escenario de nube industrial es más general y también se extiende hacia otras ubicaciones, además de las estaciones de base.

[0530] Los requisitos funcionales (es decir, los comportamientos especificados y lo que debe hacerse) y los requisitos no funcionales (atributos de calidad en relación con la operación del sistema) determinan dónde implementar determinadas tareas. Mantener los datos cerca de donde se los usa es beneficioso en el caso de tareas con restricciones temporales. En otros casos de uso, las restricciones en el ancho de banda podrían requerir un almacenamiento temporal allí donde se producen los datos. En consecuencia, existe la necesidad de contar con recursos de cómputo y almacenamiento locales (en el lugar de trabajo). Sin embargo, también hay una cantidad de tareas menos críticas que se manejan mejor en la nube central. Por ejemplo, el mantenimiento predictivo y la detección de anomalías suelen depender de extensas y completas series temporales de datos de registro y de sensores. El almacenamiento de esta información en el centro de datos simplifica el análisis y el entrenamiento a posteriori de los algoritmos de aprendizaje profundo.

[0531] Plataforma de *software* de producción en tiempo real

[0532] Las implementaciones de la nube perimetral en el lugar de trabajo se consideran facilitadoras de aplicaciones nuevas y mejoradas que reducen el costo de implementación y de administración, lo que incluye la posibilidad del reemplazo de piezas de un equipo por soluciones conformadas solo por *software*. Un típico ejemplo es el controlador del robot, que en antiguas implementaciones que aún perduran es un equipo de *hardware*, básicamente

una PC de calidad industrial, instalado junto a cada robot de producción. Este equipo es responsable del control en tiempo real del robot, como el control del movimiento, lo cual requiere bucles de control del orden de los milisegundos. El primer paso en la nubificación de tal tecnología existente es el traslado del *software* desde el controlador hacia la nube *in situ*, lo que simplifica la instalación dado que se elimina el elemento adicional de *hardware*.

[0533] El paso siguiente hacia una fábrica completamente definida por *software* es la descomposición de la funcionalidad de los controladores de *software* actuales en funciones más detalladas para aprovechar la confiabilidad por función, el escalamiento, la externalización de los datos de estado y la facilidad de administración, como la actualización y el control de versiones, que son beneficios de la ejecución de programas en la nube. Cada una de tales funciones encapsula una parte específica del programa general específico del dominio que conforma la lógica de negocios real que controla cada proceso de fabricación y, de manera ideal, se las puede reutilizar en tales diferentes programas. En el contexto de producción de 5G, la concepción de los programas es que se desarrollen y ejecuten sobre la plataforma de *software* de producción (MSP), que proporciona funcionalidades de uso común como reconocimiento de objetos, control del movimiento o análisis en tiempo real, en forma de función como servicio (FaaS), reutilizando los conceptos, el conjunto de herramientas y la experiencia del sector de IT a escala industrial. El proveedor de la MSP habilita una alta flexibilidad y programabilidad de los dispositivos físicos por medio de componentes que se apilan unos sobre otros y que ofrecen un nivel de abstracción de la realidad cada vez mayor. Tales abstracciones se usan tanto en detección y entrada de datos como en instrucciones, accionamiento y salida de datos.

[0534] Tales conceptos de alto nivel son, por ejemplo, observaciones sintetizadas a partir de la entrada de datos sensoriales de bajo nivel, a menudo combinando información proveniente de diversas fuentes. Por ejemplo, “la

unidad n.º 32 ha llegado a destino” es un disparador que puede calcularse a partir de una triangulación de datos de localización en interiores, una base de datos de destinos y, tal vez, verificación por medio de cámaras. Es probable que cada dato de entrada en bruto se procese primero en un componente específico de un dispositivo de entrada, tal como un sistema de localización o un sistema de reconocimiento de imágenes. Tomando el resultado de estos componentes de alto nivel, se puede establecer una correlación de la ubicación del AGV para contar con coordenadas más precisas. Por último, incluso los componentes de máximo nivel pueden establecer una correlación entre el AGV y la base de datos objetivo y la meta general del sistema. El procesamiento de la entrada se realiza mediante la pila de componentes, cada uno de los cuales eleva el nivel de abstracción un poco más y agrega más contexto.

[0535] De manera similar, las instrucciones de alto nivel son las que se le impartirían a un trabajador humano, tales como “entregar este objeto a aquel robot”, “pintar de blanco” o “perforar 2 orificios aquí”. El procedimiento exacto para llevar a cabo tales instrucciones es entonces calculado por la pila de componentes en sentido descendente, desde la programación de la tarea, la planificación de la trayectoria, el control de motores hasta las instrucciones en bruto a los servomotores.

[0536] Este enfoque finalmente permite la programación de procesos de fabricación mediante conceptos de alto nivel que los humanos comprenden fácilmente, simplificando u ocultando la complejidad de la naturaleza distribuida de las aplicaciones nubificadas por completo. También admite la reutilización y ahorra tiempo de desarrollo, dado que los componentes de bajo nivel son probablemente indiferentes a la aplicación y pueden usarse en muchos contextos, mientras que en el caso de los componentes de alto nivel, es más fácil desarrollarlos para que trabajen con conceptos de alto nivel.

[0537] Tanto al entorno de ejecución como a la plataforma de MSP se les puede agregar el valor proporcionado por los componentes y se los puede

conectar a la red 5G, en especial si forman parte de un paquete junto con soluciones de conectividad, cableadas e inalámbricas, para ofrecer una visión fuerte y concisa de control en el sector. Para que esto suceda, se debe incorporar un ecosistema de proveedores de robótica y de fabricantes que utilice tales componentes. La colaboración en fase inicial es esencial.

[0538] Administración de datos e información

[0539] Para encargarse de todos los datos producidos en una planta industrial, se requiere un sistema de administración de la información. Características importantes para un sistema como tal son que sea distribuido (para proporcionar consistencia y acceso a los datos donde se los necesite), escalable (hacer esto para una o cien máquinas debería tener el mismo grado de complejidad), reutilizable (incorporar la administración de datos de otra planta de fabricación a una instancia existente debería ser simple) y seguro (honrar la confidencialidad y la privacidad, garantizar la integridad de datos, proporcionar medios para la propiedad de los datos y el control de acceso). La tarea de este sistema es recopilar, administrar, almacenar, filtrar, extraer y hallar datos de interés. Claramente, el sistema debe abastecer diferentes tipos de datos (p. ej., series temporales, datos de transmisión, eventos de interés, alarmas, archivos de registro, etc.) con requisitos muy diferentes respecto del tiempo de vida, latencia, almacenamiento y disponibilidad, ancho de banda, etc. Además, debe manejar una combinación de datos confidenciales y abiertos. Los requisitos de almacenamiento para los datos varían, pero se necesita una solución con base en el concepto de una nube distribuida con almacenamiento “seguro” para hacer frente a la amplia variedad de requisitos previstos. El aspecto de la seguridad incluye inquietudes de privacidad e implementación de derechos de acceso, tanto en vuelo (es decir, mientras se transfieren los datos) como en almacenamiento.

[0540] Un abundante conjunto de datos de producción es la base de todo el procesamiento y el análisis posteriores. La recolección de más datos facilita nuevos casos de uso con respecto a la planificación, el control del flujo [de datos] en la producción, una logística eficiente, el mantenimiento predictivo, el uso compartido de información, el control y el accionamiento de máquinas individuales, la detección de anomalías, la respuesta rápida a las alarmas, la distribución de órdenes de trabajo, la supervisión remota, las operaciones cotidianas y mucho más. Cuantos más datos se recopilen, más compleja será la tarea de administrarlos. Para una planta industrial grande, el número total de sensores y actuadores que pueden leerse, monitorearse y controlarse puede exceder fácilmente las 10.000 unidades. La velocidad de muestreo varía muchísimo, pero con el tiempo, la cantidad total de datos recopilados se vuelve sustancial. Incluso encontrar datos de interés tiende a ser problemático.

[0541] La producción suele ser menos estática de lo que parece. Claramente, las variaciones en el producto en relación con forma, material, tamaño, acabado superficial, puntos de perforación, etc., podrían requerir cambios en los entornos o un conjunto levemente diferente de etapas de trabajo. Además, el mismo conjunto de herramientas y máquinas puede usarse para productos completamente distintos en diferentes lotes de producción. Cuando se debe fabricar un nuevo producto, esto podría incluso requerir el montaje de una línea de producción completamente nueva. Las variaciones en producción tendrán impacto en los datos a los que se debe prestar atención con respecto a la operación y el análisis. Como se utilizan nuevos sensores y actuadores, la administración de datos debe poder adaptarse a cambios en las condiciones.

[0542] A menudo, los mismos datos pueden ser útiles para diversos propósitos (p. ej., monitoreo de producción y aseguramiento de la calidad del producto terminado) y, como se analizó anteriormente, los parámetros completamente nuevos resultan de interés cuando hay cambios en la producción. Al recolectar datos de sensores, es beneficioso incluir información

adicional (también denominada metadatos) para uso a futuro. Un ejemplo sencillo de esto es agregar una marca de tiempo a cada lectura de un sensor, algo que no siempre está disponible desde un principio. Otros metadatos útiles son la información sobre la ubicación, el ID del producto, detalles sobre las herramientas utilizadas y/o el número de lote. En general, esta clase de metadatos simplifica la búsqueda y mejora la trazabilidad. Específicamente, puede usarse para filtrar y extraer información en particular que se requiere a efectos de análisis y aprendizaje automático.

[0543] Algunos datos de sensores que se recogen pueden usarse para fines distintos al proceso industrial que se ejecuta en fábrica. Por ejemplo, podrían ser lecturas que se refieren al monitoreo de la condición o el estado de un cierto equipo que se usa en producción, pero cuya propiedad es de otra persona. Al propietario le interesa monitorear el equipo para planificar su mantenimiento y servicio, pero además para recoger datos estadísticos a fin de mejorar futuras generaciones del equipo. Estos datos pueden ser confidenciales y el propietario de la fábrica no debe verlos. Por otra parte, el propietario de la fábrica puede no querer revelar los datos relacionados con la calidad o la cantidad de los productos que salen de la línea de producción. En consecuencia, existe la necesidad de definir la propiedad de los datos y de proporcionar medios para restringir el acceso a estos solo a las partes autorizadas. El sistema de administración de la información debería proporcionar esto y, al mismo tiempo, manejar todos los datos de la misma manera, sin importar su propósito ni a quién pertenecen.

[0544] La Figura 26 ilustra un escenario típico de fabricación. A la izquierda se representar la fábrica, mientras que a la derecha se representa el centro de datos (es decir, la nube central). Herramientas, máquinas y sensores conectados producen datos que se agregan adicionalmente y se reenvían para procesamiento y almacenamiento. Un registro de dispositivos “global” lleva el seguimiento de todos los productores (sensores) y consumidores (actuadores)

disponibles. Las aplicaciones obtienen información sobre dónde buscar los datos necesarios consultando el registro de dispositivos. El almacenamiento se lleva a cabo tanto en el lugar de trabajo como en el centro de datos, al igual que la procedencia (más sobre esto a continuación). Este diseño admite aplicaciones de control en el lugar de trabajo (baja latencia) y fuera de él. Claramente, esta configuración puede replicarse en el caso de que se deban incluir varias plantas de producción.

[0545] La configuración es un ejemplo de una nube distribuida donde los datos se manejan en la fábrica y en la nube central. Con la obvia excepción de la capacidad de recursos disponible, la configuración local y su funcionalidad pueden ser muy similares a la configuración y la funcionalidad correspondientes del centro de datos. Lograr eso simplificará en gran medida la implementación, la operación y la gestión del ciclo de vida de las aplicaciones que se ejecuten en ambas ubicaciones.

[0546] Además de agregar datos, almacenarlos y procesarlos, un sistema de administración de la información también debe manejar la procedencia de los datos. En pocas palabras, este es el proceso de llevar un registro del origen de los datos, su movimiento con el paso del tiempo, quiénes los usan, para qué fin y cuándo se los usa. Mantener registros de estos parámetros favorece la auditoría, el análisis forense, la trazabilidad y la recuperación por haber utilizado series de datos erróneos. La procedencia brinda al administrador del sistema de administración de la información una forma de obtener una vista detallada de las dependencias de datos y de los resultados derivados. Por ejemplo, un sensor fallado o descalibrado podría pasar inadvertido por cierto tiempo si no causa estragos inmediatamente en la producción. Entonces, si los datos del sensor se usan para entrenar un algoritmo de aprendizaje automático, el modelo resultante podría resultar defectuoso, lo que tendrá un impacto negativo en su uso. Con una procedencia adecuada en vigencia, es posible descubrir dónde y cuándo se

usó el modelo potencialmente defectuoso y tomar las medidas apropiadas para mitigar los problemas que esto provoque.

[0547] Con el objeto de simplificar la tarea de los desarrolladores, es importante que la plataforma de administración de la información proporcione una API bien definida para hallar y acceder a todos los datos. Esto se verifica tanto para los datos “sin procesar” del sensor que se recopilan en tiempo real, como para los registros históricos de datos anteriores. En particular, cabe destacar que el modelo de nube distribuida implica que los datos de interés puedan almacenarse en ubicaciones geográficamente diferentes y que su disposición puede variar con el tiempo. Esto surge de diferentes necesidades (p. ej., tolerancia a las variaciones en latencia), consistencia general (p. ej., manejo de fallas en enlaces hacia el centro de datos) y requisitos de disponibilidad a largo plazo. Las aplicaciones que usan los datos no deberían llevar un registro de la ubicación de almacenamiento por sí mismas; la plataforma subyacente de administración de la información hace esto, lo que permite a los desarrolladores concentrarse en cosas más importantes.

[0548] Un prototipo de un sistema de administración de la información está siendo implementado en una de las fábricas de rodamientos de rodillos de SKF en Gotemburgo. Este trabajo es parte del proyecto de investigación 5GEM II que se lleva a cabo entre junio de 2018 y septiembre de 2019. El *software* se basa en proyectos de código abierto (p. ej., Calvin para el manejo del flujo de datos desde la fábrica al centro de datos y Apache Pulsar y VerneMQ para el manejo de mensajería pub/sub), además de código interno patentado. La plataforma de administración de la información es a los datos los que Kubernetes es a los contenedores. Obviamente, no toda la funcionalidad está en vigencia aún, pero la iteramos y actualizamos con frecuencia. El trabajo se hace usando una moderna metodología de desarrollo/integración continuaimplementación continua. Esto implica cambios al código que se someterán a prueba automáticamente, y la implementación en el sistema distribuido puede hacerse

con una sola instrucción. El diseño general está hecho intencionalmente de modo que la mayoría de las actualizaciones del sistema puedan realizarse sin interrumpir a las aplicaciones en ejecución. De este modo, no se debe detener la producción para implementar actualizaciones de *software* en la plataforma. Esta propiedad es particularmente importante en fábrica, ya que las actualizaciones también pueden hacerse por fuera de los intervalos de mantenimiento programados. Por lo general, detener la producción es muy costoso para el fabricante, lo que significa que los intervalos de mantenimiento planificados sean muy escasos y que estén separados en el tiempo tanto como sea posible.

[0549] Una nube distribuida retiene todas las propiedades de una nube central, tales como elasticidad, cómputo a pedido, agrupamiento de recursos, servicios medidos y acceso a la red. Además, la capacidad de llevar el procesamiento más cerca de donde se utilizan sus resultados favorece las soluciones más sólidas, la descentralización y la implementación de casos de uso de baja latencia.

[0550] Con un sistema de administración de la información adecuado en vigencia, los desarrolladores pueden crear nuevas aplicaciones y accede a los datos producidos en la fábrica sin acceso físico a la planta de fabricación y sin conocimiento detallado de cómo se recopilan los datos o dónde se los almacena. Los diferentes tipos de datos se manejan y almacenan en el lugar de trabajo y en el centro de datos. Una API bien definida expone los servicios y tiene en cuenta la búsqueda y el filtrado eficientes según cualquier parámetro y metadato que esté disponible. Los derechos de acceso a los datos pueden definirse según el usuario y/o el rol de dicho usuario. Las características de registro avanzado favorecen las auditorías y la trazabilidad del consumo de los datos recopilados.

[0551] Operaciones y gestión

[0552] El término operaciones y gestión (O&M) hace referencia al hecho de operar y gestionar la red y los dispositivos en una implementación fabril. Sistema de soporte a las operaciones (OSS) hace referencia al *software* que se usa para realizar esta tarea.

[0553] La planta consiste en maquinaria usada para producir y fabricar artículos. Las máquinas suelen estar organizadas en una línea de montaje a través de la cual los artículos fluyen con o sin intervención humana y dependiendo del nivel de automatización. Las diferentes herramientas y máquinas usadas para la producción pueden o no estar conectadas. Si lo están, por lo general se reúne algún tipo de datos proveniente de la maquinaria, ya sea para el mantenimiento predictivo de las herramientas y la maquinaria misma como ayuda en el proceso de aseguramiento de la calidad de los artículos en fabricación. A esto se lo denomina la parte de tecnología operativa (OT) de la planta.

[0554] La mayoría de las empresas, incluidas las fábricas, también han implementado infraestructura de comunicación para la fuerza laboral, lo que comprende comunicaciones inalámbricas y cableadas (por lo general, Ethernet y wifi), computadoras, teléfonos móviles, etc. Estos equipos se usan para acceder a intranet y a internet, al correo electrónico y a otras aplicaciones de oficina típicas. A esto se lo denomina la parte de tecnología informática (IT) de la planta.

[0555] Se ha identificado a la fusión de OT e IT como una tendencia emergente. En la práctica, esto implica una sola interfaz para operar y administrar los dispositivos, la conectividad, los datos generados por estos dispositivos y la infraestructura de red en una fábrica. Las preguntas de la investigación en relación con la fusión OT/IT en las fábricas incluyen:

- ¿Qué tipo de protocolos de gestión de dispositivos se usan para OT? ¿Pueden tener una interfaz con el sistema de IT?

- ¿Qué clase de plataforma se necesita para manejar todos los diversos aspectos?

[0556] El concepto del gemelo digital es muy popular en el entorno industrial. Aquí, la idea es llevar los datos reunidos a un modelo de datos digital del activo físico o de toda la fábrica y luego aplicar análisis a los datos para predecir, describir y establecer el comportamiento pasado, presente y futuro del activo o del proceso. Las preguntas de la investigación en torno al concepto de gemelo digital incluyen:

- ¿Cómo se modelan los activos físicos?
- ¿Qué datos es pertinente capturar y durante cuánto tiempo?
- ¿Qué tipo de latencia se requiere para una interacción en tiempo real y cómo proporcionarla?
- ¿Qué clase de modelos se necesitan para predecir los futuros posibles?
- ¿Dónde realizar el cómputo y qué tipo de funcionalidades de cómputo se necesitan para realizar una predicción significativa?

[0557] Todo esto debe lograrse con un sistema sencillo de usar que aporte más confiabilidad y disponibilidad, que reduzca los riesgos, que baje los costos de mantenimiento y que mejore la producción. Las soluciones en las que un operador expone/delega solo una pequeña porción de su O&M a su cliente pueden ser convenientes. El cliente debería obtener una interfaz simple. Debería ser posible reducir la escala de las soluciones a solo un puñado de dispositivos, de modo que hasta las familias puedan usarlas.

[0558] Por último, la realidad aumentada y la realidad virtual, en conjunto con las ideas de gemelo digital, pueden tener un gran impacto en la administración de redes a futuro en el espacio de fusión de IT y OT. La administración de equipos puede hacerse en forma remota con la sensación de estar presente en el mismo espacio. Además, se puede ofrecer en forma remota

documentación técnica y orientación sobre el uso o la reparación de equipos a una persona en el sitio de trabajo mediante anteojos inteligentes, tabletas, etc.

[0559] Redes sensibles al tiempo

[0560] A continuación, una idea general y una descripción inicial de las redes sensibles al tiempo (TSN), donde el material presentado permitirá tener un buen punto de partida en TSN. También se ofrecen ciertos detalles de la integración 5G-TSN.

[0561] Las TSN se concibieron para mejorar la comunicación Ethernet por cable según IEEE 802.3 a fin de habilitar el soporte para el exigente dominio de las aplicaciones industriales (y otras). TSN significa redes sensibles al tiempo. Es una iniciativa de estandarización en curso de la IEEE a cargo del grupo de trabajo de TSN. Ellos definen TSN como un conjunto de características individuales. La mayoría de las características de TSN son extensiones de la norma IEEE 802.1Q. Una red TSN comprende Ethernet y estaciones finales (a veces también denominadas terminales), cables de Ethernet y puentes (también llamados conmutadores). Un puente de Ethernet se convierte en un puente de TSN si admite un determinado conjunto (no definido) de características de TSN.

[0562] Las diferentes características de la norma TSN apuntan, en general, a lo siguiente:

- cero pérdida de paquetes debido a congestión del búfer (los puentes de Ethernet habituales descartan paquetes si los búferes están llenos);
- pérdida de paquetes extremadamente baja debido a fallas (equipos, errores de bits, plano de control, etc.);
- límites superiores garantizados en latencia de extremo a extremo;
- baja variación en el retraso de paquetes (fluctuación).

[0563] La comunicación en TSN se da en flujos de TSN, a los que también se los puede denominar flujos de datos de TSN. Una característica específica en TSN, para dar un ejemplo, es que los flujos están sujetos a un acuerdo según lo

dispuesto entre los transmisores (estaciones finales llamadas hablantes) y la red hasta los receptores (estaciones finales llamadas oyentes), lo que garantiza transmisiones de baja latencia sin esperas en cola imprevistas.

[0564] A continuación, TSN se presenta desde una perspectiva de alto nivel. Luego se ofrecen detalles técnicos de cómo se vería el interfuncionamiento entre TSN y 5G y cómo determinadas características de TSN pueden admitirse en 5G.

[0565] La estandarización de TSN surgió a una iniciativa de estandarización hallada para definir una norma de comunicación con base en Ethernet para comunicación de audio y video llamada puente de audio y video (AVB). Las TSN se basan en AVB y están mejoradas con características que las hacen adecuadas para uso industrial. Hasta ahora, la comunidad de TSN se concentra en los siguientes casos de uso industriales.

- Comunicación industrial para automatización de fábricas (el primer caso de uso más importante)
  - Enlaces de TSN para áreas de producción (horizontal)
  - Enlaces de TSN del área de producción a la nube (vertical)
  - Comunicación intramáquina
  - TSN para la red troncal de la fábrica
- Comunicación intravehicular (el segundo caso de uso más importante)
- Generación y distribución de energía eléctrica (casos de uso de la red de distribución eléctrica inteligente)
- Automatización de edificios (no se hallaron ejemplos prácticos de esto hasta el momento)
- Fronthauling (según IEEE P802.1CM)

En este documento se aborda el uso de la automatización fabril en la comunicación industrial, si bien algunas de los conceptos y técnicas detallados pueden aplicarse a otros casos de uso.

[0566] La Figura 27 ilustra una arquitectura de red jerárquica en una fábrica. Los enlaces de TSN en el área de producción (horizontal) aparecen en las células de producción y conectan dispositivos o máquinas y controladores. Las áreas de la línea de producción habilitan la conexión entre el dominio de tecnología operativa (OT) y el dominio de tecnología de la información (IT), pero también se usan para conectar células de producción en el área de producción, de ser necesario. En la categorización de TSN que presentamos anteriormente, la primera (OT-IT) se basa, obviamente, en los enlaces de TSN desde el área de producción hacia la nube (vertical), y la última, una vez más, en los enlaces de TSN del área de producción (horizontal). Las TSN que se usan para la comunicación intramáquina son, a la fecha, diferentes del enlace horizontal de TSN del área de producción, ya que esto probablemente sea una red TSN implementada por un único proveedor de máquinas dentro de, por ejemplo, una imprenta o cualquier otra máquina herramienta. Desde una perspectiva de 5G, es menos probable que se deban abordar estos enlaces horizontales. Las TSN para la red troncal de la fábrica se usan en la red de la fábrica/el edificio/la oficina (área de color anaranjado claro). Si se desea comunicación determinística a partir de controladores virtualizados, por ejemplo, se necesita contar con TSN de extremo a extremo hasta el área de producción.

[0567] La comunicación por TSN es otro tipo de servicio de paquetes que está con base en una red de paquetes de Ethernet de mejor esfuerzo, aunque mejorada mediante características de TSN. Se utiliza un acuerdo entre los dispositivos involucrados en la comunicación para lograr el determinismo. El acuerdo limita al transmisor de un flujo de TSN a un cierto ancho de banda y la red, a cambio, reserva el ancho de banda necesario, los mecanismos de almacenamiento en búfer de reserva y los recursos de planificación. Los recursos solo pueden ser usados por el flujo específico. En comparación con otros servicios de paquetes, tales como CBR (velocidad binaria constante) y los

servicios de paquetes del tipo de mejor esfuerzo, pueden hacerse ciertas observaciones.

[0568] Un servicio de paquetes de mejor esfuerzo es, quizás, el más conocido, en donde los paquetes se reenvían y entregan lo antes posible. No hay garantías, sin embargo, sobre la entrega oportuna de los paquetes. La latencia de extremo a extremo y la variación de la latencia son bastante grandes. Así, se prefiere un lenguaje estadístico para expresar el desempeño general (pérdida, latencia de extremo a extremo y fluctuación). La parte superior de la Figura 28 muestra el desempeño típico de una red de servicio de paquetes de mejor esfuerzo. La cola típica en la latencia de extremo a extremo causa problemas en la mayor parte de los casos de uso industriales.

[0569] Por el contrario, el servicio de paquetes CBR ofrece latencias fijas y fluctuación (variación de la latencia) cercana a cero, como puede verse en la capa de aplicaciones. CBR se ofrece, por lo general, por multiplexación en el dominio de tiempo; sus ejemplos típicos son las redes SDH (jerarquía digital síncrona) u OTN (redes ópticas de transporte) El desempeño típico de CBR puede verse en la parte media de la Figura 28. Una desventaja de CBR es que es muy poco flexible en cuanto a la forma de compartir los recursos de red. Por lo tanto, es difícil de adaptar a diferentes necesidades de aplicación (por ejemplo, en términos de latencia o ancho de banda), pero, por supuesto, en el contexto industrial los requisitos son diversos y contar con una sola red que sirva a todos ellos es deseable.

[0570] TSN apunta a admitir todo tipo de clases de tráfico (calidad de servicio [QoS] y no QoS) en la misma infraestructura. Por lo tanto, la red TSN se ubica en algún punto intermedio a un servicio de paquetes CBR y uno de mejor esfuerzo, donde la latencia es por lo general mayor en comparación con una red CBR, pero la variación de la latencia y la fluctuación están limitadas: no hay colas. En otras palabras, TSN ofrece la garantía de que la red no tendrá un desempeño por debajo de una latencia de extremo a extremo y una fluctuación

específicamente acordadas, como se ve en la parte inferior de la Figura 28. Estas garantías pueden adaptarse con flexibilidad. La mayoría de las aplicaciones industriales requieren este comportamiento.

[0571] Una característica principal de TSN es el “concepto de flujo”, donde un flujo comprende recursos exclusivos y una API. Un flujo de TSN puede verse como la unidifusión o la multidifusión de una estación final (hablante) a otra estación final (oyente) o a muchas de ellas en una red con capacidad TSN. Cada flujo tiene un StreamID exclusivo. El StreamID se crea a partir de la dirección MAC de origen del hablante y de un identificador de flujo exclusivo. Los puentes usarán el StreamID más el campo de código de prioridad (PCP) y la ID de VLAN (VID) incluida dentro de una etiqueta de VLAN 802.1Q en el encabezado de Ethernet para el tratamiento interno de tramas. En ese sentido, los flujos de TSN son tramas de Ethernet 802.1Q estándar a las que se les otorga más privilegios que a las tramas comunes no TSN de Ethernet. Antes de que un hablante comience a enviar un paquete en un flujo de TSN, el flujo específico tiene que estar registrado en la red y se deben configurar determinadas características de TSN. Junto a los flujos de TSN con QoS garantizada, el tráfico de mejor esfuerzo también puede ser enviado en una red TSN por pares, pero, por supuesto, sin garantías de QoS o con garantías limitadas. Los flujos de TSN se envían en dominios de TSN. Un dominio de TSN puede ser visto como un dominio continuo, donde todos los dispositivos están en sincronización y conectados continuamente mediante puertos con capacidad TSN. Un dominio de TSN se define como una cantidad de dispositivos administrados en general; el agrupamiento es una decisión administrativa.

[0572] La gestión de flujos se define en IEEE 802.1Qcc, Qat, Qcp y CS. Define la detección de la red, la gestión de recursos de red y las características de TSN en una red, como por ejemplo la creación de los canales protegidos requeridos para los flujos de TSN. Además, la gestión de flujos ofrece a los usuarios y a los administradores de redes funciones para monitorear, informar y

configurar las condiciones de red. En TSN, hay tres modelos de configuración: distribuida, centralizada y completamente centralizada. En los últimos dos modelos se usa un controlador central de red (CNC), similar a un controlador de redes definidas por *software* (SDN), para administrar los conmutadores de TSN. En el modelo completamente centralizado, se usa un controlador central de usuario (CUC) por anticipado como interfaz central para estaciones finales y usuarios. En el modelo distribuido no existe el control central, por lo tanto, los puentes y las estaciones finales deben negociar los requisitos de TSN. En este modelo, no son aplicables algunas características de TSN que requieren una instancia central para su coordinación. Muchas características de TSN también apuntan a un protocolo común y a un estándar de lenguaje para las interacciones entre CNC/CUC, estaciones finales y puentes (es decir, YANG, Netconf, Restconf, LLDP, SNMP, etc.).

[0573] La sincronización temporal se usa para establecer una referencia temporal común que se comparte entre todas las entidades de la red habilitadas para TSN. La sincronización temporal se basa en el intercambio de paquetes que contienen información temporal según IEEE 802.1AS-rev, que define algunas correcciones al protocolo de tiempo de precisión (PTP), ampliamente utilizado en el contexto industrial, al que luego se lo denomina gPTP (PTP generalizado). gPTP es una versión avanzada de PTP en el sentido de que también admite implementaciones de reloj maestro redundantes, además del establecimiento de varios dominios de tiempo en una sola red PTP y algunas otras mejoras y también restricciones al PTP más amplio. Lo que gPTP busca es lograr una precisión del orden del submicrosegundo en la sincronización. La sincronización del tiempo de precisión se usa para algunas características de TSN (por ejemplo, IEEE 802.1Qbv) y también se proporciona a aplicaciones que dependen de una noción común de tiempo (como el control de movimiento distribuido).

[0574] El control de flujos, que permite la baja latencia limitada, especifica cuántas tramas pertenecientes a un flujo de TSN establecido se manejan en los puentes habilitados para TSN. Aplica reglas para un reenvío eficiente y forma colas de tramas apropiadamente según sus clases de tráfico asociadas. Todos los controles de flujo existentes siguen principios similares, concretamente, se asocian determinados privilegios con los flujos de TSN mientras las tramas que no corresponden a flujos de TSN no priorizados pueden ponerse en cola y retrasarse. Las características pertinentes para redes industriales son IEEE 802.1Qbv (introduce el “mecanismo de cola activado por tiempo”, es decir, el manejo de las tramas coordinado por el tiempo) e IEEE 802.1Qbu más IEEE 802.3br para apropiación de tramas. 802.1Qbv depende de la sincronización del tiempo de precisión y solo es aplicable si se usa CNC para programar el reenvío de tramas en puentes de modo similar a la manera de una multiplexación por división de tiempo. Con Qbv, un CNC le indica exactamente a cada puente a lo largo de una ruta en la red cuándo reenviar tramas. Una alternativa a Qbv es el modelado con base en créditos (802.1Qav) que se origina a partir de AVB, probablemente no utilizado en casos de uso industriales estrictos dado que no es determinístico. Una característica adicional llamada modelado de tráfico asíncrono (802.1Qcr) está en fase inicial de desarrollo. Un argumento en contra de Qbv, que tal vez sea la característica más apta para lograr límites de latencia garantizados, es la complejidad que requiere en lo que respecta a planificación y sincronización temporal. Qbv y la precedencia de tramas (Qbu y br) también podrían usarse por separado o combinadas.

[0575] La integridad de flujos es importante para brindar ultraconfiabilidad. Además de entregar paquetes con latencia y fluctuación ultrabajas, los flujos de TSN deben entregar sus tramas independientemente de las condiciones dinámicas de la red, incluidos los errores de transmisión, los daños físicos y las fallas en los enlaces. La integridad de flujos proporciona redundancia de rutas, selección multirruta, y además filtrado y regulación de colas. Una característica

principal, por consiguiente, es IEEE 802.1CB, que incluye replicación de tramas y redundancia de eliminación (FRER).

[0576] Un resumen visual de las características de TSN descritas anteriormente se ofrece en la Figura 29.

[0577] El interfuncionamiento entre 5G y TSN se analiza aquí. Dado que ambos sistemas ofrecen diversas formas para garantizar la QoS y para la administración de redes, se requieren nuevas soluciones. La idea básica según algunas de las técnicas descritas aquí es que el sistema 5G (5GS) se adapte a la configuración de red de la red TSN. Cabe destacar que la estandarización de TSN en curso define un conjunto de características y no todas ellas tienen que ser admitidas en cada caso de uso. Todavía no se anunció qué conjunto de características de TSN son relevantes para cuáles casos de uso. Una iniciativa en curso para abordar este asunto es el proyecto conjunto IEC/IEEE 60802: “Perfil de TSN para automatización industrial”. Está en desarrollo y se actualiza frecuentemente. Su publicación está planificada para 2021.

[0578] Ethernet en tiempo real es una de las tecnologías de comunicación cableadas establecidas para aplicaciones verticales. En el caso de las tecnologías de comunicación inalámbricas, 3GPP TS 22.104 especifica los requisitos del sistema 5G para admitir Ethernet en tiempo real. Cuando algunos sensores, actuadores y controladores de movimiento se conectan mediante un sistema 5G y otros [dispositivos] se conectan mediante Ethernet industrial (es decir, en tiempo real), la interconexión entre Ethernet en tiempo real y 5G se logra usando UE de puerta de enlace conectados a conmutadores de Ethernet o si un dispositivo se conecta directamente a una red de datos mediante un adaptador de Ethernet.

[0579] Los requisitos potenciales de referencia del sistema son:

- El sistema 5G deberá admitir las funciones básicas de puente de capa 2 de Ethernet como reconocimiento de puentes y manejo de la difusión.
- El sistema 5G deberá admitir y reconocer las VLAN (IEEE 802.1Q).

- El sistema 5G deberá admitir la sincronización del reloj definida por IEEE 802.1AS entre los enlaces de Ethernet con base en 5G con Ethernet del tipo de sesión de PDU.
- El sistema 5G deberá admitir TSN según lo definido por IEEE 802.1Q, p. ej., IEEE 802.1Qbv (planificación con reconocimiento del tiempo).
- El sistema 5G deberá admitir la coexistencia del tráfico crítico en tiempo real luego de una programación con reconocimiento del tiempo y el tráfico de menor prioridad no TSN.

[0580] Una red TSN consiste en cuatro tipos de componentes: puentes, estaciones finales, controladores de red y cables (aviso menor: lo habitual en contextos industriales es que las estaciones finales también sean conmutadores para habilitar topologías de conexión en serie y en anillo, por ejemplo). En la mayoría de los casos, una red 5G tendrá que actuar como uno o más puentes TSN si se concibe una integración sin inconvenientes con una red TSN. Por ende, en muchos casos, la red 5G tomará parte en la configuración de red TSN como un puente TSN habitual.

[0581] La Figura 30 ilustra una arquitectura de referencia en una red fabril, donde los componentes de TSN se usan en el área de producción y además en las TSN de la red troncal de la fábrica. 5G se usa para reemplazar la conexión del área de producción a la nube (vertical) (5G para enlaces verticales TSN). En general, un área de producción TSN como la que se ilustra en la Figura 30 podría ser, al menos, una sola estación final con capacidad TSN sin ningún conmutador de TSN. El hablante y el oyente o los oyentes podrían aparecer en ambos lados (UE y UPF) de la red 5G. La red 5G se usa para conectar o fusionar ambos dominios TSN. Los puntos de acceso inalámbricos o estaciones de base 5G pueden usarse para conectar dominios TSN. En la Figura 30, se implementan un CUC y un CNC del lado de la red troncal de la fábrica, aunque bien podrían implementarse en el área de producción, por ejemplo como parte de una red TSN intramáquina.

[0582] Conectar dos dominios TSN en la misma área de producción (5G para enlaces TSN horizontales) es un escenario posible. En este caso, el 5GS reemplaza un solo salto en el área de producción. Como NR actualmente no admite una funcionalidad de dispositivo a dispositivo (D2D), esto sería una conexión de dos saltos (UE A - gNB/centro - UE B) en 5G.

[0583] En el caso de TSN usado dentro de las máquinas (comunicación intramáquina), un interfuncionamiento con 5G tiene evidentemente menor relevancia, como se presentó anteriormente. Es probable que dos nodos dentro de una máquina (posiblemente metálica) no dependan de una conexión central a una estación base 5G para comunicación inalámbrica. Un típico ejemplo es una imprenta, donde los diferentes motores deben controlarse con mucha precisión para lograr un resultado exacto.

[0584] Una opción adicional es que un dispositivo 5G anterior (es decir, un dispositivo que no admita la característica de TSN, o quizás ni siquiera un dispositivo de Ethernet) se conecte a un 5GS que esté conectado a una red TSN de la red troncal de la fábrica. Como el dispositivo 5G no reconoce ninguna característica de TSN ni es capaz de admitirlas por sí mismo, 5GS podría actuar como un terminal virtual que configura las características de TSN en representación del dispositivo 5G para poder comunicarse con un extremo TSN con QoS continua de extremo a extremo. Una función de terminal virtual podría ser parte de una UPF en 5GS. Desde el punto de vista de una red TSN, parece que el terminal virtual es el terminal real: el terminal 5G está encubierto. La Figura 31 ilustra el modo conceptual de trabajar, mostrando cómo los terminales virtuales pueden usarse para conectar dispositivos no TSN a una red TSN mediante 5G. En la figura, “UP” se refiere al “plano de usuario” mientras que “CP” se refiere al “plano de control”. A este concepto se lo puede denominar “puertas de enlace de la aplicación”.

[0585] Algunas características de TSN introducen desafíos a 5GS. A continuación, se pone de relieve cómo ciertas características clave de TSN

podrían ser admitidas por 5GS para habilitar un interfuncionamiento 5G-TSN sin fisuras.

[0586] Tiempo de referencia en toda la red (IEEE 802.1AS-rev)

[0587] En TSN, el tiempo de referencia es suministrado por el protocolo de sincronización IEEE 802.1AS-rev que permite que los relojes locales en las estaciones finales y los conmutadores se sincronicen entre sí. Más específicamente, el llamado protocolo de tiempo de precisión generalizado (gPTP) descrito en ese documento emplea una transferencia de tiempo salto por salto entre los diferentes dispositivos con capacidad TSN de la red. El protocolo admite el establecimiento de diversos dominios de tiempo en una red TSN y una configuración de reloj maestro redundante, además de otras características. Un 5GS debería poder participar en los procesos de gPTP, lo que habilitaría las mismas funcionalidades de precisión de reloj y de sincronización que en TSN. Los procesos de gPTP siempre deben ejecutarse periódicamente para compensar derivas de reloj. La información del reloj recibida por el 5GS por cable desde un reloj maestro en la red TSN tiene que ser enviada por aire desde una estación base (BS) a un UE, o tal vez en la dirección contraria. En la actualidad, se analizan diferentes opciones sobre cómo lograr eso y es un tema en desarrollo en la estandarización. A continuación, y en general, un reloj maestro es un dispositivo que porta un reloj fuente usado para gPTP.

[0588] Un simple ejemplo de la sincronización temporal de TSN a lo largo de una red 5G se ilustra en la Figura 32. La señal de tiempo de un reloj maestro se recibe en el 5GS del lado de la UPF y una BS la transmite por el aire. El UE reenvía la señal de tiempo que recibe del BS hacia el dispositivo 1 (“Dev 1” en la figura). El dispositivo 1 podría necesitar la señal de tiempo del reloj maestro para poder comunicarse con el dispositivo 2 (“Dev 2” en la figura).

[0589] Internamente, el 5GS podría usar cualquier señalización no relacionada con gPTP para transportar la señal de tiempo de los relojes

maestros. En ese caso, los puntos de entrada en el 5GS (en el UE y la UPF [función del plano de usuario]) tienen que actuar como esclavos de gPTP. Se sincronizan solos con el reloj maestro a partir de las señales de gPTP que llegan y reenvían esa noción de tiempo en la RAN. Por supuesto, los requisitos de precisión en la sincronización temporal se definen según la aplicación y deben ser satisfechos. En la versión 15 de LTE se ha introducido un mecanismo de señalización para una sincronización temporal con precisión del orden del submicrosegundo; esto podría reutilizarse en NR.

[0590] En casos de uso industriales, admitir diversos dominios de tiempo podría ser relevante, como se representa en las Figuras 33 y 34. Un dominio de tiempo podría ser uno global, tal como el tiempo universal coordinado (UTC). Este dominio de tiempo podría ser usado por las aplicaciones para registrar determinados eventos en una base de tiempo global. Más aún, podrían usarse dominios de tiempo adicionales con base en relojes locales, es decir, relojes con base en un marco temporal arbitrario y que no tienen instante inicial determinado ni definido (p. ej., un reloj en un reloj maestro que se inicia con el arranque del dispositivo en lugar de hacer referencia al marco temporal de un reloj global). Este reloj local podría tener mucha más precisión que el reloj global. Se distribuye desde el reloj maestro a algunos otros dispositivos y se usa en la capa de aplicaciones para coordinar acciones sincronizadas con mucha precisión o, por ejemplo, para una comunicación temporizada según lo que se define en 802.1Qbv. Para admitir diversos dominios de tiempo en el 5GS, una forma posible de implementación es establecer un tiempo de referencia común entre todos los gNB y UE, por ejemplo, usando el marco temporal de UTC y luego, basándose en eso, transferir señales de dominios de tiempo individuales en el 5GS solo a las estaciones finales que requieran tal dominio de tiempo específico. En el caso de la transmisión de señales de tiempo local individuales, es posible usar indicaciones de tiempo a partir del tiempo de referencia común o transmitir periódicamente desplazamientos que hacen referencia al tiempo de referencia

común. Además, también podría ser posible un reenvío de tramas de gPTP hecho de forma transparente a través de la RAN mediante un mecanismo de indicaciones de tiempo similar.

[0591] El concepto de uso de un tiempo de referencia común para admitir varios otros dominios de tiempo en general se ilustra en la Figura 33. En esta figura, el reloj en el dominio de tiempo de 5G representa el tiempo de referencia común, mientras que los relojes en los dominios de trabajo de TSN son relojes locales que tienen que ser reenviados a algunos UE a través del 5GS. Según las marcas de tiempo obtenidas mediante el tiempo de referencia común en UE y UPF, sería posible corregir los tiempos dentro de los paquetes gPTP (pertenecientes a un reloj de dominio de trabajo de TSN) para dar cuenta de la variación en los tiempos de transmisión en el 5GS. Solo se debería transportar a través del 5GS un subconjunto de todas las tramas de gPTP que llegan al punto de entrada, como por ejemplo las tramas Announce (configuración) y Follow-up (transporte de marcas de tiempo). Otras tramas podrían consumirse en el punto de entrada del 5GS y no necesitarían ser reenviadas. En el punto de salida, el 5GS tendría que actuar como un reloj maestro de gPTP en cualquier caso. Para detectar y diferenciar los dominios de tiempo, puede usarse el campo domainNumber del encabezado de gPTP de cada trama. Se requieren ciertas iniciativas para identificar qué UE debe estar sincronizado con cuál dominio de tiempo. Una actividad de investigación reciente ha abordado este asunto.

[0592] En la Figura 33, la función de aplicación (AF) en el 5GS se usa como interfaz hacia el CNC en la red TSN. En una forma posible, el CNC podría proporcionar información al 5GS sobre cómo deben establecerse los dominios de tiempo, es decir, qué UE necesita cuál señal de dominio de tiempo.

[0593] Puertas de transmisión temporizadas (IEEE 802.1Qbv)

[0594] La característica IEEE 802.1Qbv de TSN proporciona una transmisión programada del tráfico controlada por puertas de transmisión. Cada

puerto de salida en un puente de Ethernet está equipado con hasta ocho colas y cada cola cuenta con una puerta separada. Esto se ilustra en la Figura 35.

[0595] El tráfico de entrada se reenvía a la cola al puerto de salida al que está destinado; la cola de salida es identificada, por ejemplo, por el punto de código de prioridad (PCP) en un campo VLAN de encabezado de la trama. Se establece un ciclo regular (“ventana periódica”) para cada puerto; en cualquier momento en particular en esa ventana, solo determinadas puertas están abiertas. Así, solo determinadas clases de tráfico pueden transmitirse. El CNC se encarga de la coordinación de la cola. El CNC reúne información sobre la topología, los flujos y también información sobre retrasos individuales de todos los conmutadores, y crea una lista de control de puertas (GCL). La GCL controla la temporización de la apertura y el cierre de las colas en cada conmutador, pero no el orden de las tramas en la cola. Si el orden de las tramas en la cola, es decir, el estado de la cola, es no determinístico, el comportamiento oportuno de los dos flujos puede oscilar y dar lugar a fluctuación para toda la transmisión de extremo a extremo. Al abrir y cerrar las puertas en una forma coordinada en el tiempo, es posible lograr una latencia determinística en toda una red TSN, incluso si hay tráfico indeterminístico del tipo de mejor esfuerzo en la misma infraestructura. El tráfico de mejor esfuerzo es simplemente retenido mediante el cierre de su cola y dejando pasar el tráfico con prioridad de otra cola. Es importante mencionar que una entrega oportuna no significa simplemente no demorarse en enviar una trama de un puente al siguiente, sino que también implica la prohibición de enviarla demasiado temprano, ya que esto podría dar lugar a una congestión en el búfer en el siguiente salto.

[0596] El 5GS debería poder transmitir las tramas de la manera que la norma 802.1Qbv prevé, es decir, según una GCL creada por un CNC en caso de que el 5GS actúe como uno o varios conmutadores de TSN, visto desde la perspectiva de la red TSN. Esto implica mantener lapsos de tiempo específicos para la entrada y la salida del tráfico de TSN en el UE y la UPF respectivamente.

Por eso, la transferencia de datos en el 5GS debe proceder dentro de un presupuesto de tiempo específico para asegurarse de que los paquetes se reenvíen en el momento configurado (ni antes ni después) al siguiente nodo de TSN, tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente. Como la mayor parte de la latencia del 5GS se agregue probablemente en la RAN, parece razonable usar la información de temporización proveniente de un CNC en los gNB para mejorar la planificación de los recursos de radio. Se podría aprovechar la información sobre temporización de las transmisiones según la planificación de Qbv para una planificación eficiente de recursos radioeléctricos en una BS mediante mecanismos como concesiones configuradas y planificación semipersistente. Como una BS de cualquier modo necesita tener reconocimiento del tiempo para reenviar la señal de tiempo a los UE, tal vez podría tener que conocer los programas de transmisión por anticipado. El mecanismo Qbv garantiza que las tramas lleguen al 5GS desde la red TSN con mínima fluctuación.

[0597] La función de aplicación (AF) en el 5GS podría ser una opción para establecer una interfaz con el CNC. Allí, podría anunciarse una topología; además, podrían suministrarse cifras de latencia al CNC como si el 5GS fuese un conmutador común de TSN o cualquier topología de conmutadores de TSN. La AF luego podría aceptar un cronograma del CNC y traducirlo en parámetros significativos para el 5GS a fin de admitir la espera en cola activada por el tiempo que ocurre en la red TSN externa. Es importante comprender que, en la forma actual en que se especifica un CNC, solo aceptará números fijos para definir el retraso que se agrega a través de un conmutador de TSN típico. Por consiguiente, se requieren nuevos métodos para permitir también que el 5GS sea un conmutador de TSN más “flexible” en relación con los números de latencia que se deben informar al CNC.

[0598] Una forma de lograr una entrega oportuna de paquetes implicaría el uso de búferes de retransmisión en los puntos de salida de la red 5G (es decir,

en un UE y la UPF para enlace descendente o enlace ascendente). Esos búferes de retransmisión necesitan tener reconocimiento del tiempo y del cronograma utilizado para Qbv y especificado por el CNC de la red TSN. El uso de búferes de retransmisión es una manera común de reducir la fluctuación. En principio, para un enlace descendente, por ejemplo, el UE o cualquier función posterior al UE retendrá los paquetes hasta que llegue un determinado momento en que deba reenviarlos (los “retransmita”). Lo mismo podría ser posible en un enlace ascendente, probablemente en la UPF o después de la UPF como una función adicional para el tráfico de TSN.

[0599] Precedencia de tramas (IEEE 802.1Qbu)

[0600] La modificación IEEE 802.1Qbu, “Apropiación de tramas”, y su compañera IEEE 802.3br, “Memoria y parámetros de administración para el tráfico expreso intercalado” agregan la funcionalidad de interrumpir una transmisión de tramas para transmitir una trama de mayor prioridad. Como no tienen que esperar que la transmisión de menor prioridad finalice por completo, cualquier trama expresa tiene una latencia más corta. Los ocho niveles de prioridad se dividen en dos grupos: expreso y apropiable. Las colas asignadas a los niveles de prioridad pertenecientes al grupo expreso se denominan colas expresas. La transmisión de la trama que fue apropiada se reanuda luego de que termina el tráfico expreso, y el receptor puede rearmar dicha trama a partir de sus fragmentos.

[0601] La red 5G ya admite técnicas de apropiación con los mecanismos existentes. No resulta evidente aún si se necesita una iniciativa adicional para admitir por completo la apropiación de tramas. Cabe destacar que hay una diferencia importante entre la apropiación de tramas según IEEE y las técnicas de apropiación de 5G. La apropiación de tramas según IEEE implica solamente la interrupción de la transmisión y la continuación de la transmisión de la trama

que fue apropiada después del reenvío de las tramas expresas. No existe retransmisión.

[0602] Replicación de tramas y eliminación a efectos de confiabilidad (FRER) (IEEE 802.1CB)

[0603] La norma IEEE 802.1CB introduce procedimientos, objetos administrados y protocolos para puentes y sistemas finales que proporcionan identificación y replicación de paquetes para una transmisión redundante. Uno de estos procedimientos es la replicación de tramas y eliminación a efectos de confiabilidad (FRER), que se proporciona para aumentar la probabilidad de que un paquete dado se entregue: en caso de que un conector de Ethernet se elimine por algún motivo o de que se corte un cable accidentalmente, la comunicación debería continuar.

[0604] La Figura 36 ilustra algunas de las características básicas de FRER. Algunas de las características importantes de FRER son:

- Anexar números de secuencia a los paquetes que se originan a partir de una fuente o que provienen de un flujo particular.
- Los paquetes se replican según la necesidad/configuración exacta. Esto crea dos (o más) flujos de paquetes idénticos que atravesarán la red.
- En puntos específicos de la red (por lo general cerca del receptor o en él), los paquetes duplicados se eliminan.
- Se admiten configuraciones complejas de modo que el mecanismo puede tolerar fallas en diversos puntos de la red.

[0605] Además, un 5GS podría tener que admitir redundancia de extremo a extremo según se define en FRER para TSN, por ejemplo, mediante conectividad dual a un solo UE o también dos sesiones de PDU a dos UE implementadas en el mismo dispositivo industrial (puede llamarse “UE gemelos”). De cualquier modo, la redundancia en la 5GS podría no basarse exactamente en los mismos principios que una red TSN (lo que implica

redundancia física completa de extremo a extremo mediante equipos separados). Los últimos dependen en enlaces cableados fijos, mientras que 5G depende de un entorno radioeléctrico dinámico. Aun así, la redundancia definida por FRER apunta a las fallas en el equipo (tales como un error en un gNB que da lugar a una pérdida de conexión, etc.), pero obviamente también ayuda a superar la influencia de las condiciones radioeléctricas cambiantes y las pérdidas de conexión debido a los traspasos.

[0606] Si se usan “UE gemelos”, se los debe conectar a dos BS en todo momento para admitir redundancia completa y, en el caso de un traspaso, no realizar ambos a la vez ni tampoco al mismo BS.

[0607] Está abierta la discusión sobre si se debe implementar una redundancia física en el 5GS o si el tráfico puede transportarse, por ejemplo, sobre una sola función de plano de usuario (UPF) o el *hardware* de servidor respectivamente. Si, por ejemplo, algunas funciones de 5GS son tan confiables que no es necesario implementarlas de manera redundante, entonces podría ser suficiente con usar redundancia física en algunas partes del 5GS.

[0608] Se desarrollaron algunas invenciones para describir cómo podría admitirse esta redundancia de tipo FRER en 5GS, tanto en la RAN como en el núcleo. Como punto de configuración para la redundancia, también sugerimos la función de aplicación (AF). El 5GS podría anunciar diferentes rutas redundantes a la red TSN e internamente en el 5GS se podría admitir la redundancia de un modo que resulte suficiente, con o sin redundancia física de determinados componentes. Así, la interpretación real de redundancia por parte de 5G puede ocultarse de la definición de redundancia de CNC/TSN.

[0609] 5G y TSN - Configuración de red

[0610] En TSN, la extensión IEEE 802.1Qcc admite la configuración de ejecución y la reconfiguración de TSN. Al principio, define la interfaz de red de usuario (UNI). Esta interfaz habilita al usuario a especificar requisitos de flujo sin

tener conocimiento de la red, lo cual hace que la configuración de red sea transparente para el usuario. Por supuesto, esto es también relevante para lograr un comportamiento de enchufe activo (plug-and-play), ya que es común para redes domiciliarias y de oficina, pero no especialmente común en redes de Ethernet industrial actuales.

[0611] Hay tres modelos que habilitan esta transparencia. Específicamente, el modelo completamente distribuido, donde los requisitos de flujo se propagan a través de la red, desde el hablante hacia el oyente. Allí, la UNI se sitúa entre una estación final y su conmutador de acceso. El modelo completamente distribuido se ilustra en la Figura 37, donde la flecha compacta representa interfaces de UNI para el intercambio de información de configuración de usuarios entre los hablantes, los oyentes y los puentes. La flecha punteada en la figura representa un protocolo que transporta información de configuración de red de red/usuario de TSN, además de información adicional de la configuración de red.

[0612] El modelo de red centralizada/usuario distribuido introduce una entidad, llamada configurador de red centralizado (CNC), con completo conocimiento de todos los flujos en la red. Todos los mensajes de configuración se originan en el CNC. La UNI sigue ubicada entre la estación final y el conmutador de acceso, pero en esta arquitectura, el conmutador de acceso se comunica directamente con el CNC. La Figura 38 representa el modelo de red centralizada/usuario distribuido.

[0613] Por último, el modelo completamente centralizado permite que una entidad, el configurador de usuario central (CUC), recupere las funcionalidades de la estación final y configure las características de TSN en las estaciones finales. Aquí, la UNI se encuentra entre el CUC y el CNC. Este modelo de configuración podría ser el más adecuado para los casos de uso de fabricación, en donde el oyente y el hablante requieren la configuración de una cantidad significativa de parámetros. El CUC establece una interfaz con las estaciones

finales y las configura, mientras que el CNC sigue interconectando puentes. El modelo completamente centralizado se ilustra en la Figura 39. El siguiente análisis ofrece más detalles sobre el modelo completamente centralizado, ya que probablemente sea el más adecuado para los casos de uso de fabricación.

[0614] CUC y CNC

[0615] CUC y CNC, en el modelo completamente centralizado, son parte de un agente de configuración (p. ej., un PLC en un contexto de automatización de fábricas) que ejecuta ambas tareas, como se muestra en la Figura 40, que ilustra un agente de configuración que consiste en CUC y CNC. (En la figura, “SW” hace referencia a un conmutador, “ES” a una estación final y “UNI” a una interfaz de red de usuario). La norma IEEE 802.1Qcc no especifica protocolos que deban usarse entre CUC y CNC, como se muestra en la Figura 40. OPC UA (arquitectura unificada de comunicaciones de plataforma abierta) podría ser una opción posible para la interfaz entre CUC y las estaciones finales, y Netconf entre puentes y CNC. En el caso del establecimiento de flujos de TSN, un CUC elevará una solicitud de unión al CNC, como se representa en la Figura 41, que muestra la interacción entre CNC y CUC.

[0616] La comunicación entre el hablante y el oyente se produce en flujos como se presentó anteriormente. Un flujo tiene ciertos requisitos en lo que respecta a velocidad de datos y latencia impuestos por una aplicación implementada en el hablante y en el oyente. Las características de configuración y administración de TSN se usan para configurar el flujo y garantizar sus requisitos en toda la red. El CUC recoge los requisitos de flujo y las funcionalidades de la estación final a partir de los dispositivos y se comunica directamente con el CNC. La Figura 42 muestra el diagrama de secuencias entre las diferentes entidades para llevar a cabo una configuración de flujos de TSN.

[0617] A continuación se indican los pasos para configurar un flujo de TSN en la red TSN en el modelo completamente centralizado:

1) El CUC puede tomar una entrada de, por ejemplo, una aplicación industrial o una herramienta de ingeniería (p. ej., un PLC) que especifica, por ejemplo, los dispositivos diseñados para intercambiar flujos sensibles al tiempo.

2) El CUC lee las funcionalidades de las estaciones finales y de las aplicaciones en la red TSN, lo que incluye el periodo/intervalo del tráfico de usuario y los tamaños de la carga útil.

3) El CNC detecta la topología de la red física mediante, por ejemplo, LLDP y cualquier protocolo de administración de redes.

4) El CNC usa un protocolo de administración de redes para leer las funcionalidades de TSN de los puentes (p. ej., IEEE 802.1Q, 802.1AS, 802.1CB) en la red TSN.

5) El CUC inicia una solicitud de unión dirigida al CNC para configurar los flujos de TSN. El CNC configurará los recursos de red en los puentes para un flujo de TSN desde un hablante hacia uno o más oyentes.

6) El CNC configura el dominio de TSN.

7) El CNC verifica la topología física y comprueba que las características requeridas sean admitidas por los puentes de la red.

8) El CNC ejecuta la ruta y programa el cómputo de flujos (en caso de que se aplique Qbv).

9) El CNC configura las características de TSN en los puentes junto con la ruta en la red TSN.

10) El CNC devuelve el estado (satisfactorio o falla) de los flujos al CUC.

11) El CUC configura, además, las estaciones finales (el protocolo utilizado para este intercambio de información no está incluido en el alcance de la memoria IEEE 802.1Qcc) para comenzar el intercambio de tráfico de plano de usuario como se definió inicialmente entre los oyentes y el hablante.

[0618] La función de aplicación (AF) del 5GS se percibe como la interfaz potencial para que 5GS interactúe con las funciones de plano de control de TSN

(es decir, CNC y CUC). El AF, según 3GPP TS 33.501, puede influir en el enrutamiento del tráfico, interactuar con el marco de políticas para el control de políticas para los enlaces de 5G y también interactuar con las funciones centrales de 3GPP para proporcionar servicios, los que puede utilizarse para establecer y configurar flujos de TSN en el escenario de interfuncionamiento 5G-TSN. La Figura 43 ilustra la interconexión potencial de la AF con el plano de control de TSN.

[0619] En la Figura 44, se muestra un flujo de secuencias de configuración de FRER en una red TSN. Un CUC fija los valores de los parámetros (NumSeamlessTrees mayor que 1) en un mensaje de solicitud de unión del CUC al CNC. Luego, un CNC calcula los árboles disjuntos según esta entrada en el paso de cómputo de la ruta. Usa objetos de administración de IEEE 802.1CB (FRER) para configurar las rutas redundantes en los puentes.

[0620] Como se presentó en la sección anterior sobre FRER, la AF podría implementar la interfaz que señala el soporte a la redundancia al CNC y que acepta cómputos de rutas redundantes de él. Esto se Esto se ilustra en la Figura 45, que muestra la interacción entre AF, CUC y CNC para configurar FRER. Más aún, la AF también podría usarse para interactuar con el CNC para otras características de TSN más allá de FRER.

[0621] Ahora, TSN está en una fase de investigación y desarrollo. En el mercado ya hay disponibles productos prematuros que solo admiten un subconjunto de las características de TSN enumeradas aquí. Además, la estandarización de TSN está en curso y algunas características no están terminadas todavía. En especial, no queda claro cuáles características serán relevantes para casos de uso industriales y cuáles no lo serán. IEC/IEEE 60802 es una iniciativa en curso para definir un perfil de TSN para uso industrial. Sin embargo, la idea generalizada es que TSN será la tecnología de comunicación más importante para automatización industrial cableada en los años próximos.

[0622] En los párrafos precedentes, se introdujo el concepto de redes sensibles al tiempo (TSN) y se explicó la visión de mejoramiento de la comunicación por Ethernet para aplicaciones industriales. Luego, la presentación técnica proporcionó algunos de los objetivos de desempeño de las TSN que se deben manejar, no solo el tráfico de mejor esfuerzo sino también los flujos de prioridad crítica. Estos flujos críticos requieren latencias con límites muy bajos que TSN debe admitir. Esto permite que TSN habilite nuevos casos de uso en el área de la automatización industrial.

[0623] Luego, se proporcionaron más detalles sobre los principios operativos de TSN para explicar cómo TSN puede ofrecer una comunicación determinística. También se analizó el tema de la integración de 5G con las características centrales de TSN. Esta integración requiere el soporte de un conjunto específico de características de TSN desde una red 5G. Este conjunto de características se explicó y también se describieron técnicas de la invención para habilitar un interfuncionamiento sin problemas entre las dos redes.

[0624] Red principal

[0625] La red principal es la parte del sistema que reside entre la red de acceso radioeléctrico (RAN) y una o más redes de datos (DN). Una red de datos podría ser internet o una red corporativa cerrada. Suponemos que la red principal está completamente virtualizada y que se ejecuta sobre una plataforma de nube. Las tareas de la red principal incluyen: administración de suscriptores; autenticación, autorización y contabilidad de suscriptores; gestión de movilidad; administración de la sesión, incluidos el control de políticas y el modelado de tráfico; interceptación legal y funciones de exposición de la red. La red principal 5G se describe en el documento de 3GPP “System Architecture for the 5G System (5GS),” 3GPP TS 23.501, v. 15.4.0 (diciembre de 2018). La Figura 46 ilustra los componentes de la red principal 5G y su relación con la red de acceso radioeléctrico (RAN) y el UE, como se describe en 3GPP TS 23.501.

[0626] En las implementaciones actuales de banda ancha móvil (MBB), las funciones de la red principal suelen implementarse en grandes nodos que atienden a millones de suscriptores. Los nodos suelen estar localizados en algunos centros de datos centralizados, lo que ofrece economía de escala.

[0627] En 5G, surgirán muchos otros casos de uso aparte de MBB. Estos nuevos casos de uso pueden requerir diferentes implementaciones y funcionalidades distintas. Por ejemplo, en fabricación, la interceptación legal y muchas funciones de cargos y contabilidad pueden no ser necesarias. La movilidad puede estar simplificada o, en el caso de fábricas pequeñas, puede no ser necesaria en absoluto. En cambio, se necesitan nuevas funciones, incluido el soporte para Ethernet nativo o redes sensibles al tiempo (TSN). Preferentemente, las nuevas funciones pueden agregarse rápidamente sin tener que atravesar por un proceso prolongado de normalización.

[0628] Por motivos de latencia, localización y supervivencia de los datos, una red principal para fabricación no necesariamente debe ejecutarse en un gran centro de datos centralizado. En cambio, la implementación de una red principal de pequeña escala en la planta de producción debería ser posible. Lo que se necesita para 5G, y para fabricación, es una red principal que sea flexible en cuanto a su implementación y su funcionalidad.

[0629] Estos asuntos pueden abordarse descomponiendo el plano de usuario de la red principal en una pequeña función llamada microfunción de plano de usuario (µUPF). Según el caso de uso, diferentes conjuntos de µUPF se reorganizan en un servicio de plano de usuario para un suscriptor. El servicio puede cambiar con el tiempo, y los µUPF se alojan en los nodos de ejecución, dependiendo de requisitos de servicio como la latencia. El plano de control de la red principal solicita un servicio describiéndolo en un nivel de abstracción. Un controlador de cadena traduce esta descripción de servicio de alto nivel en un conjunto de µUPF y crea una instancia de tales µUPF en los nodos de ejecución correctos. La Figura 47 ilustra el concepto de controlador de cadena.

[0630] Este enfoque brinda flexibilidad en términos de implementación y funcionalidad y puede usarse como base para casos de uso como la fabricación. Como un aspecto importante de la flexibilidad, este enfoque hace posible implementaciones que pueden reducirse a superficies muy pequeñas.

[0631] Una alternativa de implementación de una red principal para fabricación es una implementación local, posiblemente autónoma, en fábrica. Otra alternativa de implementación es ejecutar partes de la red principal en una nube más centralizada. Tal nube podría localizarse en el sitio de un operador o en algún sitio corporativo. Si la red principal es proporcionada por un operador, entonces tal implementación podría ofrecer un beneficio de economía de escala. Los procesos para este cliente de fabricación podrían estar alojados en nodos que también se usen para otros clientes. Los mismos sistemas de administración pueden usarse para atender a varios clientes.

[0632] En el último tipo de implementación, se deben tomar precauciones especiales en relación con la latencia, la localización de los datos y la supervivencia local. Algunas partes del plano de usuario siempre tendrán que ejecutarse en la nube local de la fábrica a efectos de latencia. Pero el plano de control bien puede ejecutarse de manera remota, dado que la señalización del plano de control de este dispositivo es principalmente para la autenticación (no frecuente y no dependiente del tiempo), la configuración de la sesión (por lo general solo una vez en dispositivos fabriles) y la movilidad entre estaciones de base (lo que puede no ocurrir en absoluto en implementaciones pequeñas).

[0633] La señalización es principalmente para la autenticación (no frecuente y no dependiente del tiempo), la configuración de la sesión (por lo general solo una vez en dispositivos fabriles) y movilidad entre estaciones de base (lo que puede no ocurrir en absoluto en implementaciones pequeñas). La Figura 48 muestra una vista funcional de alto nivel de esta implementación.

[0634] Algunas funciones de la red principal usadas para MBB no se necesitan en fabricación. Esto impone a una red principal para aplicaciones

industriales un requisito de reducción a un mínimo de características. Se necesitarán algunas características nuevas. Las nuevas características que se requerirán son soporte básico para Ethernet (sesiones de PDU en Ethernet nativo) y características más avanzadas de Ethernet (por ejemplo, TSN).

[0635] Debe ser posible diferenciar el tráfico dentro de una fábrica. Por ejemplo, los dispositivos críticos de producción requieren un servicio diferente de los dispositivos de “oficina”. Existen varias técnicas para lograr tal diferenciación, incluidas PLMN, segmentación, APN o encadenamiento de µUPF.

[0636] Se pueden concebir más características en las siguientes áreas:

- Resiliencia
- Redundancia (varios UE)
- Localización de los datos
- Capacidad de acceder a la red de planta desde fuera de la fábrica.

[0637] Las nuevas características para fabricación tendrán impacto en varias interfaces de la red principal. Por ejemplo, los servicios de la red principal fundamentales para la producción requieren una nube fundamental para la producción en donde ejecutarse. O bien, una implementación de red con algunas partes que se ejecutan localmente bajo la responsabilidad del propietario de la fábrica, y algunas partes que se ejecutan bajo la responsabilidad del operador, lo que requerirá cambios en los sistemas de gestión. Más aún, se necesitarán interfaces adicionales de exposición de la red principal si el sistema de la red 5G (principal) se modela como un solo conmutador lógico de TSN.

[0638] Red de acceso radioeléctrico

[0639] En años recientes, las funcionalidades de acceso radioeléctrico celular necesarias para habilitar el soporte para IoT industrial se mejoraron en gran medida. Como resultado, LTE y NR se convirtieron en tecnologías aptas para brindar este soporte. Varias opciones de arquitecturas que admiten una entrega confiable, además de nuevas características de MAC y PHY para

habilitar URLLC se agregaron a las especificaciones en LTE y la versión 15 de NR. Están en estudio mejoras adicionales a URLLC para la versión 16 de NR, con el objeto de lograr una latencia de 0,5 ms a 1 ms y una confiabilidad de 1-10^{-6}. Más aún, las mejorías que apuntan especialmente al soporte de NR RAN al transporte de PDU por Ethernet y a TSN están previstas para la versión 16.

[0640] A continuación se describen las características de LTE y NR URLLC especificadas que se introdujeron en la versión 15 de 3GPP, además de nuestra propuesta de concepto de RAN para la versión 16 de RAN. En primer lugar, se analiza cómo pueden usarse las opciones de arquitecturas de RAN de 5G para admitir la duplicación de datos para lograr mayor confiabilidad. Luego, se describen las características de capa 1 y capa 2 para URLLC, incluidas características en consideración en la actualidad en el trabajo de la versión 16 sobre NR-IoT industrial y URLLC mejorada (eURLLC). A continuación se sigue describiendo cómo LTE y NR entregan referencias de tiempo de precisión a los UE además de cómo funciona la compresión de Ethernet cuando se entregan las PDU de Ethernet a través de la RAN de 5G. Para los casos de uso de IoT industrial, tales como automatización de la fábrica, se debe garantizar la confiabilidad para los datos y los planos de control. Además, se ofrece una descripción de cómo se puede lograr un plano de control confiable y una movilidad confiable. Se describe una hoja de ruta de tecnológica que pone de relieve los conjuntos de características especificados en la versión 15 de LTE y la versión 15 de NR, además de los planificados para la versión 16 de NR, y se concluye con un resumen.

[0641] Opciones de arquitectura de RAN para 5G

[0642] Este apartado presenta la arquitectura de RAN para 5G, sobre la que se basa la descripción posterior de las características para admitir IoT industrial.

[0643] El trabajo de estandarización de 5G en 3GPP concluyó en la versión 15 para NR, para LTE y para multiconectividad, incluidos NR y LTE. La versión 15 es la primera versión para la tecnología de acceso radioeléctrico 5G NR recientemente desarrollada. Además, se han especificado varias características de LTE necesarias para habilitar casos de uso de 5G. Estas nuevas normas de la versión 15 de NR y LTE admiten la integración de ambas tecnologías en diversas variantes, es decir, interfuncionamiento de estaciones de base de LTE (eNB) con estaciones de base de NR (gNB), con red principal de E-UTRA (EPC) y red principal de 5G (5GC), respectivamente. En tales soluciones de integración, el equipo del usuario (UE) se conecta simultáneamente por medio de diferentes portadoras con dos estaciones de base radioeléctrica, de tipo LTE o NR, lo que en general se denomina conectividad dual (DC) y, en el caso de LTE+NR, se denomina EN-DC/NE-DC. Las arquitecturas de red que permiten el interfuncionamiento LTE-NR se ilustran en las Figuras 49, 50 y 51.

[0644] La Figura 49 muestra el plano de control de la RAN para el caso de multiconectividad. En el caso de EN-DC, que se muestra a la izquierda de la figura, el eNB maestro de LTE (MeNB) es el punto de anclaje dirigido al MME de EPC. En este caso, el nodo NR, gNB, está integrado en la red LTE (por consiguiente, denominado en-gNB). En el caso NR-NR DC, que se muestra a la derecha, ambos nodos (maestro y secundario, MN y SN) son del tipo NR gNB, donde el MN finaliza la interfaz de plano de control a 5GC, es decir, a la AMF.

[0645] La Figura 50 muestra la arquitectura de red del plano de usuario, otra vez con el caso EN-DC a la izquierda y el caso NR-NR DC a la derecha. En el plano de usuario, los datos pueden encaminarse directamente al nodo secundario (en-gNB en EN-DC y SN en NR-NR DC) desde la red principal o ser encaminados por medio de MeNB/MN hacia el nodo secundario. Entonces puede haber transmisión/recepción hacia/desde el UE desde ambos nodos.

[0646] La arquitectura del protocolo para el acceso radioeléctrico en LTE y NR es, en gran medida, la misma y consiste en la capa física (PHY), el control de acceso a medios (MAC), el control del radioenlace (RLC) y el protocolo de convergencia de datos por paquetes (PDCP), además del protocolo de adaptación de datos del servicio (SDAP) (para manejo de flujos de QoS desde 5GC para NR). Para proporcionar baja latencia y alta confiabilidad para un enlace de transmisión, es decir, para transportar datos de un portador radioeléctrico por medio de una [onda] portadora, se introdujeron varias características en los protocolos del plano de usuario para PHY y MAC, como veremos más adelante en las secciones respectivas. Más aún, la confiabilidad puede mejorarse por transmisión redundante de datos a través de varios enlaces de transmisión. Para ello, existen opciones del tipo portador múltiple.

[0647] En la Figura 51, se ilustran los diferentes tipos de portador radioeléctrico para NR, en los que se pueden dar por sentados ambos portadores de plano de usuario y plano de control (DRB o SRB). En el grupo de celdas principal (MCG) o el grupo de celdas secundario (SCG), las transmisiones del tipo portador solo se producen por medio del grupo de celdas de MeNB/MN o en-gNB como nodo secundario/SN respectivamente. Se debe tener en cuenta que MCG y SCG están definidos desde el punto de vista del UE. Sin embargo, desde el punto de vista de la red, esos portadores pueden finalizar en un MN o un SN, independientemente del grupo de celdas utilizado.

[0648] En la operación de tipo portador dividido, los datos se dividen o se duplican en PDCP y se transmiten por medio de entidades RLC asociadas con los grupos de celdas MCG y SCG. Además, el portador dividido puede finalizar en MN o SN. Los datos pueden transmitirse al UE por medio de uno o muchos de estos portadores. La duplicación de los datos es posible para un portador MCG o SCG cuando se emplea adicionalmente CA en un grupo de celdas, o utilizando el portador dividido para duplicación entre grupos de celdas, lo que se describe más adelante. Más aún, también se puede introducir redundancia

transmitiendo los mismos datos en varios portadores, p. ej., un portador que finaliza en un MCG y un portador que finaliza en un SCG, mientras que el manejo de esta duplicación sucede en la capa superior, p. ej., fuera de la RAN.

[0649] Facilitadores de URLLC en el plano de usuario

[0650] En el caso de la operación de los servicios de URLLC, es decir, el aprovisionamiento de comunicación de baja latencia y alta confiabilidad, se introdujeron varias características para LTE y NR en la versión 15. Este conjunto de características constituye la base del soporte de URLLC, p. ej., para admitir una latencia de 1 ms con una confiabilidad de 1-10^-5.

[0651] En el concepto de RAN que se describió, estas características de URLLC se toman como referencia, con mejoras desarrolladas para las capas 1 y 2. Por una parte, estas sirven al propósito de satisfacer un objetivo de latencia y confiabilidad más estricto (0,5 ms con 1-10^-6 de confiabilidad), mientras que por otra parte también permiten una operación de URLLC más eficiente, es decir, para mejorar la capacidad del sistema. Estas mejoras también tienen particular importancia en un escenario de TSN, es decir, donde varios servicios de diferentes características de tráfico (en su mayoría periódico) deben recibir una latencia determinística.

[0652] En esta sección, se describen los facilitadores de URLLC para el transporte de datos del plano de usuario, es decir, las características de las capas 1 y 2. Esto es solo una parte del concepto general de RAN; para admitir la integración 5G-TSN a partir de RAN, se consideran aspectos adicionales, tales como la confiabilidad en el plano de control y la movilidad, además del aprovisionamiento de una referencia de tiempo precisa.

[0653] Se debe tener en cuenta que en la mayoría de los casos, las descripciones principales en el presente documento se basan en NR, aunque en ciertos casos se ofrecen descripciones de LTE como referencia, aunque conceptualmente las características también son aplicables a NR. También a

continuación, se proporciona una tabla que identifica si las características están especificadas para LTE/NR. Que se requiera una característica depende de la exigencia específica de QoS de URLLC en lo que respecta a latencia y confiabilidad. Más aún, algunas de las características pueden percibirse no como facilitadoras para URLLC en sí sino como facilitadoras de una materialización más eficiente, a cargo del sistema, de los requisitos de URLLC, es decir, las características que mejoran la capacidad darán lugar a un número mayor de servicios de URLLC que se pueden atender. Por lo tanto, estas características pueden agruparse en líneas generales como características esenciales para baja latencia, características esenciales para alta confiabilidad, y otras, como se indica a continuación:

[0654] Características esenciales para baja latencia:

- Numerología escalable y flexible
- Minintervalos y TTI cortos
- TDD dinámico optimizado para baja latencia
- Tiempo de procesamiento rápido y HARQ rápido
- Preplanificación en enlaces ascendentes con concesiones configuradas (CG) (capa 2)

[0655] Características esenciales para alta confiabilidad:

- MCS y CQI menores para un objetivo BLER inferior

[0656] Además, se tuvieron en cuenta las siguientes características:

- PUCCH corto: p. ej., para solicitudes de planificación (SR) rápidas y retroalimentación de HARQ más rápida
- Apropiación de DL: para la transmisión rápida de tráfico crítico cuando hay otro tráfico en curso
- Mejoras de control de DL: para una transmisión más eficiente y sólida del control de enlace descendente
- Técnicas multiantena: mejoramiento de la confiabilidad

- Mejoras de solicitud de planificación y BSR: para el manejo de diversos tipos de tráfico
- Duplicación de PDCP: para redundancia de portadora, es decir, aún más confiabilidad

[0657] El siguiente análisis repasará estas características según lo especificado en la versión 15, una descripción de mejoras adecuadas para la versión 16, además de descripciones de nuevas características aptas para la versión 16, empezando por la capa 1 y siguiendo por la capa 2.

[0658] Facilitadores de URLLC en el plano de usuario

[0659] En NR, se define un intervalo como 14 símbolo de OFDM y una subtrama es de 1 ms. Por lo tanto, la longitud de una subtrama es la misma que en LTE aunque según la numerología de OFDM, el número de intervalos por subtrama varía. (El término “numerología” hace referencia a la combinación de separación entre portadoras, duración del símbolo de OFDM y duración del intervalo). En frecuencias de onda portadora por debajo de 6 GHz (FR1), se admiten las numerologías 15 kHz y 30 kHz SCS (separación entre subportadoras), mientras que 60 kHz SCS es opcional para el UE. 15 kHz SCS equivale a la numerología de LTE para un prefijo cíclico normal. En el caso de la gama de frecuencias 2 (FR2), se admiten las numerologías 60 y 120 kHz SCS. Esto se resume en la Tabla 8.

μ	$\Delta f = 2^{\mu} \cdot 15[\text{kHz}]$	**Duración del intervalo**	**Gama de frecuencias**	**Admitido para sincronización**
0	15	1 ms	FR1	Sí
1	30	0,5 ms	FR1	Sí

2	60	0,25 ms	FR1 (opcional) y FR2	
3	120	0,125 ms	FR2	Sí

Tabla 8: Resumen de las numerologías admitidas para transmisión de datos en la versión 15 de NR

[0660] La posibilidad de usar diferentes numerologías tiene el beneficio de adaptar NR a una amplia variedad de escenarios diferentes. La separación entre subportadoras de 15 kHz (la más pequeña) simplifica la coexistencia con LTE y ofrece una larga duración del símbolo y también un largo prefijo cíclico, lo cual lo hace adecuado para grandes tamaños de celda. Las numerologías más altas tienen el beneficio de ocupar un ancho de banda más grande, ser más adecuado para velocidades de datos más altas y conformación del haz, tener mejor diversidad de frecuencias y, algo importante para URLLC, tener baja latencia gracias a la corta duración del símbolo.

[0661] La numerología en sí misma puede ser así considerada una característica para URLLC, dado que el tiempo de transmisión es más corto para un SCS alto. Sin embargo, uno tiene que contemplar las limitaciones de señalización por intervalo, tales como monitoreo de PDCCH, funcionalidades del UE y ocasiones de transmisión de PUCCH, que pueden ser un factor limitante, dado que UE tiene menos capacidad por intervalo en altas SCS.

[0662] NR proporciona soporte para los minintervalos. Hay dos tipos de correspondencia admitidos en NR, el tipo A y el tipo B, de las transmisiones PDSCH y PUSCH. Al tipo A generalmente se lo denomina con base en intervalos, mientras que las transmisiones del tipo B pueden denominarse no con base en intervalos o con base en minintervalos.

Las transmisiones por mininintervalos puede programarse dinámicamente y, en el caso de la versión 15:

- Pueden tener 7, 4 o 2 símbolos de longitud para DL, mientras que pueden tener cualquier longitud para UL.
- Pueden comenzar y terminar en cualquier símbolo *dentro* de un intervalo.

Se debe tener en cuenta que la última viñeta significa que las transmisiones no pueden cruzar el límite del intervalo, lo que introduce complicaciones para ciertas combinaciones de numerología y longitud del mininintervalo.

[0663] Los mininintervalos y el TTI corto reducen la máxima demora de coordinación (tiempo de espera para la oportunidad de transmisión) y la duración de la transmisión. Tanto la máxima demora de coordinación y la duración de la transmisión disminuyen de manera lineal con una longitud del mininintervalo y un TTI reducidos, como puede verse en la Figura 52, que muestra la latencia a partir del uso de mininintervalos en comparación con los intervalos “normales” de 14 símbolos OFDM. Los resultados de la Figura 52 se basan en FDD único de enlace descendente, latencia unidireccional, suponiendo capacidad para el procesamiento de 2 UE. En determinados escenarios de área amplia, una mayor numerología no es adecuada (la longitud del CP se acorta y puede no ser suficiente para hacer frente a la dispersión del tiempo de canal) y el uso de mininintervalos es el método principal para reducir la latencia.

[0664] Una desventaja de los mininintervalos es que se debe asignar un monitoreo de PDCCH más frecuente. El monitoreo frecuente puede ser difícil para el UE y además ocupa recursos que de otro modo podrían usarse para datos de DL. En la versión 15 de NR, el número de ocasiones de monitoreo que puede configurarse se verá limitado por el número máximo de decodificaciones ciegas por intervalo y celda de servicio que el UE puede realizar y el número

máximo de elementos del canal de control (CCE) no superpuestos por intervalo y celda de servicio.

[0665] Para mantener la eficiencia para los símbolos de datos, podemos esperar una tara mayor de capa 1 con minintervalos debido a la mayor fracción de recursos utilizados para DMRS. Incluso si solo una fracción de los símbolos de OFDM se usan para DMRS, podría ser un símbolo de, p. ej., 4, en lugar de 2 símbolos de 14 para un intervalo.

[0666] Con base en las desventajas formuladas, se están abordando los siguientes desafíos en relación con los minintervalos en la versión 16 de NR:

- repeticiones de minintervalos (incluidas las repeticiones que cruzan el límite del intervalo);
- reducción de la tara de DMRS;
- funcionalidades de monitoreo de UE mejoradas;
- procesamiento rápido en UE y gNB.

Las soluciones de la versión 16 para estos desafíos se describen a continuación.

[0667] Con respecto a las repeticiones de minintervalos, como el tráfico de URLLC es muy sensible a la latencia, el método de asignación de tiempo más relevante es el tipo B, donde uno puede comenzar una transmisión en cualquier símbolo de OFDM dentro de un intervalo. Al mismo tiempo, los requisitos de confiabilidad pueden dar lugar a configuraciones de adaptación de enlaces muy conservadoras, por lo tanto, pueden seleccionarse MCS inferiores, lo que requiere más RB. En lugar de tener una asignación más amplia en frecuencia, gNB puede decidir asignar una transmisión más larga en el tiempo, lo que puede servir para programar más UE al mismo tiempo. Lamentablemente, debido a restricciones en la versión 15 de NR, la transmisión debe retrasarse en el tiempo si se superpone con el límite del intervalo. La ilustración de este problema se presenta en la Figura 53, que es una ilustración de un largo retraso de alineación debido a la restricción de transmisión a través del límite del intervalo que figura

en la versión 15 de NR. Aquí, el retraso de alineación es un tiempo entre dos eventos: cuando el UE está listo para la transmisión y cuando la transmisión toma lugar al comienzo del próximo intervalo.

[0668] Para ilustrar las ganancias de latencia posibles permitiendo que la planificación de una transmisión cruce el límite del intervalo usando la repetición de minintervalos, observamos las ganancias promedio de latencia comparadas con la planificación de transmisiones que se reducen para caber en un intervalo. Una forma de usar las repeticiones de minintervalos para lograr esto se ilustra en la Figura 54, pero otras formas brindan la misma latencia general.

[0669] Suponiendo que sea equitativamente probable que los paquetes de datos lleguen al UE en cualquier símbolo dentro de un intervalo, las Tablas 9 a 11 muestran el peor caso de latencia para diferentes combinaciones de duraciones de transmisión y SCS para planificación sin cruce de límite y con cruce de límite respectivamente, teniendo en cuenta una concesión configurada por UL y retransmisiones con base en HARQ. Dado que hay 14 símbolos en un intervalo y que, por lo general, apuntamos a muy bajas probabilidades de error por bloque, debemos asegurarnos de que el límite de latencia pueda lograrse cuando los datos lleguen al símbolo que ofrece el peor caso de latencia. Evaluamos la latencia suponiendo una capacidad para 2 UE y que el tiempo de procesamiento de gNB es el mismo que el tiempo de procesamiento en el UE. Suponemos que gNB usa la mitad del tiempo de procesamiento para decodificar, es decir, si el bloque de transporte se decodifica correctamente, se puede entregar a las capas superiores pasada la mitad del tiempo de procesamiento. Como permitir las retransmisiones de HARQ puede disminuir considerablemente la cantidad de recursos utilizados tomando como objetivo un BLER superior en la primera transmisión en que evaluamos la latencia tras la transmisión inicial, la 1.ª, 2.ª y 3.ª retransmisión de HARQ, teniendo en cuenta el tiempo necesario para transmitir PDCCH planificando la retransmisión y el tiempo necesario para

preparar la retransmisión de PUSCH. Suponemos que cualquier retransmisión usa la misma longitud que la transmisión inicial.

[0670] En las Tablas 9 a 14, mostramos el peor caso de latencia para una retransmisión con base en HARQ viable con la versión 15 (transmisión sin cruce del límite del intervalo) y el peor caso de latencia al usar la repetición de minintervalos para permitir el cruce del límite del intervalo. Consideramos un SCS = 15, 30 o 120 kHz y una longitud total de PUSCH de 2 a 14 símbolos, contando cualquier repetición, es decir, un minintervalo de 2 símbolos repetido 4 veces aparece en las tablas como una transmisión de longitud 8. Para que las tablas sean fáciles de interpretar, se enfocan en latencias objetivo de 0,5 ms, 1 ms, 2 ms y 3 ms respectivamente. En las tablas que muestran los peores casos de latencia mediante repeticiones de minintervalos, los casos sombreadas indican cuando uno de estos límites de latencia puede satisfacerse usando las repeticiones de minintervalos, pero no puede lograrse con la versión 15.

ongitud									0	1	2	3	4
ransmisión inicial	,68	,89	,96	,18	,25	,46	,54	,75	,82	,04	,11	,32	,39
retransmisión	,68	,89	,96	,18	,54	,68	,82	,96	,82	,04	,11	,32	,39
retransmisión	,68	,89	,96	,18	,75	,82	,04	,75	,82	,04	,11	,32	,39
retransmisión	,68	,89	,96	,18	,75	,46	,54	,96	,82	,04	,11	,32	,39

Tabla 9: Peor caso de latencia según la versión 15 para 15 kHz SCS

ongitud									0	1	2	3	4
ransmisió	,68	,75	,82	,89	,96	,04	,11	,18	,25	,32	,39	,46	,54

n inicial													
retransmisión	,61	,68	,89	,96	,18	,25	,46	,54	,75	,82	,04	,11	,32
retransmisión	,32	,68	,89	,96	,18	,54	,75	,96	,18	,39	,61	,82	,04
retransmisión	,18	,68	,89	,96	,18	,82	,04	,25	,46	,82	,04	,54	,75

Tabla 10: Latencia para 15 kHz SCS con repeticiones de minintervalos para programas a través del límite de intervalo

ongitud									0	1	2	3	4
ransmisión inicial	,40	,51	,54	,65	,69	,79	,83	,94	,97	,08	,12	,22	,26
retran	,90	,01	,04	,29	,33	,44	,47	,94	,97	,08	,12	,22	,26

smisión													
retransmisión	,40	,51	,54	,94	,97	,29	,33	,94	,97	,08	,12	,22	,26
retransmisión	,90	,01	,04	,65	,69	,94	,97	,94	,97	,08	,12	,22	,26

Tabla 11: Peor caso de latencia según la versión 15 para 30 kHz SCS

ongitud									0	1	2	3	4
ransmisión inicial	,40	,44	,47	,51	,54	,58	,62	,65	,69	,72	,76	,79	,83
retransmisión	,90	,01	,04	,15	,19	,29	,33	,44	,47	,58	,62	,72	,76
retransmisión	,40	,51	,54	,79	,83	,01	,04	,22	,26	,44	,47	,58	,62
retransmisión	,90	,01	,04	,44	,47	,65	,69	,94	,97	,29	,33	,51	,54

Tabla 12: Latencia para 30 kHz SCS con repeticiones de minintervalos para programas a través del límite de intervalo

ongitud									0	1	2	3	4
rans	,44	,46	,47	,50	,51	,54	,54	,57	,58	,61	,62	,64	,65

misión inicial													
retransmisión	,97	,02	,03	,05	,06	,16	,17	,20	,21	,23	,24	,39	,40
retransmisión	,51	,59	,60	,63	,63	,79	,79	,82	,83	,86	,87	,14	,15
retransmisión	,04	,14	,15	,18	,19	,41	,42	,45	,46	,48	,49	,89	,90

Tabla 13: Peor caso de latencia según la versión 15 para 120 kHz SCS

ongitud									0	1	2	3	4
ransmisión inicial	,44	,45	,46	,46	,47	,48	,49	,50	,51	,52	,53	,54	,54
retran	,97	,00	,01	,04	,04	,07	,08	,11	,12	,14	,15	,18	,19

smisión													
retransmisión	,51	,55	,56	,61	,62	,66	,67	,70	,71	,77	,78	,80	,81
retransmisión	,04	,09	,10	,16	,17	,25	,26	,30	,31	,39	,40	,43	,44

Tabla 14: Latencia para 120 kHz SCS con repeticiones de minintervalos para programas a través del límite de intervalo

[0671] En comparación con la planificación de la versión 15, se pueden alcanzar las siguientes ganancias:

- Para un límite de latencia de 0,5 ms, el uso de repeticiones de minintervalos permite 5 casos adicionales. Las ganancias se producen para la transmisión inicial para 30 y 120 kHz SCS.
- Para un límite de latencia de 1 ms, el uso de repeticiones de minintervalos permite 6 casos adicionales. Las ganancias se producen para la transmisión inicial para 15 y 30 kHz SCS.
- Para un límite de latencia de 2 ms, el uso de repeticiones de minintervalos permite 11 casos adicionales. Las ganancias se producen para la transmisión inicial y la 1.ª o la 2.ª retransmisión para 15, 30 o 120 kHz SCS.
- Para un límite de latencia de 3 ms, el uso de repeticiones de minintervalos permite 7 casos adicionales. Las ganancias se producen para la 2.ª o la 3.ª retransmisión para 15 o 30 kHz SCS.

[0672] La repetición de minintervalos en UL puede usarse junto con otras características que habiliten una confiabilidad superior, tales como saltos de

frecuencia, según determinado ciclo de patrones o del precodificador en las repeticiones.

[0673] Las mejoras de PUCCH incluyen el uso de PUCCH corto. En el caso de la transmisión de datos de DL, el UE envía retroalimentación de HARQ para dar acuse de recibo (ACK) de la recepción correcta de los datos. Si el paquete de datos de DL no se recibe correctamente, el UE envía un [carácter] NACK y espera una retransmisión. Debido a la restricción estricta de latencia de URLLC, se espera que el formato PUCCH corto con 1 o 2 símbolos (p. ej., formato 0 de PUCCH) tenga alta relevancia. PUCCH corto puede configurarse para que comience en cualquier símbolo de OFDM en un intervalo y, por lo tanto, habilita una retroalimentación ACK/NACK rápida adecuada para URLLC. Sin embargo, hay un mecanismo de compensación entre la baja latencia y la alta confiabilidad de la retroalimentación de HARQ. Si se dispone de más recursos de tiempo, también es ventajoso consideras un formato PUCCH largo que pueda tener una duración de 4 a 14 símbolos. Con el uso de recursos de tiempo más largos, es posible mejorar la confiabilidad de PUCCH.

[0674] Otra mejora es la multiplexación de UCI con PUSCH. Para un UE que ejecuta servicios combinados con eMBB y URLLC, los requisitos de confiabilidad en la UCI transmitida en PUSCH pueden diferir significativamente de los datos de PUSCH. El requisito de confiabilidad en la UCI puede ser superior al requisito sobre los datos de PUSCH, p. ej., al transmitir HARQ-ACK para datos de URLLC en DL al mismo tiempo que datos de eMBB, o inferiores, p. ej., al transmitir informes de CQI destinados a eMBB al mismo tiempo que datos de URLLC. En el caso donde UCI tiene un requisito inferior al de los datos de PUSCH, puede ser preferible descartar parte de la UCI o toda la UCI.

[0675] El desplazamiento de la codificación entre los datos de UCI y PUSCH se controla mediante factores beta para diferentes tipos (HARQ-ACK, CSI) de UCI. Un desplazamiento superior a 1,0 significa que la UCI correspondiente se codifica con más confiabilidad que los datos. El valor de los

factores beta definidos en la versión 15 es inferior a 1,0. Este valor podría no ser suficientemente bajo al considerar los datos de URLLC junto con la UCI de eMBB. La mejor solución sería a introducción de un valor especial de factor beta que permita omitir la UCI en PUSCH para garantizar la confiabilidad de URLLC. Este enfoque se ilustra en la Figura 55, la que muestra el uso de un factor beta en señales de DCI para “omitir” una transmisión de UCI. Un problema relacionado se suscita cuando se recibe una solicitud de planificación (SR) para una transmisión por minintervalos de URLLC durante una transmisión por intervalos. Este problema se analiza a continuación.

[0676] Otras mejoras se dan en el área del control de potencia. Cuando se transmite una UCI en PUCCH, el requisito de confiabilidad puede diferir significativamente si la UCI está relacionada con eMBB o URLLC/eURLLC. En el caso del formato 0 y del formato 1, el número de PRB es igual a 1 y un intento de aumentar la confiabilidad usando más PRB vuelve a PUCCH sensible a la dispersión del tiempo. Por ende, en el caso del formato 0 y el formato 1, se puede lograr una confiabilidad distinta mediante diferentes números de símbolos y/o ajuste de la potencia.

[0677] El número de símbolos puede indicarse dinámicamente en la DCI del enlace descendente mediante el campo “indicador de recursos de PUCCH”, donde dos recursos de PUCCH se definen con diferentes números de símbolos. Los ajustes de potencia, sin embargo, se limitan a una única tabla de TPC y/o a la posiblemente mediante la información de la relación espacial de PUCCH, donde pueden definirse diversas configuraciones de potencia (tales como P_0) y hasta dos componentes cerrados. Sin embargo, las diferentes configuraciones de potencia de PUCCH solo pueden seleccionarse mediante señalización CE de MAC. Evidentemente, esto es demasiado lento en un escenario de servicios combinados donde el HARQ-ACK transmitido puede modificarse de relacionado a eMBB a relacionado a URLLC/eURLLC entre dos oportunidades consecutivas de transmisión de PUCCH. Como una solución para este problema, se pueden

introducir mejoras de control de potencia de PUCCH en la versión 16 de NR para facilitar una mayor diferencia de potencia entre una transmisión de PUCCH en relación con eMBB y una transmisión de PUCCH en relación con URLLC:

- Nueva tabla de TPC que permita pasos más grandes de ajuste de potencia, y/o
- indicación dinámica de la configuración de potencia (p. ej., P_0, índice de bucle cerrado) mediante una indicación DCI.

[0678] Las mejoras adicionales consideran oportunidades de transmisión HARQ-ACK. En el caso de URLLC con requisitos estrictos de latencia, se necesita contar con varias oportunidades de transmisión en un intervalo al usar transmisiones PDSCH por minintervalos y, por lo tanto, también se necesitan varias oportunidades de informes HARQ-ACK en PUCCH dentro de un intervalo. En la versión 15, a lo sumo se admite una transmisión PUCCH por intervalo, incluido HARQ-ACK. Esto aumentará el tiempo de coordinación para enviar el HARQ-ACK y, por consiguiente, la latencia de datos de DL. Para reducir la latencia de datos del enlace descendente, es necesario aumentar el número de oportunidades de PUCCH para una transmisión de HARQ-ACK en un intervalo, en especial si se admite la multiplexación del tráfico de eMBB y de URLLC en el enlace descendente. Mientras una funcionalidad de procesamiento de UE brinda el número mínimo de símbolos de OFDM desde el final de una transmisión de PDSCH hasta el comienzo de la transmisión de HARQ-ACK correspondiente en un PUCCH, el tiempo real de transmisión del HARQ-ACK se ve limitado, además, por el número permitido de PUCCH dentro del intervalo.

[0679] En la versión 15, un UE puede estar configurado con un máximo de cuatro conjuntos de recursos de PUCCH, donde cada conjunto de recursos de PUCCH consiste en un número de recursos de PUCCH y puede usarse para una gama de tamaños de UCI proporcionados por configuración, incluidos bits de HARQ-ACK. El primer conjunto solo se aplica a los bits 1 y 2 de UCI, incluida la información sobre HARQ-ACK, y puede tener un máximo de 32 recursos,

mientras que los otros conjuntos, de estar configurados, se usan para más de 2 bits de UCI, incluido HARQ-ACK, y pueden tener un máximo de 8 recursos de PUCCH. Cuando un UE informa HARQ-ACK en PUCCH, determina un conjunto de recursos de PUCCH con base en el número de bits de información de HARQ-ACK y el campo de indicador de recursos de PUCCH en el último formato 1_0 de DCI o en el formato 1_1 de DCI cuyo indicador de temporización de retroalimentación PDSCH a HARQ tiene un valor que indica el mismo intervalo para la transmisión de PUCCH. Cuando el tamaño del conjunto de recursos de PUCCH es, como máximo, 8, la identidad del recurso de PUCCH está explícitamente indicada por el campo indicador de recursos de PUCCH en la DCI. Si el tamaño del conjunto de recursos de PUCCH es mayor que 8, la identidad del recurso de PUCCH es determinada por el índice del primer CCE para la recepción de PDCCH además del campo indicador de recursos de PUCCH en la DCI.

[0680] En el caso de URLLC con requisitos estrictos de latencia, se necesita contar con varias oportunidades de transmisión en un intervalo por transmisión de PDSCH y, por lo tanto, también se necesitan varias oportunidades de informes HARQ-ACK en PUCCH dentro de un intervalo, como se mencionó antes.

[0681] Esto significa que un UE debe estar configurado con varios recursos de PUCCH para habilitar la posibilidad de varias oportunidades de transmisiones de HARQ-ACK dentro de un intervalo, aunque solo pueda usarse una de ellas en cada intervalo. Por ejemplo, un UE que ejecuta un servicio de URLLC puede estar configurado con la posibilidad de recibir PDCCH en cada segundo símbolo de OFDM, p. ej., el símbolo 0,2, 4, (...), 12, y recursos de PUCCH para transmisión de HARQ-ACK también en cada segundo símbolo, p. ej., 1, 3, (...), 13. Esto significa que el UE debe estar configurado con un conjunto de 7 recursos de PUCCH solo para informes de HARQ-ACK para URLLC para una gama de tamaños de UCI dada. Dado que puede haber

necesidad de tener otros recursos de PUCCH para otras necesidades, es probable que se exceda la lista de, a lo sumo, 8 recursos de PUCCH que el indicador de recursos de PUCCH puede indicar explícitamente en la DCI. Si hay más de 8 recursos de PUCCH en el conjunto, en el caso los bits 1-2 de HARQ-ACK, el índice del primer CCE controlará qué recurso de PUCCH se indica. Por lo tanto, las ubicaciones adonde se pueden transmitir la DCI pueden verse limitadas para que puedan referirse a un recurso de PUCCH previsto. En consecuencia, esto puede imponer restricciones de planificación adonde la DCI puede transmitirse y también puede provocar “bloqueo” si la DCI no puede enviarse en el CCE deseado (debido a que ya fue usado para otro UE). Por lo tanto, en lugar de configurar 7 recursos de PUCCH en el ejemplo anterior, uno puede suponer un recurso de PUCCH con una periodicidad para una oportunidad de transmisión de cada 2 símbolos dentro de un intervalo. Este enfoque se ilustra en la Figura 56, que muestra un PUCHH corto que ocupa un símbolo de OFDM, (es decir, Ns = 1), con un periodo (P) de dos símbolos de OFDM. Aquí, se define un total de 7 recursos de PUCCH periódicos en un intervalo.

[0682] El problema y su solución descritos anteriormente también se aplican a FDD y a TDD. Sin embargo, en el caso de un patrón de TDD de “minintervalo” fijo, 8 recursos de PUCCH que pueden estar explícitamente indicados pueden ser suficientes, dado que solo la parte UL del intervalo puede comprender recursos de PUCCH.

[0683] Con respecto a las mejoras a PDCCH, con un requisito de alta confiabilidad para URLLC, es importante que la transmisión de la información de control del enlace descendente (DCI) sea suficientemente confiable. Esto puede lograrse por varios medios, incluidas funcionalidades de *hardware* de UE/gNB mejoradas, implementación mejorada de gNB/UE y buenas opciones de diseño de NR PDDCH.

[0684] En lo que respecta a las opciones de diseño, NR PDCCH incluye varias características que pueden mejorar la confiabilidad. Estas incluyen:

- estar con base en DMRS, lo que permite el uso de la conformación del haz;
- soporte al esquema de transmisión distribuida en frecuencia;
- nivel 16 de agregación;
- mayor longitud de CRC (24 bits).

[0685] NR admite dos formatos principales de DCI, a saber, los formatos de tamaño normal de DCI 0-1 y 1-1 y los formatos de menor tamaño de repliegue de DCI 0-0 y 1-0. Si bien la flexibilidad de planificación puede ser limitada, puede seguir siendo razonable considerar la DCI de repliegue para planificación de datos a fin de obtener consistencia de PDCCH debido a la menor velocidad de codificación para un nivel de agregación dado. Además, cabe destacar que la DCI normal contiene varios campos que no son relevantes para URLLC, tales como indicador de parte de ancho de banda, campos relacionados con CBG y los campos relacionados con el segundo TB.

[0686] Una mejora posible es un formato de DCI específico para URLLC. Tanto el nivel de agregación (AL) como el tamaño de la DCI pueden afectar el desempeño del PDCCH. Los niveles de agregación tienen diferentes velocidades de codificación de canales y se usan en adaptación de enlaces para PDCCH, mientras que el tamaño de la carga útil de DCI es fijo para la conexión configurada. Para hacer que la transmisión de PDCCH sea más sólida, se puede usar AL y/o un tamaño pequeño de carga útil de DCI para bajar la velocidad de codificación de PDCCH. La comparación de desempeño de PDCCH entre diferentes tamaños de DCI se resume en la Tabla 15. Aquí, el tamaño de 40 bits de DCI sirve como referencia para el tamaño repliegue de DCI según la versión 15, mientras que los tamaños 30 y 24 de DCI pueden ser denominados tamaños compactos de DCI. Puede verse que las ganancias logradas por reducción del tamaño de DCI de 40 a 24 bits son especialmente pequeñas con un AL alto, y la ganancia es incluso menor al reducir el tamaño de DCI de 40 a 30 bits. La

ganancia depende básicamente del nivel de reducción de la velocidad de codificación.

Objetivo de BLER	**Tamaño de la carga útil excluyendo bits de CRC (A->B)**	**Número total de reducción de bits**	**Beneficios de desempeño en SNR (dB)**				
			AL16	**AL8**	**AL4**	**AL2**	**AL1**
1e-5	40->30	10	0,31	0,38	0,41	0,55	1,13
	40->24	16	0,47	0,58	0,68	0,95	1,94

Tabla 15: Mejoras en SNR (dB) en el objetivo de BLER para TDL-C 300 nS, 4 GHz, 4 Rx, 1 os

[0687] Con un requisito de alta confiabilidad para URLLC, es importante que la transmisión de la información de control del enlace descendente (DCI) sea suficientemente confiable. Esto puede lograrse por varios medios, incluidas funcionalidades de *hardware* de UE/gNB mejoradas, implementación mejorada de gNB/UE y buenas opciones de diseño de NR PDDCH.

[0688] En lo que respecta a las opciones de diseño, NR PDCCH incluye varias características que pueden mejorar la confiabilidad. Estas incluyen:

- estar con base en DMRS, lo que permite el uso de la conformación del haz;
- soporte al esquema de transmisión distribuida en frecuencia;
- nivel 16 de agregación;
- mayor longitud de CRC (24 bits).

[0689] NR admite dos formatos principales de DCI, a saber, los formatos de tamaño normal de DCI 0-1 y 1-1 y los formatos de menor tamaño de repliegue de DCI 0-0 y 1-0. Si bien la flexibilidad de planificación puede ser limitada, puede seguir siendo razonable considerar la DCI de repliegue para planificación de datos a fin de obtener consistencia de PDCCH debido a la menor velocidad de codificación para un nivel de agregación dado. Además, cabe destacar que la DCI normal contiene varios campos que no son relevantes para URLLC, tales como indicador de parte de ancho de banda, campos relacionados con CBG y los campos relacionados con el segundo TB.

[0690] Cuando un URLLC UE opera en buenas condiciones de canal, es razonable usar un bajo AL para PDCCH. Se ha debatido que una DCI compacta puede tener un impacto positivo en la capacidad de multiplexación de PDCCH, ya que más UE con buenas condiciones de canal pueden usar un AL bajo, lo que reduce la probabilidad de bloqueo. Para comprobar esto, se estudió el impacto del uso de una DCI compacta sobre la probabilidad de bloqueo de PDCCH en función del tamaño de DCI, el número de UE y los recursos CORESET. Se considera que el número de URLLC UE en una celda varía de 4 a 10. Los recursos de CORESET se determinan según la duración de CORESET y el ancho de banda. Se supone que los CORESET ocupan 1 o 2 símbolos de OFDM con un BW de 40 MHz.

[0691] La Figura 57 muestra la probabilidad de bloqueo por ocasión de monitoreo en función del tamaño de DCI, el promedio de UE y los tamaños de CORESET. Esta hipótesis de simulación corresponde al caso de uso habilitado por la versión 15. A partir de la Figura 57 puede verse que la probabilidad de bloqueo PDCCH por ocasión de monitoreo depende de varios parámetros, tales como el tamaño de DCI, el número de UE y los tamaños de CORESET. Desde el punto de vista de la mejora de la probabilidad de bloqueo para un número dado de UE, resulta evidente que el uso de un tamaño pequeño de DCI proporciona

una ganancia mucho menor en comparación con el uso de recursos de control más grandes.

[0692] Además, debido a la demodulación y a la restricción impuesta en el UE por la complejidad de decodificación, existe un presupuesto en el número de tamaños de DCI que el UE debería monitorear por intervalo, es decir 3 tamaños diferentes para la DCI aleatorizados por C-RNTI y 1 tamaño adicional para otro RNTI, como se acordó en la versión 15. Por lo tanto, introducir otro formato de DCI con un tamaño menor sería todavía más complejo para satisfacer la limitación de tamaño de la DCI.

[0693] Podría contemplarse una alternativa a la DCI compacta para una mejora de PDCCH en la versión 16. En la versión 15 de NR, hay dos formatos de DCI principales para planificación de datos de unidifusión, a saber, los formatos de DCI de repliegue 0-0/1-0 y los formatos de DCI normal 0-1/1-1. La DCI de repliegue admite el tipo 1 de asignación de recursos, donde la DCI depende del tamaño de la parte de ancho de banda. Está destinado a una sola transmisión de TB con flexibilidad limitada, p. ej., sin parámetros en relación con multiantenas. En cambio, una DCI normal puede proporcionar planificación flexible con transmisión multicapa.

[0694] Debido al requisito de alta confiabilidad de URLLC, comprendemos las ventajas de usar una DCI de repliegue de tamaño pequeño para un buen desempeño del PDCCH. Al mismo tiempo, también puede ser ventajoso contar con parámetros tales como los relacionados con multiantena para admitir alta confiabilidad de transmisión. Esto puede motivar un nuevo formato de DCI que tenga el mismo tamaño de la DCI de repliegue, pero que presente mejoras respecto de la DCI de repliegue para introducirlas en algunos campos útiles, p. ej., ciertos campos que existen en la DCI normal, pero que están ausentes en la DCI de repliegue. Al hacer que los nuevos formatos de DCI tengan el mismo tamaño que los formatos de DCI existentes, la complejidad en la decodificación ciega puede mantenerse sin cambios. Cabe destacar que este uso puede no

limitarse a URLLC. Cualquier caso de uso que requiera alta confiabilidad de PDCCH con una flexibilidad razonable en la planificación también debería poder aprovechar el nuevo formato de DCI.

[0695] Otra área para el desempeño mejorado considera límites al número de decodificaciones ciegas y CCE. Como ya se analizó, el tipo B de correspondencia PDSCH/PUSCH (mininintervalo con posición flexible de inicio) es un facilitador clave para casos de uso de URLLC. Para alcanzar los beneficios completos de la latencia de la planificación de tipo B, es necesario tener diversas ocasiones de monitoreo de PDCCH en un intervalo. Por ejemplo, para obtener los beneficios completos de las transmisiones con 2 símbolos de OFDM, es preferible tener monitoreo de PDCCH cada 2 símbolos de OFDM. Los límites de la versión 15 al número total de decodificaciones ciegas (BD) y CCE no superpuestos para una estimación de canales en un intervalo restringen de gran manera las opciones de planificación para estos tipos de configuraciones, incluso al limitar el número de candidatos en un espacio de búsqueda.

[0696] Los límites actuales para 15 kHz SCS en NR coinciden con los límites para 1 ms TTI en LTE, si bien estos límites se extendieron tras la introducción del TTI corto en LTE. Puede esperarse que estos límites de la versión 15, como se muestra en la primera fila de las Tablas 9 y 10, se revisen en la versión 16 de NR, en el alcance del marco de URLLC. Por ejemplo, con el número actual de límites de CCE, solo hay a lo sumo 3 oportunidades de transmisión por intervalo si se usa un AL igual a 16.

[0697] En lugar de especificar nuevos niveles de funcionalidad para los UE, se propone especificar un nivel adicional de soporte para las decodificaciones ciegas en PDCCH, para el cual los números se duplican en comparación con la versión 15. Para este nivel adicional de soporte, en lugar de definirlo simplemente por intervalo, tiene más sentido tener en cuenta cómo las BD y los CCE se distribuyen en un intervalo para una operación de mininintervalo. Una opción posible es definir el límite BD/CCE para cada mitad del intervalo.

Para la primera mitad del intervalo, es natural suponer el mismo número que en los demás casos. Para la segunda mitad del intervalo, suponiendo que el UE haya terminado de procesar el PDCCH en la primera mitad del intervalo, el UE debería tener la misma funcionalidad de procesamiento de PDCCH en la segunda mitad del intervalo. Por lo tanto, es razonable suponer el mismo número que en el primer intervalo.

[0698] Teniendo en cuenta todo lo anterior, el aumento correspondiente en los límites de BD puede resumirse en la Tabla 16.

N.º máx. de BD del PDCCH por intervalo		Separación entre subportadoras			
		15k Hz	30k Hz	60k Hz	120k Hz
Versión 15 de NR		44	36	22	20
Valor propuesto para la versión 16 de NR	1.ª mitad del intervalo	44	36	22	20
	2.ª mitad del intervalo	44	36	22	20

Tabla 16: Número de decodificaciones ciegas para la versión 15 y valores propuestos para la versión 16

[0699] De forma similar, un aumento correspondiente en los límites de CCE puede resumirse en la Tabla 17.

	Separación entre subportadoras

N.º máx. de CCE del PDCCH por intervalo		15k Hz	30k Hz	60k Hz	120k Hz
Versión 15 de NR		56	56	48	32
Valor propuesto para la versión 16 de NR	1.ª mitad del intervalo	56	56	48	32
	2.ª mitad del intervalo	56	56	48	32

Tabla 17: Límite de CCE para la versión 15 y valores propuestos para la versión 16

[0700] Como una solución alternativa a las Tablas 16 y 17, puede contemplarse la introducción de una limitación por ventana móvil, donde el tamaño de la ventana móvil y el número de decodificaciones ciegas o de CCE por ventana móvil puede definirse adicionalmente en la memoria.

[0701] Una consecuencia de los aumentos en los números de las decodificaciones ciegas y los límites de CCE es que hay más ocasiones de PDCCH en un intervalo y, así, un UE tiene mayores posibilidades de ser planificado con el tiempo. La Tabla 18 muestra la probabilidad de bloqueo de PDCCH después de un cierto número de ocasiones de PDCCH para diferentes números de UE por celda. (Tamaño de la DCI = 40 bits, duración de CORESET = 1 símbolo). Es evidente que la probabilidad de bloqueo de PDCCH

en un intervalo puede reducirse considerablemente con más ocasiones de PDCCH.

Prob. de bloqueo	**N.º UE = 10**	**N.º UE = 20**	**N.º UE = 30**	**N.º UE = 40**
Tras 1 ocasión de PDCCH	7,91%	39,03%	58,01%	68,46%
Tras 2 ocasiones de PDCCH	0	1,42%	19,50%	37,75%
Tras 3 ocasiones de PDCCH	0	0	0,17%	4,15%

Tabla 18: Probabilidad de bloqueo de PDCCH en un intervalo con 1, 2 o 3 ocasiones de PDCCH para diferentes números de UE por celda

[0702] Si bien los límites de PDCCH pueden mejorar el retraso en la alineación, la reducción del retraso en el procesamiento puede contribuir adicionalmente a la disminución de la latencia total. De este modo, las funcionalidades de procesamiento del UE se abordan a continuación.

[0703] La línea de tiempo de transmisión de datos del enlace descendente se ilustra en la Figura 58 con una retransmisión. La línea de tiempo de transmisión de datos del enlace ascendente se ilustra en la Figura 59, para PUSCH por medio de una concesión de UL configurada, con una retransmisión. Los componentes del retraso son:

- $T_{UE,proc}$: tiempo de procesamiento del UE para transmisión del UL. El $T_{UE,proc}$ varía según los datos del DL data frente a los datos del UL, la transmisión inicial frente a la retransmisión, etc. En el análisis de la funcionalidad 1 del UE y la funcionalidad 2, se usaron las variables N_1 y N_2:

- N_1 es el número de símbolos de OFDM requeridos para el procesamiento de UE desde el final del PDSCH hasta el comienzo más temprano posible de la transmisión ACK/NACK correspondiente en PUSCH o PUCCH desde la perspectiva del UE.
- N2 es el número de símbolos de OFDM requeridos para el procesamiento de UE desde el final del PDCCH que contiene la recepción de la concesión de UL hasta el comienzo más temprano posible de la transmisión correspondiente del mismo PUSCH desde la perspectiva del UE.

- $T_{UL,tx}$: tiempo de transmisión de los datos del UL. Esto es, en líneas generales, igual a la duración de PUSCH.
- $T_{UL,align}$: tiempo de alineación para esperar la próxima oportunidad de transmisión de UL.
- $T_{gNB,proc}$: tiempo de procesamiento de gNB para la transmisión de DL. El $T_{gNB,proc}$ varía según los datos del DL data frente a los datos del UL, la transmisión inicial frente a la retransmisión, etc. Por ejemplo, en el caso de la retransmisión de PDSCH, esto incluye el tiempo de procesamiento de HARQ-ACK enviado en el UL. En el caso de PUSCH, esto incluye el tiempo de recepción de PUSCH.
- $T_{DL,tx}$: tiempo de transmisión de los datos del DL. Esto es, en líneas generales, igual a la duración de PDSCH.
- $T_{DL,align}$: tiempo de alineación para esperar la próxima oportunidad de transmisión de DL.

[0704] El $T_{UE,proc}$ es un importante componente de la latencia que se debe mejorar. En la versión 15, se definieron las funcionalidades 1 y 2 de tiempo de procesamiento del UE, donde la funcionalidad 1 se define para un SCS de 15/30/60/120 kHz y la funcionalidad 2 se define para un SCS de 15/30/60 kHz. La funcionalidad 2, más agresiva, sigue siendo inadecuada para una restricción de latencia de 1 ms. Como los requisitos de latencia para eURLLC son del orden de 1 ms (p. ej., 0,5 ms), puede definirse una nueva funcionalidad 3 de UE en la

versión 16 de NR para satisfacer los requisitos de latencia. La funcionalidad 3 propuesta para UE se resume en la Tabla 19. El impacto de la funcionalidad propuesta puede verse en las Figuras 60, 61 y 62. La Figura 60 muestra una comparación de la latencia de los datos del enlace descendente entre la versión 15 y la nueva funcionalidad 3 del UE que se ve en la Tabla 19. La Figura 61 muestra una comparación de la latencia de los datos del enlace ascendente por concesión para la versión 15 frente a la nueva funcionalidad 3 del UE. La Figura 62 muestra una comparación de la latencia configurada del enlace ascendente por concesión entre la versión 15 y la nueva funcionalidad 3 del UE.

Configuración	Temporización de HARQ	15 kHz SCS	30 kHz SCS	60 kHz SCS	120 kHz SCS
DMRS de carga frontal solamente	N1	2.5os	2.5os	5os	10os
Correspondencia entre el primer RE y la frecuencia	N2	2.5os	2.5os	5os	10os

Tabla 19: Funcionalidad 3 de tiempo de procesamiento del UE

[0705] Otro componente de retraso, $T_{DL,align}$, recibe una influencia considerable de la periodicidad de PDCCH. El peor caso de $T_{DL,align}$ equivale a la periodicidad de PDCCH. En la versión 15, la periodicidad de PDCCH se ve afectada por varias restricciones, incluidos: (a) límites de decodificación ciega, (b) límites al número de CCE, (c) tamaños de DCI. Para proporcionar una periodicidad de PDCCH más corta para eURLLC, es necesario que el número de límites de decodificación ciega y de límites de CCE se relaje en la versión 16.

[0706] Otra funcionalidad importante del UE se relaciona con el tiempo para la generación de informes de CSI. Cuanto más rápido pueda un UE proporcionar el informe de CSI, más precisa será la decisión de planificación desde la perspectiva de adaptación de enlaces. En la memoria de la versión 15, se definen dos valores clave:

- *Z* corresponde al requisito de temporización desde la activación de PDCCH al inicio del transporte del informe de CSI a cargo del PUSCH y esto debería abarcar el tiempo de decodificación de la DCI, el tiempo de medición posible de CSI-RS, el tiempo de cálculo de la CSI, el tiempo de codificación de la UCI y las posibles multiplexaciones de UCI y de UL-SCH.
- Por otra parte, Z' corresponde al requisito de temporización desde un CSI-RS aperiódico (si selo usa) al inicio del transporte del informe a cargo del PUSCH.

De este modo, la diferencia entre Z y Z' solo corresponde al tiempo de decodificación de la DCI.

[0707] En la versión 15, no existe una "funcionalidad avanzada de procesamiento de CSI", es decir, solo se define una funcionalidad de procesamiento de CSI de referencia que todos los UE deben admitir. Se analizó incluir tal funcionalidad avanzada de procesamiento de CSI en la versión 15, pero no se la incluyó por falta de tiempo.

[0708] En la versión 15 se definen tres "clases de latencia" para el contenido de la CSI.

- Clase de informe sobre haces: generación de informes L1-RSRP con CRI/SSBRI
- CSI de baja latencia: se define como un solo informe de CSI de banda ancha con, a lo sumo, 4 puertos CSI-RS (sin generación de informes de CRI), usando el libro de códigos de panel simple de tipo I o bien el modo de generación de informes no-PMI.
- CSI de alta latencia: Todos los demás tipos de contenido de CSI

[0709] Para cada una de estas tres clases, se definen diferentes requisitos para (Z, Z') (según el requisito 2 de retraso en el cómputo de CSI). También existe un requisito más estricto de CSI, el requisito 1 de retraso en el cómputo de CSI, que solo se aplica cuando el UE se activa con un único informe de CSI de baja latencia sin multiplexación UL-SCH o UCI y cuando el UE tiene todas sus unidades de procesamiento de CSI libres (es decir, ya no está calculando algún otro informe de CSI).

[0710] En la versión 15 de NR, la funcionalidad obligatoria de procesamiento UE CSI requiere que un UE admita el cálculo de 5 informes simultáneos de CSI (lo que puede hacerse en diferentes portadoras, en la misma portadora o como un solo reporte con múltiples recursos CSI-RS). Los valores de (Z,Z') constituyen el requisito 2 de procesamiento de CSI donde así se determine, de modo que todos los UE deban ser capaces de calcular 5 informes de CSI en este plazo. Como algunas implementaciones de UE calculan varios informes de CSI de manera serial, esto implica que, en líneas generales, el requisito 2 de CSI es aproximadamente 5 veces más largo que lo que sería si el requisito solo dispusiese que solo fuese necesario computar un único informe de CSI.

[0711] En un escenario típico de URLLC y, en efecto, en muchas implementaciones y escenarios típicos, al gNB solo le interesa activar un solo informe de CSI a la vez. Así es poco acertado que el requisito de temporización sea 5 veces más largo que lo que tiene que ser para ese caso. El tiempo de cálculo excesivamente largo para el CSI impone restricciones de implementación adicionales al planificador, dado que el requisito N2 para la activación de los datos y el requisito (K1) de retraso de los datos para HARQ-ACK es mucho menor que el requisito de procesamiento de la CSI.

[0712] Es posible aplicar mejoras ulteriores. En el caso de las mejoras de la línea de tiempo de procesamiento de CSI para eURLLC, la introducción de un nuevo requisito de temporización ("requisito 3 de retraso en el cómputo para

CSI") es ventajoso para el tráfico esporádico con el fin de obtener rápidamente el estado del canal en el gNB. Puede apelarse a ellos cuando el UE es activado con un solo informe de CSI. Una posición inicial podría ser tomar los valores definidos para el requisito de temporización 2 de CSI y dividirlos por 5.

Otra mejora posible a la línea de tiempo de procesamiento de CSI es introducir una funcionalidad avanzada de procesamiento de CSI. Es decir, introducir un nuevo conjunto de tablas para los dos requisitos de temporización de CSI existentes (además del tercer requisito que se acaba de proponer). Un UE podría, de manera similar a las funcionalidades de procesamiento avanzadas para PDSCH/PUSCH, indicar en su funcionalidad que admite la línea de tiempo de CSI, más agresiva.

[0713] El HARQ rápido es otra mejora. Las funcionalidades de procesamiento y de UE más veloces analizadas en las secciones anteriores habilitan retransmisiones de HARQ más rápidas. Suponemos que gNB puede operar con una velocidad de procesamiento similar a la del UE. Para operar con retransmisiones de HARQ y mantener una baja latencia, es necesario que las ocasiones de monitoreo de PDCCH sean frecuentes, pero también las ocasiones de PUCCH donde puedan transmitirse HARQ-ACK. Por motivos de simplicidad, vamos a suponer un avance de temporización cero, aunque en la realidad esa suposición no es válida. Con un avance de temporización distinto de cero, los valores de latencia pueden cambiar.

[0714] Aquí, podemos enfocarnos en la comparación entre las versiones 15 y 16. Los resultados de la evaluación se muestran a continuación. En el caso de la funcionalidad 2 de la versión 15, suponemos una periodicidad PDCCH de 5 símbolos de OFDM (os). Cabe destacar que con un límite de CCE por intervalo de 56, se permiten hasta 3 ocasiones de monitoreo de PDCCH por intervalo, donde cada ocasión contiene al menos un candidato de AL 16. En el caso de la versión 16, supusimos valores mejorados de N_1 y N_2 (funcionalidad 3, analizada en secciones anteriores) y una periodicidad de PDCCH de 2 símbolos como

consecuencia de una mejora potencial en los límites del número de decodificaciones ciegas y CCE.

[0715] Otra mejoría es la apropiación inter-UE. La multiplexación dinámica de diferentes servicios es muy conveniente para el uso eficaz de los recursos del sistema y para aumentar al máximo su capacidad. En el enlace descendente, la asignación de recursos puede ser inmediata y solo está limitada por la implementación del planificador, mientras que en el enlace ascendente se requieren soluciones específicas estándar. A continuación, se analizan las soluciones existentes en la versión 15 y las soluciones adicionales para la versión 16.

[0716] La multiplexación dinámica de diferentes servicios es muy conveniente para el uso eficaz de los recursos del sistema y para aumentar al máximo su capacidad. En el enlace descendente, la asignación de recursos puede ser inmediata y solo está limitada por la implementación del planificador. Una vez que aparecen datos de baja latencia en un búfer, una estación base debería optar por el momento más próximo en que se podrían asignar normalmente los recursos (es decir, sin colisión con los recursos asignados para una transmisión de enlace descendente en curso para ese UE). Esto puede ser el comienzo del intervalo o bien un minintervalo que puede comenzar en cualquier símbolo de OFDM. Por lo tanto, la apropiación del enlace descendente puede ocurrir cuando la asignación (o asignaciones) a largo plazo (p. ej., con base en intervalos) ocupan recursos (en particular, recursos de banda ancha) y no hay espacio para la transmisión de datos críticos que típicamente puede hacerse mediante minintervalos. En este caso, un planificador puede enviar DCI a un UE de datos críticos y anular la transmisión en curso en el enlace descendente. Cuando la transmisión eMBB en el intervalo es apropiada, la parte apropiada del mensaje original contamina el búfer de combinación blanda y debería purgarse para brindar un buen desempeño en las retransmisiones, lo que es probable que suceda. La memoria de la versión 15 de NR permite indicar

la apropiación mediante señalización explícita, la que se lleva a cabo mediante una de estas opciones:

- Opción 1. Mediante el formato especial de DCI 2_1 a través del PDCCH común del grupo.
- Opción 2. Mediante un indicador especial en la DCI de retransmisión multi-CBG “CBG purgando información”.

[0717] La opción 1 brinda una indicación como un mapa de bits de 14 bits, la cual se dirige a los dominios de recursos del enlace descendente de referencia entre dos mensajes de indicación de apropiación. La máxima resolución de esta señalización en el tiempo es de 1 símbolo de OFDM; en frecuencia, es de ½ BWP (parte de ancho de banda), pero no al mismo tiempo. A mayor periodicidad de los mensajes, más imprecisa será la resolución. Como este es una señalización común de grupo, todos los UE dentro de la BWP pueden leerla.

[0718] La opción 2 es una forma de señalización específica del usuario. La DCI de retransmisión de HARQ, que contiene un conjunto de CB/CBG, puede tener un bit especial que indique que el UE debe, en primer lugar, purgar las partes relacionadas del búfer de combinación blanda y luego almacenar los CB/CBG retransmitidos en el búfer de combinación blanda.

[0719] Durante los debates de 3GPP por el URLLC de la versión 15, la característica de apropiación del enlace ascendente se quitó del alcance debido a la falta de tiempo en el elemento de trabajo URLLC de 3GPP. Sin embargo, la característica se está discutiendo en la versión 16. Puede haber apropiación del UL cuando una transmisión más larga de UL de eMBB es interrumpida por la transmisión de UL de URLLC más urgente. Además, esto puede tener dos variantes:

- Apropiación intra-UE, donde ambas transmisiones pertenecen al mismo UE. La apropiación intra-UE es similar al caso de apropiación de DL donde, en lugar de gNB, el UE prioriza la transmisión en la dirección del UL. Para

esto se necesita dar cierto tipo de indicación al gNB de una transmisión entrante de URLLC en lugar de una transmisión de eMBB.

- Multiplexación inter-UE, donde según la solicitud de algunos UE por una transmisión urgente de tráfico UL de alta prioridad (tráfico URLLC), el gNB debe proporcionar recursos para dar cabida a las transmisiones lo antes posible a fin de satisfacer los requisitos de retraso. Puede suceder que el gNB ya haya asignado los recursos de UL adecuados a un UE o a varios otros UE para transmisiones de UL con requisitos menos estrictos en lo que respecta al retraso (tráfico de eMBB). Por lo tanto, el gNB debe replanificar esos recursos para las transmisiones URLLC priorizadas.

La apropiación intra-UE se analiza más en profundidad a continuación, ya que implica mecanismos de MAC, mientras que la segunda opción tiene un alcance evidente sobre la capa física.

[0720] Dados dos mecanismos facilitadores con base en el control de la potencia y el silenciamiento, la apropiación se lograría al costo de 1) señalización y complejidad adicionales en el UE y el gNB debido a transmisiones de UL cambiantes en curso o planificadas, y 2) el impacto sobre el desempeño del tráfico de eMBB. Para que valga la pena investigar este costo, es importante adoptar el mecanismo que mejor garantice la calidad requerida de las transmisiones de URLLC. La Figura 63 puede ilustrar ambos enfoques.

[0721] Una desventaja de los esquemas con base en el control de la potencia es que las transmisiones de URLLC sufrirán la interferencia que se origina a partir de las transmisiones controladas por el gNB que presta servicio cuando, en realidad, a esas transmisiones se les podría haber quitado la prioridad. Además, el aumento de potencia de las transmisiones de URLLC no solo aumentaría la interferencia en las celdas vecinas, sino también afectaría el desempeño del tráfico de eMBB. Por lo tanto, con los esquemas con base en la apropiación, al cancelar las transmisiones de eMBB UL en curso o preplanificadas en los recursos adecuados que el gNB intenta usar para las

transmisiones de URLLC, el gNB evita, al menos, la posible degradación del desempeño del tráfico de URLLC debido a la interferencia autoprovocada. Cabe destacar que el análisis aquí se refiere a las transmisiones de PUSCH donde las demás opciones son más adecuadas para controlar la confiabilidad. En el caso de PUCCH, las opciones son más limitadas.

[0722] El desempeño del esquema con base en el control de la potencia se muestra en la Figura 64 par 4 GHz, TDL-C con DS de 100 ns, configuración de antenas 4x2 y receptor MMSE-MRC cuando la transmisión de eMBB por intervalos interfiere con la URLLC por minintervalos. La tabla de bajo SE MCS está en uso.

[0723] Según el análisis anterior, el esquema con base en indicaciones puede garantizar la confiabilidad de URLLC, mientras que el esquema con base en el control de la potencia puede considerarse una solución retrocompatible en el escenario de interfuncionamiento de las versiones 15/16. Sin embargo, el primero de ellos acarrea un amplio costo de señalización.

[0724] Esto implica que aunque la indicación de apropiación del UL es, de hecho, eficiente en una manera específica para un UE, una mejor opción de diseño es considerar una indicación de apropiación de un UL común de grupo con flexibilidad para ajustar el tamaño del grupo según el caso, de un solo UE a varios UE, según sea necesario. Este enfoque conserva las propiedades para el caso de un solo UE al tiempo que reduce la tara de señalización y la probabilidad de bloqueo en caso de que se deban apropiar varios UE.

[0725] Con el objeto de reutilizar el mecanismo ya existente, siempre que sea posible, las dos opciones siguientes se consideran principalmente para la señalización común de grupo de la apropiación del UL:

- Opción 1: Indicación de apropiación del UL con base en el formato 2_0 de DCI (SFI dinámico)
- Opción 2: Diseño de indicación de apropiación del UL similar al formato 2_1 de DCI (indicación de apropiación del DL)

[0726] En la opción 1, se propone el uso del SFI dinámico existente y la definición de un comportamiento nuevo (o extendido) del UE como se indica a continuación. Cuando un UE detecta una asignación flexible (o DL) para los símbolos que ya tiene programado mediante señalización específica para el UE para el caso de transmisiones de UL, el UE cancela por completo las transmisiones de UL. Esta opción de diseño se basa en dos supuestos, es decir, con el objeto de apropiación del UL, 1) el SFI dinámico anula la señalización específica para el UE, y 2) la transmisión del UL apropiada no se retrasa ni se reanuda, simplemente se cancela. Este enfoque es simple y requiere menos tiempo de procesamiento en el UE debido a la necesidad de cancelar solo las transmisiones de UL. Sin embargo, requiere la definición de un nuevo comportamiento, el que se basa en el supuesto de que un SFI posterior anule una DCI específica para UE anterior, lo que en sí mismo se contradice con la filosofía de diseño utilizada en la versión 15. Más aún, depender del régimen de SFI existente por motivos de simplicidad implica que deba usarse la tabla de SFI especificada para la versión 15. Examinando con cuidado las entradas de esta tabla, se pueden observar limitaciones en donde puede haber cancelación de la transmisión de UL en comparación con un patrón de mapa de bits que ofrezca flexibilidad plena.

[0727] En la opción 2, el mecanismo de apropiación del DL puede adoptarse para la indicación de apropiación del UL. Este enfoque permite que un gNB indique a un UE, con mayor nivel de detalle, cuáles recursos es necesario apropiar mediante un patrón de mapa de bits. Este mecanismo es flexible en el sentido de que depende de cómo se defina el comportamiento del UE o su funcionalidad, el patrón del mapa de bits podría usarse para indicar cuándo se debe detener la transmisión del UL sin reanudarla posteriormente. O, como alternativa, puede usarse para indicar al UE cuándo detener y cuándo reanudar la transmisión del UL si el UE es capaz de realizar tal operación en un tiempo razonable.

[0728] MCS y CQI menores para un objetivo BLER inferior son problemas adicionales. Según la evaluación presentada anteriormente, puede observarse que dependiendo de un requisito de latencia para URLLC, podría haber tiempo solo para una transmisión de radio. En este ejemplo, una interfaz por aire debe ser capaz de garantizar el BLER muy bajo que se requiere para un servicio de URLLC. A tal efecto, la versión 15 contiene varias mejoras:

- Se introdujo una nueva tabla de CQI 64QAM para informes a un objetivo de BLER de 10^-5. La nueva tabla contiene valores más bajos de eficiencia espectral (SE)
- Se introdujo la tabla de MCS 64QAM de baja eficiencia espectral para usar sin precodificación de la transformada.
- Se introdujo la tabla de MCS 64QAM de baja eficiencia espectral para la tabla de forma de onda de OFDM con dispersión de DFT.

[0729] Como ejemplo, tomamos TBS = 256 bits (= 32 bytes), una duración de transmisión de 4 símbolos de OFDM con una tara de 1 símbolo de DMRS. Los BLER de PDSCH para los diferentes MCS admitidos en un BW de 40 MHz se suministran en la Figura 65. Aquí, la velocidad de codificación MCS 6 corresponde a la velocidad de codificación MCS 0 en la tabla de 64QAM anterior.

[0730] La red puede configurar las tablas de MCS resaltada semiestáticamente por RRC. Además, también se admite la señalización dinámica para la tabla de MCS configurando el UE con MCS-C-RNTI además del C-RNTI habitual donde MCS-C-RNTI siempre está asociado con la tabla de MCS de bajo SE. UE siempre aplica la tabla de MCS de bajo SE cuando detecta MCS-C-RNTI aleatorizado con PDCCH CRC y aplica la tabla de MCS configurada semiestáticamente (64QAM o 256QAM) de algún otro modo. Como alternativa, se puede configurar la tabla de MCS semiestáticamente cuando el UE solo tiene tráfico de URLLC, mientras que la forma dinámica es preferible en caso de que el UE tenga capacidad para eMBB y URLLC al mismo tiempo. Una desventaja de la señalización dinámica de la tabla de MCS es una tasa de falsa

alarma superior en PDCCH CRC debido a la introducción de la nueva MCS-C-RNTI.

[0731] Cabe destacar que las tablas de CQI y MCS pueden configurarse de manera independiente, p. ej., la tabla MCS de 64QAM antigua puede usarse con el nuevo informe de BLER de 10^-5 de la nueva tabla CQI de 64QAM.

[0732] Las técnicas multiantena son otro problema. Existe un mecanismo de compensación bien conocido entre las velocidades de datos aumentadas (multiplexación) y la confiabilidad aumentada (diversidad). Esto significa que los aumentos en una se dan al costo necesario de cierta degradación en la otra. En banda ancha móvil, por lo general se usan las técnicas MIMO para aumentar las velocidades de datos y la eficiencia espectral de la red. Por otra parte, en el caso de URLLC, puede ser mejor consumir los grados de libertad permitidos por MIMO para aumentar la confiabilidad. Así, en lugar de tomar el rendimiento como una métrica que deba optimizarse, la red puede optimizar las métricas de confiabilidad, tales como la probabilidad de interrupciones. Por ejemplo, el desempeño del UL puede mejorarse mediante la precodificación del UL y el CoMP de UL intrasitio (recepción conjunta) como se indica en la Figura 66, que muestra SINR de UL para diferentes técnicas de multiantena con y sin CoMP de UL (recepción conjunta intrasitio trisectorial 3) y precodificación del UL (precodificadores de 4 puertos de grado 1 de la versión 10). En el caso de la “no precodificación”, se usa una transmisión monoantena, mientras que en “precodificación” se usan 4 elementos de antena (1x2 X-pol, separación = 0,5 λ).

[0733] La diversidad del retraso cíclico (CDD) o los códigos espacio-tiempo también pueden considerarse para proporcionar diversidad adicional de frecuencias con especificaciones claras. Muchas antenas de recepción proporcionan diversidad de recepción y medios para maximizar la relación entre la señal y la interferencia/ruido (SINR) recibida tras la combinación de la recepción en el receptor. Los esquemas de diversidad tienen el beneficio de requerir menos conocimiento del canal que los de precodificación.

[0734] También pueden usarse varios elementos de antena para crear haces de antena direccionales del lado del transmisor y/o del receptor para aumentar la SINR recibida y, de este modo, la confiabilidad. Evidentemente, se mejora la SINR siempre que el haz apunte en la dirección correcta y, por lo tanto, la conformación del haz requiere al menos cierto conocimiento del canal para determinar la dirección correcta del haz.

[0735] Características de capa 2

[0736] En esta sección, se describen las características de capa 2 en la RAN para admitir el aprovisionamiento de URLLC. Si bien se han introducido muchas características para LTE y NR en la versión 15 a fin de proporcionar el soporte fundamental para URLLC, estudios actuales para la normalización de la versión 16 buscan mejorar la eficiencia del sistema al proporcionar URLLC y también, en particular, buscan dar soporte a la integración de TSN, es decir, admisión de diversos flujos de tráfico con diferentes requisitos de QoS. La premisa aquí es que no solo se debería transmitir con eficiencia el tráfico no crítico, sino que los demás flujos de tráfico deberían recibir una latencia determinística. En un escenario de TSN, estos flujos de tráfico son por lo general, aunque no necesariamente, periódicos. En general, abordamos un escenario donde el conocimiento completo del momento en que llega el tráfico al gNB o al UE, cuál es su tamaño y con qué patrón o periodo llega no está disponible a priori. Investigamos la referencia de la versión 15 y las mejoras en las secciones siguientes a SR y BSR, la preplanificación para el tráfico cíclico, la multiplexación de UE y la duplicación de PDCP.

[0737] Cabe señalar que las características de L2 son generalmente independientes de si se utiliza FDD o TDD.

[0738] Los informes de estado del búfer (BSR) y las solicitudes de programación (SR) son los dos métodos que el UE puede utilizar para indicar que los datos están disponibles en el búfer de transmisión. Estas indicaciones

pueden hacer que la red proporcione una concesión, es decir, recursos UL-SCH al UE para permitir transmisiones de datos. Esto se conoce comúnmente como programación dinámica. En la Figura 67, se muestra un ejemplo de funcionamiento de SR y BSR.

[0739] En pocas palabras, una de las principales diferencias entre SR y BSR es que SR es una indicación de un bit en PUCCH que indica que el UE tiene datos para transmisión, mientras que BSR proporciona explícitamente un valor aproximado de la cantidad de datos que el UE tiene en su búfer por grupo de canales lógicos. El BSR se transmite en un elemento de control MAC (CE) que se transmite en el PUSCH.

[0740] En la Versión 15 de NR, se puede configurar una configuración de SR por cada canal lógico y se pueden configurar varios canales lógicos con la misma configuración de SR. El SR se transmite en el PUCCH. En una parte de ancho de banda (BWP), un SR puede configurarse con, como máximo, un recurso PUCCH. Esto significa que, en NR, la red puede configurar múltiples configuraciones de SR que, potencialmente, podrían usarse para diferentes tipos de tráfico.

El procedimiento se puede resumir de la siguiente manera:

- Llegan datos de un determinado canal lógico.
- Un BSR regular se activa debido a la llegada, siempre que se cumplan los criterios de activación especificados.
- No hay recursos PUSCH disponibles para transmitir el BSR.
- Un SR se activa y se transmite en el recurso SR asociado al canal lógico que activó el BSR.

[0741] La programación dinámica introduce un retraso en las transmisiones de datos, como se muestra en la Figura 67. Este retraso depende de la periodicidad/desplazamiento de la configuración de SR y del tiempo que tarda la red en asignar recursos y transmitir una concesión.

[0742] Es posible que algunos servicios y tráfico de IoT industrial deban cumplir requisitos de retraso estrictos. Las “múltiples configuraciones de SR”, como se especifica en la Versión 15, son por lo tanto una característica que puede desempeñar un papel clave para asegurar la diferenciación del tráfico y asegurar que se cumplan los requisitos de retraso. En la Figura 68, se muestra un ejemplo, que muestra múltiples configuraciones de SR asignadas a diferentes tipos de tráfico.

[0743] El Informe de estado del búfer (BSR), como se especifica, es transmitido por el UE en el PUSCH. El BSR se transmite como un elemento de control MAC en la MAC PDU. El propósito del BSR es indicar la cantidad aproximada de datos en los búferes. Este informe se indica por grupo de canales lógicos (LCG). Cada canal lógico estará asociado a un LCG. Hay 8 LCG. En escenarios en los que es necesario diferenciar entre un conjunto limitado de perfiles de tráfico (DRB), el número de LCG puede ser suficiente para proporcionar una correspondencia 1 a 1 entre canales lógicos y LCG.

[0744] Hay 4 formatos de BSR diferentes y, dependiendo del formato seleccionado, el UE puede indicar el estado del búfer de uno o más grupos de canales lógicos.

[0745] El BSR puede activarse mediante uno de los siguientes mecanismos:

- BSR regular: Un BSR regular se activa cuando un canal lógico que pertenece a un determinado LCG recibe nuevos datos UL para su transmisión. Además, estos nuevos datos deben cumplir una de las dos condiciones siguientes: los nuevos datos pertenecen a un canal lógico con mayor prioridad que cualquiera de los otros canales lógicos que tienen datos; o, no hay otros datos disponibles para transmisión en el LCG en ninguno de los canales lógicos. Un BSR regular nunca se activará si se reciben más datos en otro canal lógico determinado y ese canal lógico ya tiene datos en el búfer. Un BSR regular solo puede utilizar los formatos BSR corto y largo.

- BSR periódico: Un BSR periódico se activa periódicamente siguiendo la configuración proporcionada por la red.
Un BSR periódico solo puede utilizar los formatos BSR corto y largo.
- BSR de relleno: Cuando el UE recibe una concesión mayor de la que necesita para transmitir los datos, el UE puede transmitir un BSR en lugar de bits de relleno. Dependiendo del número de bits de relleno, el UE transmitirá un formato BSR diferente.
El BSR de relleno puede utilizar todos los formatos BSR.

[0746] SR y BSR desempeñarán un papel importante para ayudar al tráfico de IoT industrial a cumplir con los diferentes requisitos de cada tráfico, especialmente cuando la periodicidad y el tamaño del tráfico son impredecibles.

[0747] La “configuración de múltiple SR” puede ser una característica clave para diferenciar el tráfico que tiene requisitos de retraso estrictos y programación dinámica como método preferido para asignar recursos de red UL. Una configuración de SR específica podría asignarse a un canal lógico específico (que podría transportar tráfico con requisitos específicos, p. ej., requisito de latencia muy baja). Cuando la red recibe este SR específico (que se puede identificar por los recursos específicos que se le asignan), la red puede identificar que hay tráfico con requisitos de baja latencia esperando la transmisión. Entonces, la red puede priorizar la asignación de recursos a este tráfico.

[0748] Una posibilidad es que el tráfico de IoT industrial predecible (periodicidad/tamaños de paquete conocidos) se asigne a una configuración de SR específica. La configuración de SR identificaría entonces el tráfico que permitiría a la red asignar los recursos apropiados para ese tráfico específico. Por otro lado, los LCH con tráfico no predecible (se desconocen los tamaños de los paquetes) se asignarían a una configuración de SR genérica, una SR genérica compartida por varios otros LCH. En este caso, la configuración de SR no puede ayudar a la red a identificar el tráfico y, por lo tanto, el LCH debe depender de las indicaciones de BSR para proporcionar información relevante a

la red que podría asistir en las decisiones de programación. Por lo tanto, los informes de estado del búfer también serán una característica clave, especialmente en escenarios en los que se espera un tráfico no predecible.

[0749] Se espera que el IoT industrial se base en el procedimiento SR diseñado en la Versión 15, pero podrían introducirse mejoras menores en la Versión 16. Por ejemplo, depende del UE decidir qué configuración de SR se usa cuando hay varios SR en trámite. Este comportamiento del UE podría cambiarse de modo que el UE seleccione la configuración de SR vinculada al canal lógico de mayor prioridad. Sin embargo, esto se analizó durante la Versión 15 sin llegar a ningún acuerdo posible. Además, en la actualidad, aunque se asigna un recurso PUCCH frecuente para permitir transmisiones SR rápidas cuando llegan datos críticos, cuando hay una transmisión PUSCH larga en curso, la SR solo se puede enviar al recurso PUCCH después de esta duración PUSCH larga, ya que PUCCH y PUSCH no pueden superponerse según la memoria actual. En este caso, BSR podría transmitirse a través de PUSCH, pero dado que PUSCH es largo (longitud de intervalo, numerología OFDM baja), también puede estar asociado con un retraso de decodificación/procesamiento largo. Esto se muestra en la Figura 69, que muestra SR retardada debido a UL-SCH prolongado en curso. Por lo tanto, en la Versión 16 se prevé permitir la transmisión PUCCH en paralelo para SR en recursos PUSCH superpuestos, reduciendo la latencia para SR.

[0750] BSR para IoT industrial también se basará en la Versión 15 y es posible que también se introduzcan mejoras menores. Durante el desarrollo de la Versión 15, se propuso que los datos nuevos siempre activarían un BSR. Este comportamiento no fue aceptado y se adoptó el comportamiento de LTE. Eso significa que los datos nuevos que llegan a un canal lógico no activan un BSR regular si el grupo de canales lógicos ya tenía datos almacenados en búfer, o los datos nuevos pertenecen a un canal lógico de menor prioridad. Sin embargo, para la Versión 16 de IoT industrial, se ha analizado nuevamente si los nuevos

datos siempre activarían un BSR, lo que tendría la ventaja de que, de lo contrario, se pueden evitar las transmisiones periódicas frecuentes de BSR.

[0751] Otro aspecto no analizado en estas secciones de SR/BSR es la prioridad del MAC CE para BSR en el procedimiento de priorización de canales lógicos. MAC CE para BSR, con la excepción del BSR de relleno, tiene una prioridad más alta que los datos de cualquier DRB. En otras palabras, MAC CE para BSR se transmite antes de que cualquier dato de usuario según la operación actual. Sin embargo, son posibles algunas optimizaciones dirigidas a IoT industrial NR:

- La prioridad del MAC CE para BSR es configurable, es decir, puede ser modificada (reducida) por la red.
- De esta manera, ciertos DRB, p. ej., los DRB que transportan datos con requisitos de retraso muy bajos, pueden tener una prioridad más alta que MAC CE BSR.

[0752] A continuación, abordamos las concesiones de preprogramación que se utilizan tanto en la Versión 15 como en la 16. Tales concesiones eliminan el retraso introducido al esperar las ocasiones de transmisión de SR y la respuesta correspondiente (es decir, concesión).

[0753] En la Versión 15, cuando un UE no tiene recursos UL asignados y los datos están disponibles, el UE debe someterse al procedimiento de solicitud de programación, es decir, solicitar recursos UL del gNB, que luego se conceden. Esto viene con un retraso de acceso UL adicional, no deseado para la transmisión de tráfico crítico, como datos de flujo TSN. La preprogramación de concesiones es una técnica para evitar la latencia adicional resultante de los procedimientos de SR a concesión cuando se utiliza la programación dinámica, como se ilustra en la Figura 70.

[0754] La preprogramación se puede realizar mediante la implementación por parte del gNB enviando proactivamente múltiples concesiones de UL para transmisiones de UL potenciales. El estándar en la Versión 15 de LTE y NR

respalda este concepto al permitir la preprogramación de múltiples concesiones UL periódicas. Se basa en el concepto de programación semipersistente (SPS) introducido originalmente para LTE VOIP. En NR, dicho esquema de preprogramación se denomina programación semipersistente en el enlace descendente (DL), mientras que se denomina concesión configurada (Tipo 1 y Tipo 2) en el enlace ascendente (UL).

[0755] La asignación de NR DL SPS es la misma que en LTE, que es una asignación configurada proporcionada por la señal PDCCH/L1 (también se puede desactivar/activar).

[0756] La concesión configurada (CG) de NR UL se ha especificado en dos variantes, concesión configurada tipo 1 y tipo 2. En ambas variantes, gNB preasigna los recursos de las concesiones (a través de diferentes señalizaciones) que incluyen:

- Recursos de frecuencia de tiempo (a través de RRC para el tipo 1 y DCI para el tipo 2)
- periodo (a través de RRC), desplazamiento (a través de RRC para el Tipo 1 e implícitamente en la recepción de DCI para el Tipo 2)
- MCS, parámetros de potencia (a través de RRC para el tipo 1 y DCI para el tipo 2)
- DMRS, repeticiones (a través de RRC para Tipo 1 y DCI para Tipo 2)
- Configuración HARQ; (a través de RRC)
- Activar/desactivar mensaje (a través de DCI para Tipo 2).

[0757] Ambas concesiones configuradas tipo 1 y tipo 2 comparten varios puntos en común, tales como:

- “Programación configurada” CS RNTI utilizada en PDCCH para activación/desactivación y retransmisiones.
- La retransmisión tanto para el Tipo 1 como para el Tipo 2 se basa únicamente en la concesión dinámica a CS RNTI (es decir, las retransmisiones no se envían utilizando las concesiones UL periódicas).

- La concesión dinámica con C-RNTI anula una concesión configurada para la transmisión inicial en caso de superposición en el dominio de tiempo.
- Hay como máximo una configuración activa de Tipo 1 o Tipo 2 por celda de servicio y BWP

[0758] Una diferencia entre el Tipo 1 y el Tipo 2 son los procedimientos de configuración. Los procedimientos del CG Tipo 1 se ilustran en la Figura 71, mientras que los procedimientos del CG Tipo 2 se ilustran en la Figura 72. Se puede argumentar que dado que el CG Tipo 1 se activa a través de RRC, es más adecuado para tráfico con periodicidad de llegada determinista (una de las características de TSN). Por otro lado, los CG de Tipo 2 son adecuados para admitir flujos con desalineación incierta, donde la concesión se puede reconfigurar rápidamente con DCI (señal PHY).

[0759] Una desventaja de la concesión configurada es la baja utilización de los recursos concedidos cuando se utilizan para servir tráfico impredecible, pero crítico, porque gNB asignará recursos sin saber si el tráfico llegará o no.

[0760] El manejo del tráfico de TSN será un tema importante en la Versión 16. Aquí se analizan varios enfoques para admitir múltiples flujos de tráfico, es decir, flujos TSN, donde cada flujo tiene características específicas, es decir, periodicidad, desplazamiento de tiempo, fiabilidad objetivo, latencia, etc., como se ilustra en la Figura 73 y la Figura 74. La Figura 73 ilustra flujos deterministas industriales con diferentes tamaños de carga útil y de llegada. La Figura 74 ilustra flujos deterministas industriales con diferentes patrones y periodicidad, y diferentes requisitos de latencia y fiabilidad.

[0761] Cada una de las características del flujo de TSN desempeña un papel importante en la programación de los usuarios. Por ejemplo, un flujo de TSN con datos periódicos, pero con un requisito de latencia ultrabaja puede adaptarse mejor (con el mínimo de recursos de red posible) si la red conoce exactamente la periodicidad y la llegada de dichos datos de flujo de TSN. Sin embargo, si la red no conoce tales características, sobredimensionará la

concesión para evitar violar el requisito de latencia estricto, lo que potencialmente dará como resultado un manejo ineficaz de los recursos de radio. Además, se asume que se puede alcanzar una fiabilidad objetivo del flujo de datos TSN del UE con un índice MCS específico y un número de repeticiones. Solo si la red radioeléctrica conoce con precisión tales requisitos, no asignará recursos de manera excesiva o insuficiente. A continuación se asume que estas características del tráfico no son necesariamente conocidas, especialmente cuando se trata de múltiples flujos TSN superpuestos y otro tráfico no crítico. Por lo tanto, las características se investigan a continuación, lo que le da al gNB la posibilidad de programar de manera eficiente y robusta la combinación de tráfico.

[0762] En la Versión 15, una sola configuración de CG dentro de una celda/BWP puede admitir flujos industriales con periodos similares y otros requisitos (tales como latencia, fiabilidad, fluctuación, etc.). Sin embargo, en las redes industriales, como se señala en la Versión 16, los múltiples flujos (flujos de datos) generados en un nodo son un caso de uso muy común, p. ej., un brazo robótico con varios actuadores, sensores y dispositivos de monitoreo.

[0763] Como resultado, estos múltiples flujos difieren en sus características, p. ej., el tiempo de llegada y el tamaño de la carga útil, como se muestra en la Figura 73. Uno de los flujos tiene una carga útil de tamaño mediano (en comparación con los demás. Además, el paquete de este flujo llega al desplazamiento cero, seguido de los paquetes de los otros dos flujos, que llegan a los desplazamientos T y 2T, respectivamente.

[0764] Además, múltiples flujos se pueden caracterizar por diferentes requisitos de periodicidad, latencia y fiabilidad, como se muestra en la Figura 74. Suponemos que el flujo con el contorno punteado requiere una fiabilidad y latencia no tan críticas, mientras que los otros dos flujos requieren un rendimiento de latencia y fiabilidad exigentes. Los parámetros de configuración de la concesión, tales como MCS y repetición, serán diferentes para los primeros en comparación con los segundos. Además, algunas corrientes difieren en su

patrón de llegada y periodicidad con respecto a otras. Debido a sus diferentes características de flujo, todos estos flujos no se pueden admitir con una única configuración (CG), incluso si el CG se admite con una periodicidad muy corta, porque el CG tendrá un único conjunto de parámetros de configuración, p. ej., índice de MCS, latencia, periodo de intervalo, repetición K.

[0765] Dado que gNB es responsable de asignar las configuraciones del CG, cualquier superposición entre las configuraciones se produce con el conocimiento de la red radioeléctrica. gNB podría asignar configuraciones superpuestas para abordar varias situaciones hipotéticas: 1) superación de la desalineación de la llegada de datos críticos 2) ubicación de múltiples flujos de TSN con diferentes características.

Dependiendo de las características de las configuraciones, las superposiciones se pueden dividir en varios casos:

- Caso a) características similares (p. ej., MCS, periodo, K-Rep) excepto el símbolo de inicio (desplazamiento).
- Caso b) hora de inicio similar e igual periodicidad (configuraciones completamente superpuestas) pero diferente (MCS y K-Rep).
- Caso c) diferentes desplazamientos y/o diferente prioridad y MCS/K-Rep.

[0766] Un problema en las configuraciones superpuestas es el fundamento de decisión del UE indefinida para seleccionar cuál de las configuraciones superpuestas. Suponemos que un gNB asigna una configuración superpuesta similar con diferente desplazamiento en el tiempo para superar la desalineación en la llegada de datos críticos, como se muestra en la Figura 75. En tal caso, el UE selecciona la configuración más cercana (en el tiempo), al llegar el tráfico crítico.

[0767] Las aplicaciones industriales plantean consideraciones adicionales relacionadas con las restricciones y la multiplexación de la priorización de canales lógicos (LCP). A continuación, se describen los procedimientos de LCP

de referencia. Luego, se describen técnicas para mejorar la multiplexación para escenarios de servicios mixtos industriales.

[0768] Los sistemas de comunicación de servicios mixtos deben abordar los escenarios Inter-UE e Intra-UE; sin embargo, en esta sección nos enfocamos en el intra-UE. En tales sistemas, se supone que un UE tiene varios tipos de tráfico que se clasifican como tráfico crítico y no crítico. Suponemos que el tráfico crítico se sirve mejor con concesiones configuradas, porque este tráfico requiere una latencia muy baja y alta fiabilidad en el enlace ascendente. Se prevé además que gNB sobreaprovisionaría los recursos de concesión configurados para servir dicho tráfico, debido a la incertidumbre sobre el patrón de tráfico. Por otro lado, el tráfico no crítico tiene una latencia flexible y un requisito de fiabilidad y no se beneficia de transmisiones demasiado robustas; por el contrario: los recursos del sistema podrían desperdiciarse transmitiendo grandes volúmenes de tráfico no crítico con concesiones robustas en un escenario de capacidad limitada. Un caso de uso común que representa y motiva dicho caso de servicios mixtos es un brazo robotizado industrial que tiene actuadores, sensores y cámaras integrados y conectados al mismo dispositivo de comunicación/UE. Varios problemas de RAN1/2 surgen cuando dicho tráfico crítico se superpone con uno no crítico.

[0769] Los procedimientos LCP se aplican siempre que se va a realizar una nueva transmisión, y se utilizan principalmente para especificar cómo y qué LCH van a llenar la MAC PDU que se enviará por el PUSCH a través de PHY. Hay principalmente dos partes en los procedimientos de LCP, una que se enfoca en seleccionar los LCH que se incluirán en la MAC PDU, y la otra que se enfoca en la priorización y la cantidad de datos de cada LCH (entre los seleccionados) para llenar la MAC PDU.

[0770] La selección de LCH se denomina procedimientos de restricción de LCP. Dicho procedimiento está controlado por varias restricciones configuradas a través de RRC. Cada una de estas restricciones permite/prohíbe que el LCH

se incluya en la MAC PDU construida. Las siguientes son las restricciones de LCP existentes en la Versión 15:

- allowedSCS-List, que establece el o los espaciados de la subportadora permitidos para la transmisión;
- maxPUSCH-Duration, que establece la duración máxima de PUSCH permitida para la transmisión;
- configuredGrantType1Allowed, que establece si se puede utilizar una concesión configurada Tipo 1 para la transmisión;
- allowedServingCells, que establece las celdas permitidas para la transmisión.

[0771] La prioridad de canales lógicos se configura por entidad MAC por canal lógico. RRC configura los parámetros del LCP para controlar la multiplexación de los datos del LCH de enlace ascendente dentro del MAC. Dichos parámetros de LCP se expresan como:

- prioridad, donde un valor de prioridad creciente indica un nivel de prioridad más bajo;
- prioritisedBitRate, que establece la tasa de bits priorizada (PBR);
- bucketSizeDuration, que establece la duración del tamaño del periodo (BSD).

[0772] En la Figura 76, se ilustra un ejemplo de cómo se produce la multiplexación de LCP. En este ejemplo, solo se considera la restricción “maxPUSCHDuration”. Los canales lógicos de mayor a menor prioridad se encuentran de izquierda a derecha en la figura. Los LCH de mayor prioridad se colocan primero en la MAC PDU, seguidos de los de menor prioridad. Además, la velocidad de bits de prioridad (PBR) controla el número de bits que se incluirán en la MAC PDU por LCH.

[0773] A continuación, se abordan varios escenarios que resultan de la suposición de servicios mixtos intra-UE. En tal escenario, asumimos que un único UE tiene que servir tanto al tráfico crítico como no crítico. El tráfico crítico

puede ser aperiódico o periódico y requiere una codificación más robusta con una concesión de tamaño relativamente pequeña, en comparación con el requisito de concesión de tráfico no crítico. Un requisito de los datos críticos es que se programen utilizando una concesión configurada con codificación robusta periódica para evitar la latencia inducida por SR y su procedimiento de respuesta.

[0774] Suponemos además que el programador no tiene un conocimiento perfecto de la llegada de datos críticos. Esto significa que el tráfico crítico es aperiódico o no es completamente periódico, es decir, la llegada periódica del tráfico puede verse afectada por alguna fluctuación, o simplemente se pueden omitir algunas oportunidades de transmisión periódica (debido a datos no disponibles). En tales casos, la red/el programador no puede idealmente alinear la programación de concesiones configuradas periódicas con las ocurrencias de llegada de paquetes, lo que produce los problemas descritos en las siguientes subsecciones.

[0775] Además, si se requieren periodicidades cortas de la concesión configurada para atender los requisitos de latencia muy baja del tráfico crítico, la concesión configurada de periodicidad corta dará como resultado la imposición de limitaciones de programación sobre otro tráfico no crítico en el UE. Ejemplos de tales limitaciones de programación impuestas son 1) solo se puede asignar una duración breve de la concesión dinámica entre las concesiones configuradas, 2) la concesión dinámica debe superponerse con la concesión configurada.

[0776] <u>Problema 1: Tráfico no crítico enviado en una concesión configurada robusta</u>

[0777] En esta subsección, abordamos el problema que surge cuando el tráfico no crítico se acomoda mediante una concesión configurada robusta (es decir, destinada al tráfico crítico). Asumimos la existencia de tráfico no crítico con disponibilidad esporádica. Dicho tráfico se programaría en recursos de

concesión configurados robustos que debían proporcionarse para el tráfico crítico esporádico con una periodicidad corta. Como se ilustra en la Figura 77, si el tráfico eMBB (etiquetado como 10KB) se acomoda en dicha concesión configurada (1KB por ocasión de transmisión), la transmisión eMBB tarda demasiado (p. ej., hasta el factor 10, o hasta que la red recibe BSR) y conduce a interferencia UL innecesaria, que es especialmente perjudicial si los recursos de concesión configurada se comparten entre los usuarios.

[0778] Se pueden introducir nuevas restricciones de LCH en el canal lógico (LCH) que contiene tráfico no crítico, como se muestra en la Figura 78, para mitigar este problema. Por ejemplo, la aplicación de restricciones como *"ConfiguredGrantType2Allowed"* o *"max ReliabilityAllowed*" a un LCH que admite tráfico crítico permite al UE evitar que los datos de un LCH no crítico se envíen utilizando recursos demasiado robustos.

[0779] Problema 2: Tráfico crítico en concesiones dinámicas no robustas

[0780] Otro surge cuando un gNB necesita programar una concesión dinámica espectralmente eficiente para tráfico no crítico además de concesiones configuradas robustas destinadas al tráfico crítico esporádico. Esto se muestra en la Figura 79, que muestra la latencia adicional cuando el tráfico crítico se envía a través de una concesión corta no robusta. Suponiendo la misma duración PUSCH de concesión dinámica y configurada, la restricción "maxPUSCHDuration" existente no es eficaz/suficiente. Se dará prioridad al tráfico crítico para que se envíe en una concesión dinámica no robusta y, por lo tanto, la transmisión podría fallar, lo que provocaría retardos en la retransmisión.

[0781] Para superar este problema, se puede introducir una nueva restricción de LCH, es decir, *"DynamicGrantAllowed"** o *"minimumReliabilityRequired"*. Dicha restricción impedirá que el LCH crítico se envíe en una concesión dinámica no robusta, como se ilustra en la Figura 80.

[0782] Problema 3: Problemas con la concesión dinámica que anula la concesión configurada

[0783] Según la memoria actual, una concesión configurada siempre se anula si se asignó una concesión dinámica superpuesta. En algunos escenarios, una concesión dinámica no robusta puede superponerse con una concesión configurada robusta, como se ilustra en la Figura 81. Una razón para tal escenario es que gNB debe asignar una concesión configurada de periodicidad corta para acomodar el tráfico crítico esporádico de baja latencia.

[0784] Para resolver este problema, una concesión configurada puede priorizarse condicionalmente, es decir, si los datos críticos están disponibles para su transmisión sobre la concesión configurada robusta cuando hay una concesión dinámica superpuesta, entonces los datos críticos siempre se priorizan como se ilustra en la Figura 82, que muestra el beneficio de habilitar la concesión configurada para anular la concesión dinámica condicionalmente a la llegada de datos críticos. De lo contrario, se puede priorizar la concesión dinámica. De esta manera, se pueden programar recursos eficientes grandes superpuestos espectralmente para datos no críticos sin correr el riesgo de que se transmitan datos críticos en ellos. Sin embargo, para emplear esta metodología, un gNB necesita decodificar dos transmisiones potenciales: concesión dinámica y concesión configurada. Cabe destacar que este problema también podría resolverse con la solución del problema 2, es decir, proporcionando el LCH de tráfico crítico con restricción para no transmitir en concesión dinámica. Sin esta solución, puede haber casos en los que se programen concesiones dinámicas frecuentes y produzcan retardos inevitables para el tráfico crítico.

[0785] Problema 4: Prioridad intra-UE UL entre concesiones de diferentes duraciones de PUSCH

[0786] En el escenario de tráfico mixto industrial, para permitir una alta eficiencia espectral, es posible que gNB desee asignar concesiones más largas para acomodar el tráfico no crítico. Esto aumentará la demora de envío de cualquier dato crítico esporádico, como se ilustra en la Figura 83, que muestra un ejemplo de concesiones superpuestas con diferentes duraciones de PUSCH, ya que en la Versión 15, la transmisión actual no puede ser interrumpida por otra transmisión. Para resolver esto, la capa física (PHY) debe permitir detener un PUSCH en curso (largo) y transmitir un PUSCH nuevo (corto con mayor prioridad) según una concesión corta superpuesta, como se ilustra en la Figura 84, que muestra cómo la habilitación de la prioridad intra-UE mejora la eficiencia de la red, según el escenario.

[0787] La duplicación de PDCP es otro tema a analizar. Como método para mejorar la fiabilidad en LTE, NR y EN-DC, se considera la conectividad múltiple dentro de la RAN. Si bien estas características se enfocaban anteriormente en mejorar el rendimiento del usuario, al agregar recursos de los diferentes operadores, el enfoque en 3GPP ha cambiado recientemente y se han desarrollado nuevas características para LTE (y también para NR) para mejorar la fiabilidad de la transmisión.

[0788] 3GPP introdujo la agregación de portadoras (CA) en la Versión 10, como un método para que el UE se conecte a través de múltiples portadoras a una única estación base. En la CA, el punto de agregación es la entidad de control de acceso al medio (MAC), que permite a un programador centralizado distribuir paquetes y asignar recursos, p. ej., según el conocimiento del canal entre todos los operadores, pero también requiere una estrecha integración de los protocolos de radio involucrados. Con DC o conectividad múltiple, la agregación de recursos ocurre en PDCP. De esta manera, dos protocolos MAC con sus entidades de programación separadas se pueden ejecutar en dos nodos

distintos, sin requisitos estrictos sobre su interconexión y, al mismo tiempo, permiten un mayor rendimiento del usuario.

[0789] En 3GPP Versión 15 LTE y NR, ambos conceptos de arquitectura de CA y DC se reutilizan para ayudar a mejorar la fiabilidad como complemento a las mejoras de fiabilidad proporcionadas por las características de PHY. Esto se logra mediante la duplicación de paquetes, que se ha decidido utilizar en la capa de PDCP. Un paquete de datos entrantes, p. ej., de un servicio URLLC, se duplica en PDCP y cada duplicado se somete a procedimientos en los protocolos de capa inferior RLC, MAC, PHY y, por lo tanto, se beneficia individualmente de, p. ej., sus esquemas de fiabilidad de retransmisión. Finalmente, el paquete de datos se transmitirá a través de diferentes portadoras de frecuencia al UE, lo que asegura trayectos de transmisión no correlacionados debido a la diversidad de frecuencia, y en el caso de transmisiones de DC desde diferentes sitios, proporcionando así macrodiversidad. El método se ilustra en la Figura 85 tanto para CA como para DC.

[0790] La diversidad de frecuencias entre portadoras va más allá de los esquemas de diversidad ofrecidos por la capa física en la misma portadora. En comparación con la diversidad de tiempo, p. ej., esquemas de repetición, tiene la ventaja de mitigar las potenciales correlaciones de tiempo de las repeticiones, que, p. ej., podrían ocurrir en una portadora por situaciones de bloqueo temporal. Además, la diversidad de portadora permite, como se muestra en la Figura 85 para DC, la colocación de puntos de transmisión en diferentes ubicaciones, reduciendo así aún más las potenciales correlaciones de la transmisión por la diversidad espacial introducida.

[0791] La conectividad múltiple con duplicación de paquetes en PDCP tiene la ventaja de depender menos de la utilización de esquemas de retransmisión de capa inferior (solicitud de repetición automatizada híbrida (HARQ) y retransmisión RLC) para lograr la métrica de fiabilidad objetivo y, de esta manera, se reduce la latencia que se garantiza con cierta fiabilidad. Por

ejemplo, supongamos que la PHY logra para cada transmisión HARQ una probabilidad de error residual del 0,1%. En el 0,1% de los casos se requiere una retransmisión, lo que aumenta la latencia de transmisión en un tiempo de ida y vuelta HARQ (RTT) adicional. Con la duplicación de paquetes, la probabilidad de que fallen ambas transmisiones HARQ no correlacionadas es del 0,1%*0,1%. Eso significa que en 1-10^-6 de los casos se logra la latencia baja sin el RTT de HARQ adicional, ya que simplemente se acepta y entrega el primer duplicado de paquete decodificable, mientras que el segundo se descarta (en PDCP). Se puede encontrar una ilustración de esta relación en la Figura 86, que muestra errores residuales con y sin duplicación.

[0792] Se considera que la duplicación de paquetes es aplicable tanto al plano de usuario como al plano de control, lo que significa que también los mensajes RRC se pueden duplicar en la capa PDCP. De esta manera, se puede mejorar la latencia/fiabilidad de la transferencia de mensajes RRC, que es, p. ej., importante para la señalización relacionada con el traspaso a fin de evitar fallas en los enlaces de radio.

[0793] Además, la multiconectividad tiene el potencial de permitir traspasos fiables sin interrupciones en el traspaso de los datos del plano de usuario. Por lo tanto, el traspaso se puede realizar en dos pasos, es decir, un portadora se mueve a la vez desde el nodo de origen al de destino y, por lo tanto, el UE mantiene siempre al menos una conexión. Durante el procedimiento, se puede emplear la duplicación de paquetes, de modo que los paquetes estén disponibles en ambos nodos para una transmisión sin interrupciones al UE.

[0794] Para admitir la duplicación de PDCP en CA, se configura una entidad RLC secundaria para el portador de radio (no dividido) que se utiliza para admitir la duplicación. Ver la Figura 85. Para asegurar el aumento de diversidad, se pueden definir restricciones para los canales lógicos asociados con estas dos entidades RLC, de modo que la transmisión de cada entidad RLC solo se permita en una portadora configurada (celdas primarias o secundarias).

[0795] Además, para permitir el uso de la duplicación PDCP como una “herramienta de programación”, es decir, permitir activar y desactivar la duplicación solo cuando sea necesario, es decir, ser dinámicamente el programador, se han especificado elementos de control MAC.

[0796] En la Versión 16, dentro de IoT NR-Industrial, se prevén mejoras en la duplicación de PDCP en NR, que permiten la duplicación en más de dos enlaces, es decir, la duplicación con base en DC y la con base en CA pueden usarse juntas, o se considera la duplicación con base en CA con más de dos portadoras. Además, se investigan las mejoras con respecto a la eficiencia de la duplicación: en lugar de duplicar siempre, el transmisor puede diferir el envío del duplicado si el original ya había estado en vuelo durante un tiempo determinado. El razonamiento es que un duplicado cumple su propósito de aumentar la fiabilidad de alcanzar un límite de latencia solo si tanto el original como el duplicado se reciben dentro de este límite de latencia. También se podría imaginar un escenario en el que los duplicados solo se transmitan junto con una retransmisión, es decir, con base en NACK. Es decir, se mejora la fiabilidad de la retransmisión, mientras que la fiabilidad de la transmisión inicial sigue siendo la misma.

[0797] La Tabla 20 ilustra para qué opciones de portadora, UP, CP, etc., se admite la duplicación.

	M CG SRB	M CG DRB	S CG SRB	S CG DRB	S plit SRB	S plit DRB
	Duplicación de CA				Duplicación de DC	
LTE/ LTE	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí (solo con dupl)	Sí (con retroceso)

NR/ NR	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
EN-DC (con NR PDCP)	No (sería LTE CA)	No (sería LTE CA)	Sí	Sí	Sí (no de SN)	Sí

Tabla 20: Compatibilidad con la duplicación

[0798] Aprovisionamiento de tiempo de referencia

[0799] Una característica de interés de IoT NR-Industrial es la de proporcionar aplicaciones con base en UE (p. ej., que residen en dispositivos de IoT industrial conectados a un UE a través de puertos ethernet) con información de reloj derivada de relojes de origen que residen en redes externas a la red 5G. Los relojes de origen externo se pueden proporcionar además del reloj del sistema 5G que es interno al sistema 5G. Los relojes derivados de fuentes externas pueden verse como relojes de trabajo correspondientes a dominios de trabajo que residen dentro del contexto de un “dominio universal”, como se indica en la Figura 87.

[0800] El “dominio universal” se basa en el reloj del sistema 5G y se utiliza para alinear las operaciones y los eventos cronológicamente dentro de una fábrica (el dominio universal). Los relojes de trabajo se utilizan para admitir dominios de trabajo locales dentro del dominio universal, donde cada dominio de trabajo local consiste en un conjunto de máquinas. Los diferentes dominios de trabajo pueden tener diferentes escalas de tiempo y precisión de sincronización, por lo que requieren soporte para más de un reloj de trabajo dentro del dominio universal.

[0801] Dentro del alcance de la Versión 15, RAN2 se ha enfocado principalmente en el método mediante el cual se puede entregar un único valor

de tiempo de referencia a través de la interfaz de radio desde un gNB a un UE y no se ha interesado ni ha tenido conocimiento de ningún caso de uso, donde múltiples valores de tiempo de referencia debieran transmitirse a un UE. La discusión en curso dentro de SA2/RAN3 con respecto a la posible necesidad de entregar múltiples valores de tiempo de referencia/reloj de trabajo a un UE continúa impulsando mejoras adicionales en esta área.

[0802] Un sistema 5G admite un reloj interno de 5G que puede basarse en una fuente de reloj muy precisa y estable (p. ej., una hora GPS) y distribuirse a través de la red 5G según sea necesario, incluida la entrega a eNB y UE como información de tiempo de referencia. También es posible que un sistema 5G adquiera información de tiempo de referencia de un nodo externo (que no se considera más en el presente documento). La Versión 15 de LTE admite un método para entregar una instancia única de información de tiempo de referencia (que se supone que está disponible en un eNB) a los UE utilizando tanto el mensaje RRC como los métodos con base en SIB de la siguiente manera y como se ilustra en la Figura 88, que muestra las transmisiones BS SFN:

- Un eNB primero adquiere un valor de tiempo de referencia (p. ej., de un receptor GPS interno a la red 5G)
- El eNB modifica el tiempo de referencia adquirido al valor que se proyecta que tenga cuando un punto de referencia específico en la estructura de la trama del sistema (p. ej., al final de SFNz) ocurre en el Punto de referencia de la antena BS (ARP) (véase el punto de referencia tR en la Figura 88).
- A continuación, se transmite un mensaje SIB/RRC que contiene el valor de tiempo de referencia proyectado y el punto de referencia correspondiente (el valor de SFNz) durante SFNx y lo recibe un UE antes de tR.
- El mensaje SIB/RRC puede indicar un valor de incertidumbre con respecto al valor del tiempo de referencia aplicable al punto de referencia tR. El valor de incertidumbre refleja (a) la precisión con la que una implementación de eNB puede asegurar que el punto de referencia tR (el final de SFNz) ocurrirá

realmente en el ARP en el tiempo de referencia indicado y (b) la precisión con la que el tiempo de referencia puede ser adquirido por el eNB.

o La incertidumbre introducida por (a) es específica de la implementación, pero se espera que sea insignificante y, por lo tanto, no se considera más.

o Cuando un nodo TSN es la fuente de información de tiempo de referencia (es decir, el nodo TSN sirve como nodo GrandMaster), se supone que se utiliza el sello de tiempo del *hardware* en el nodo GrandMaster y eNB para (b), en cuyo caso se espera que se introduzca una incertidumbre correspondiente al transportar el reloj GrandMaster a un eNB.

[0803] Para la Versión 16 de NR, se espera que se utilice un método similar a la Versión 15 de LTE, conforme se describe arriba, para obtener y entregar información de tiempo de referencia desde un gNB a uno o más UE. Sin embargo, también se espera que la Versión 16 de NR introduzca soporte para uno o más relojes de trabajo (provenientes de nodos externos en la red TSN) como información de reloj complementaria (es decir, complementaria al tiempo de referencia proporcionado para el dominio de tiempo universal). La Figura 89 muestra un caso de uso industrial con tres dominios de tiempo, donde un reloj interno de 5G sirve como el tiempo de referencia aplicable al dominio de tiempo universal (en el dominio de tiempo de 5G), así como dos relojes de trabajo suplementarios aplicables al dominio de trabajo 1 de TSN y al dominio de trabajo 2 de TSN.

[0804] El reloj interno 5G (que se muestra como 5G Grand Master) se utiliza para servir funciones relacionadas con la radio y, por lo tanto, se envía tanto al gNB como al UE (pero no está disponible para la UPF). Una vez que el gNB adquiere el reloj interno 5G (específico de la implementación), puede transmitirlo a los UE utilizando métodos de difusión (p. ej., SIB) o de unidifusión RRC. Los SFN enviados a través de la interfaz Uu se sincronizarán con el reloj

interno de 5G y, en este sentido, el UE siempre estará sincronizado con el reloj interno de 5G incluso si no se transmite explícitamente a los UE.

[0805] El gNB recibe información del reloj de trabajo de diferentes nodos TSN externos (es decir, directamente de los nodos TSN que controlan los relojes del dominio de trabajo TSN), por lo que requiere que el gNB admita la señalización PTP y múltiples dominios PTP (múltiples instancias de reloj PTP) para comunicarse con la red TSN. El gNB luego transmite los relojes de trabajo (como relojes independientes o como desplazamientos con respecto al reloj interno principal de 5G) a los UE correspondientes utilizando uno de los dos métodos siguientes:

a) Método 1: Sincronización con base en SFN

- Este método de entrega se admite dentro del contexto de la Figura 89 y es el mismo que se usa para la entrega del reloj interno 5G (reloj negro) a los UE, donde la información del reloj se sincroniza con un punto específico en la estructura de trama SFN.
- Es posible que el gNB no necesite actualizar los relojes de trabajo en los UE cada vez que recibe una señalización con base en PTP que le proporciona valores actualizados para estos relojes de trabajo. Esto se debe a que los UE pueden gestionar la desviación de estos relojes con mayor precisión (utilizando el reloj interno 5G) en comparación con la tasa de desviación del reloj que puede estar en curso en el nodo TSN de origen. El resultado neto es que el ancho de banda de la interfaz de radio consumido para el mantenimiento del reloj de trabajo puede ser menor ya que el gNB no necesitará enviar actualizaciones del reloj de trabajo a los UE cada vez que se produzcan tales actualizaciones dentro de la red TSN.
- En este método, el gNB ajusta directamente el valor de la información del reloj de trabajo que ha recibido según la ubicación dentro de la estructura SFN donde se mapea el reloj de trabajo y luego envía el valor ajustado dentro de un mensaje SIB16 o RRC.

b) Método 2: Marcas de tiempo

- En este método (también admitido en el contexto de la Figura 80), el gNB admite una función de reloj de límite según 802.1AS y, por lo tanto, obtiene un reloj de trabajo de la red TSN (utilizando el intercambio de mensajes de sincronización PTP) siempre que el nodo de origen del reloj de trabajo decide enviarlo.
- Luego, el gNB retransmite el mensaje PTP que contiene la información del reloj de trabajo (o un subconjunto de la información que contiene) a los UE como carga útil de capa superior.
- El mensaje PTP retransmitido también incluye una marca de tiempo que proporciona el valor del reloj interno 5G en el punto donde el gNB recibió el mensaje PTP.
- Al recibir el mensaje PTP retransmitido, el UE ajusta el valor del reloj de trabajo que contiene según la diferencia entre el valor actual del reloj interno 5G y el valor con marca de tiempo también incluido en el mensaje PTP retransmitido, obteniendo así el valor actual del reloj de trabajo.
- Según el método 1, es posible que el gNB no necesite retransmitir el mensaje de PTP que contiene el reloj de trabajo a los UE cada vez que lo recibe de la red TSN (porque los UE pueden gestionar la deriva de estos relojes con mayor precisión).
- En este método, el gNB no ajusta el valor de la información del reloj de trabajo que ha recibido, sino que lo complementa con información de la marca de tiempo insertada directamente en el mismo mensaje PTP utilizado para enviar información de reloj de trabajo. Luego, puede enviar el mensaje PTP modificado dentro de un mensaje SIB o RRC o, para reducir el tamaño de la carga útil en aras de la eficiencia del ancho de banda, el gNB solo puede asignar la información del reloj de trabajo sin modificar y la marca de tiempo correspondiente en un mensaje SIB16 o RRC.

[0806] Para los métodos 1 y 2 anteriores, la frecuencia con la que un UE distribuye los relojes de trabajo a las estaciones finales puede verse como una implementación específica. Cuando se realiza, utiliza el intercambio de mensajes de sincronización PTP como se realiza en la red TSN. En otras palabras, el UE actúa como reloj maestro para las estaciones finales TSN utilizando el protocolo (g)PTP y decide cuándo es necesario actualizar los valores del reloj de trabajo en las estaciones finales. El UE reenvía todos los relojes de trabajo que recibe a todas las estaciones finales que administra (es decir, las estaciones finales determinan en qué relojes de trabajo están interesadas).

[0807] Para la liberación de NR, se puede utilizar un método de cadena PTP continua UPF. Para este método, que se ilustra en la Figura 90, la red TSN interactúa con la UPF con el fin de entregar información de reloj de trabajo, donde la ruta UPF a UE emula un enlace PTP para que haya una cadena PTP virtual continua entre los dominios de trabajo TSN a la derecha de la red 5G y las estaciones finales a la izquierda de la red 5G (es decir, el intercambio de mensajes de sincronización PTP se realiza entre el UE y el nodo TSN que admite el reloj de trabajo).

[0808] La UPF retransmite de manera transparente los relojes de trabajo (p. ej., el reloj verde en el lado derecho de la Figura 90) a cada UE, donde la UPF marca estos relojes de trabajo con el valor del reloj interno 5G aplicable al punto donde se retransmite el mensaje PTP.

- La red 5G necesitará cierta conciencia de cuándo está transmitiendo mensajes PTP que contienen información de reloj de trabajo, ya que deberá proporcionar información de marca de tiempo complementaria a estos mensajes PTP.

- Las PDU de la capa de transporte utilizadas para retransmitir mensajes PTP desde la UPF a un gNB pueden mejorarse para admitir una indicación de cuándo los mensajes PTP comprenden la carga útil de la capa superior transportada por estas PDU. Esto hace posible que un gNB use la

transmisión con base en SIB de la carga útil del mensaje PTP en interés de la eficiencia del ancho de banda de la interfaz de radio (es decir, además de usar una opción con base en RRC para entregar mensajes PTP).

- Al recibir el mensaje PTP retransmitido, el UE ajusta el valor del reloj de trabajo que contiene según la diferencia entre el valor actual del reloj interno 5G y el valor con marca de tiempo incluido en el mensaje PTP retransmitido, obteniendo así el valor actual del reloj de trabajo.
- El UE actúa como un reloj maestro para las estaciones finales TSN utilizando el protocolo (g)PTP y decide cuándo es necesario actualizar los valores del reloj de trabajo en las estaciones finales. El UE reenvía todos los relojes de trabajo que recibe a todas las estaciones finales que administra (es decir, las estaciones finales determinan en qué relojes de trabajo están interesadas).
- Este método no requiere el uso de retardos de enlace ascendente y descendente ecualizados, lo cual es una ventaja (ya que los retardos simétricos de enlace ascendente y descendente implican una complejidad adicional).
- Sin embargo, una posible desventaja es que la frecuencia con la que los relojes de trabajo se actualizan por su correspondiente nodo de origen dentro de la red TSN determinará la frecuencia con la que se transmiten a través de la red 5G a los UE (p. ej., esto podría tener un impacto significativo en la radio ancho de banda de la interfaz si a cada UE se le envía individualmente la carga útil del plano de usuario que contiene información de actualización del reloj cada vez que se actualiza cualquier reloj de trabajo en la red TSN).

[0809] Compresión de encabezado de Ethernet

[0810] Para el transporte IP tradicional a través de sistemas 3GPP, se ha especificado la compresión de encabezado, es decir, compresión de encabezado robusta (RoHC) para reducir el volumen de datos enviados a través de la interfaz de radio, por lo que RoHC se aplica a las capas UDP/TCP/IP y la

compresión/descompresión RoHC se realiza mediante la capa PDCP en UE y gNB.

[0811] En el TSN, donde se prevé el transporte de Ethernet, también podría aplicarse la compresión de encabezado. Este sería el caso del tipo de sesión de PDU de Ethernet, donde las tramas de Ethernet deberían transportarse entre gNB y UE.

[0812] Generalmente, dado que se requieren transmisiones robustas con una tasa de error residual muy baja para URLLC, las tasas de código utilizadas son naturalmente muy bajas, lo que significa que el transporte de URLLC es costoso en recursos a través de la interfaz de radio. Por lo tanto, es importante estudiar la eliminación de redundancias innecesarias, tales como los encabezados Ethernet potenciales, como parte del estudio de 3GPP de IoT NR-Industrial de la Versión 16. A continuación, se realiza un análisis de la estructura del encabezado de Ethernet/TSN y las ganancias de su compresión.

[0813] El reenvío en redes de Capa 2 (L2) generalmente se basa en la información disponible en los encabezados de trama L2. Cada trama de Ethernet comienza con un encabezado de Ethernet, que contiene las direcciones MAC de origen y destino como sus dos primeros campos. Los campos de encabezado adicionales de una trama de Ethernet se construyen de manera bastante simple usando etiquetas. Algunos de los campos de encabezado son obligatorios, algunos son opcionales y dependen del escenario de la red.

[0814] Hay varios formatos de tramas de Ethernet (p. ej., 802.3, 802.2 LLC, 802.2 SNAP). Se identifican según el valor del campo EtherType frente a Length. La Figura 91 muestra un ejemplo del formato de las tramas.

[0815] Con respecto a la transmisión de tramas de Ethernet a través de redes 3GPP, algunas partes de la trama de Ethernet no necesitan transmisión (p. ej., preámbulo, SFD (delimitador de inicio de trama), FCS (suma de verificación de tramas); véase también la memoria existente para el tipo de sesión de PDU, TS 23.501). Los campos del encabezado de Ethernet se pueden

comprimir, pero la ganancia lograda mediante la compresión depende del escenario de la red. El enlace Ethernet puede ser un enlace de acceso o un enlace troncal. Para un enlace troncal, el número de sesiones es significativamente mayor y puede verse afectado por el cambio de topología de Ethernet que da como resultado una saturación temporal. Por otro lado, un enlace de acceso es más estable desde la perspectiva de la sesión L2. La compresión del encabezado de Ethernet debe ser específica del enlace L2, es decir, debe cubrir un solo salto L2 (también conocido como enlace por enlace), como se ilustra arriba.

[0816] Consideramos los siguientes campos para la compresión de encabezados de Ethernet: Dirección MAC de origen y destino (6 bytes cada una), información de control de etiqueta (6 bytes), información de retención tal como etiqueta VLAN y Ethertype. La transmisión de tramas de Ethernet a través de redes 3GPP no necesita el reenvío de algunas partes de la trama de Ethernet (es decir, preámbulo, SFD, FCS). Entonces, en total se pueden comprimir 18 bytes.

[0817] Suponiendo que el sistema 5G se utiliza como un enlace de acceso de Ethernet, solo existiría un número limitado de sesiones L2, y es posible la compresión hasta 3-5 bytes (suposición conservadora), lo que produce ganancias significativas para paquetes pequeños (como es típico en URLLC) como se muestra en la Figura 92.

[0818] Con respecto a cómo y dónde se puede admitir la compresión de encabezados para Ethernet, pueden surgir las siguientes preguntas.

- *Qué protocolo y organismo de normalización:* En 3GPP, RoHC según lo definido por IETF se utiliza para la compresión de encabezados IP. No hay ningún perfil que considere Ethernet. Además, el grupo de normalización se disolvió. Compresión de encabezado de contexto estático (SCHC), también IETF todavía está activo y considera la compresión de encabezado de Ethernet, para

el caso de uso de WAN de baja potencia. También se puede pensar en una solución con base en 3GPP.

- *Punto de anclaje:* El punto de anclaje de la red RoHC actual es el gNB con PDCP. Otra posibilidad sería la UPF, donde se configura la sesión de PDU de Ethernet. La Figura 93 ilustra posibles puntos de anclaje de compresión del encabezado de Ethernet.
- *Con y sin IP:* Si la compresión del encabezado de Ethernet debe considerarse integrada o separada con la compresión del encabezado de IP.

[0819] Plano de control fiable

[0820] En esta sección, se describen métodos para el aprovisionamiento fiable del plano de control, es decir, para mantener de manera robusta la conexión de control de recursos radioeléctricos (RRC) entre UE y gNB.

[0821] En primer lugar, el plano de control, es decir, la transmisión de señalización RRC (SRB) se maneja con los protocolos de radio como transmisión de datos del plano de usuario, es decir, la robustez de la señalización RRC se puede establecer con las mismas características descritas para la Capa 1 y la Capa 2 anteriores. Además, también la duplicación de PDCP, en el caso del portador dividido en DC, así como para CA, también es aplicable a la señalización de RRC (SRB).

[0822] Como veremos a continuación, además de la robustez de la señalización de SRB, también se puede abordar la resiliencia contra fallas de nodo y el manejo de fallas de enlace de radio (RRC): En caso de fallo del nodo de red que termina el RRC, el UE perdería su conexión. Además, en la Versión actual 15 LTE y NR, el manejo de fallos de enlace de radio no es simétrico, es decir, en caso de fallo relacionado con la celda primaria, se activa el fallo en el enlace radioeléctrico (RLF), lo que lleva a una interrupción de la conexión, donde el UE se desconecta y busca un nuevo nodo al que conectarse. Sin embargo, en caso de fallo relacionado con la celda primaria del grupo de celdas secundarias

(SCG), solo se envía una indicación de fallo al RRC, mientras continúa la conexión. También se implementa un procedimiento similar para un fallo de celda secundaria en caso de duplicación de CA.

[0823] Hay dos casos de fallo que se pueden manejar con la diversidad de RRC en la actualidad (Versión 15). Específicamente, para una arquitectura de DC con duplicación de PDCP, tanto en caso de fallo en el enlace radioeléctrico secundario como en caso de una interrupción total de SgNB, se puede mantener la conectividad con el UE. Sin embargo, en caso de fallo de la celda primaria o fallo de MgNB, este no sería el caso. Estos casos de fallo en la Versión 15 se ilustran en la Figura 94.

[0824] Por lo tanto, para habilitar la “verdadera diversidad de RRC”, se deben considerar mejoras adicionales, es decir, un traspaso rápido/proactivo o una conmutación por fallos del contexto de RRC a otro nodo, en caso de falla del nodo, y manejo generalmente simétrico de fallo en el enlace radioeléctrico independientemente de la celda en la que ocurrió el fallo. Este manejo simétrico de RLF se considera dentro de NR WI DC en la Versión 16. El enfoque contemplado aquí es que en lugar de la activación de un fallo y la interrupción de la señalización de datos y control del UE cuando ocurre un fallo asociado con una celda primaria, el UE informa a la red a través de una celda secundaria y continúa su comunicación de datos y control a través de esta celda secundaria, hasta que la red lo reconfigure.

[0825] Un método alternativo, aunque costoso, sería un enfoque en el que se utilicen múltiples UE complementarios para el mismo dispositivo industrial. En este caso, la duplicación y la eliminación de duplicados se producirían en capas superiores de los UE. En el lado de la red, los UE se conectarían (como opción de configuración) a diferentes eNB/gNB de modo que en caso de fallo del enlace, fallo del UE o también fallo del nodo, la conexión podría mantenerse a través del UE complementario independiente.

[0826] Mejoras en el traspaso y la movilidad

[0827] Para un UE en modo conectado a RRC, los mecanismos de movilidad NR en la Versión 15 siguen su referencia de LTE, que se ilustra en la Figura 95. El gNB de origen decide (p. ej., basándose en informes de medición de UE) traspasar el UE al gNB de destino. Si el gNB de destino admite el UE, se envía una indicación de reconocimiento del traspaso al gNB de origen, que luego envía el comando de traspaso al UE. Luego, el UE cambia a la nueva celda, indicada en el comando de traspaso, y envía una indicación de traspaso completo al gNB de destino. Durante el cambio, el UE reinicia MAC, restablece el RLC y, si es necesario, restablece el PDCP y cambia las claves de seguridad. El procedimiento de RACH involucrado se puede configurar para que esté libre de contención, es decir, el preámbulo de RACH que se utilizará se proporciona al UE durante el procedimiento.

[0828] Para que el traspaso esté libre de interrupciones, es decir, para lograr un tiempo de interrupción de traspaso de 0 ms, el tiempo de conmutación por parte del UE debe minimizarse. Para ello, en la Versión 15 de LTE (no NR), se acordó que un UE Tx-Rx dual será capaz de realizar una solución de interrupción previa a la conexión para garantizar un tiempo de interrupción de traspaso de 0 ms. En esta solución, el UE mantiene la conexión con el gNB de origen hasta que el UE comienza a transmitir/recibir datos del eNB de destino. Los detalles de cómo se manejan las pilas de protocolo dual en el UE se dejaron para la implementación del UE.

[0829] Para la Versión 16, tanto en LTE como en NR, se prevén algunas mejoras de movilidad adicionales. Para reducir el tiempo de interrupción del traspaso en NR, hay varias soluciones en discusión para los UE de Tx-Rx duales. Uno de ellos es el enfoque de interrupción previa a la conexión similar a LTE (descrito anteriormente). Otros enfoques, que se basan en la arquitectura DC, consideran una operación de cambio de roles entre MN y SN y, por lo tanto, permiten un “traspaso” de 0 ms, es decir, mantener siempre una conexión con

uno de los nodos mientras se realiza el traspaso. Para los escenarios en los que los UE no tienen funcionalidades de Tx-Rx dual, se prevén otros enfoques, como un traspaso mejorado, es decir, sin RACH más rápido con base en un enfoque de cálculo de TA mejorado, o también posibilidades de retroceso más rápido al nodo de origen. Para mejorar la robustez general del traspaso (aplicable a varios escenarios de URLLC o dominio de antenas), se prevé una solución con base en un comando de traspaso condicional (que realiza la ejecución del traspaso cuando se cumple una determinada condición de red configurada) que reduce la posibilidad de fallo de traspaso/ping-pong intercambiada por una mayor sobrecarga de uso de recursos de red.

[0830] Una forma de proporcionar movilidad sin aumentar la latencia debido al traspaso y sin requerir ninguna mejora de capacidad en el UE es desplegar las llamadas celdas combinadas.

La celda combinada es una función que está disponible comercialmente en las redes LTE de Ericsson. En una celda combinada, varias radios remotas están conectadas a la misma unidad digital de banda de base y sirven a la misma celda. Permite que portadores de múltiples sectores pertenezcan a la misma celda. La celda combinada se puede utilizar para ampliar la cobertura de una celda y proporciona las siguientes ventajas adicionales:

- Reduce o elimina los agujeros de cobertura, al permitir la superposición de áreas de cobertura de diferentes sitios de antena.
- Aumenta la potencia de la señal recibida en UE.
- Proporciona macrodiversidad de enlace ascendente.
- Elimina la necesidad de traspaso entre celdas dentro de la celda combinada.

[0831] URLLC se beneficia de todas las ventajas enumeradas anteriormente. Las sombras pueden ser un problema en los pisos de las fábricas, debido, p. ej. a la presencia de superficies metálicas grandes. La celda combinada puede ayudar a disminuir o eliminar este problema mediante una

cuidadosa selección de los sitios de las antenas. El aumento de la intensidad de la señal en el UE es claramente beneficioso para una mayor fiabilidad, al igual que la macrodiversidad. Evitar o reducir la necesidad de traspasos también es muy beneficioso para los UE en movimiento, ya que los traspasos normalmente dan como resultado un aumento significativo de la latencia. Además, la celda combinada proporciona una cobertura continua en áreas de transición entre interior-exterior o interior-interior (p. ej., pasillos de varios pisos), que de otro modo requerirían (más) traspasos. Proporciona un mecanismo robusto para hacer crecer el área de cobertura de la red, deseable p. ej., cuando se amplía el piso de la fábrica.

[0832] Finalmente, la celda combinada se puede usar junto con la agregación de portadoras, lo que proporciona sus propios beneficios.

[0833] La introducción de la función URLLC en 3GPP Versión 15 y 16 se resume en la Tabla 21***Tabla*** El sombreado indica las características que se necesitan para admitir casos de uso de IoT industrial que tienen requisitos estrictos de URLLC, y los que no tienen sombreado se consideran características para la optimización de la eficiencia o la flexibilidad de programación.

[0834] La Versión 15 establece las características principales de URLLC que permiten que LTE FDD y NR, tanto FDD como TDD, cumplan con los requisitos de URLLC IMT-2020 de una fiabilidad del 99,999% con una latencia de 1 ms. Para LTE, las características esenciales para IoT industrial consisten en TTI corto, repeticiones automáticas sin retroalimentación HARQ, programación semipersistente UL (SPS), PDCCH fiable, diversidad RRC para lograr fiabilidad en el plano de control, así como sincronización de tiempo de alta precisión para permitir la operación isócrona entre múltiples dispositivos en la red. Aunque LTE FDD cumple con los requisitos de URLLC de IMT-2020, LTE TDD no los cumple debido a la limitación de la configuración de TDD. La latencia de plano de usuario unidireccional más baja para la transmisión de datos está limitada a 4 ms en LTE TDD.

[0835] La Versión 15 NR cumple con los requisitos de URLLC de IMT-2020 con mayor eficiencia que LTE. Una mejora clave es la numerología de OFDM escalable utilizada en NR, que combinada con TTI corto acorta sustancialmente el tiempo de transmisión. Otra mejora clave en NR es el TDD dinámico y la conmutación de DL y UL más rápida. NR TDD puede lograr una latencia de plano de usuario unidireccional de tan solo 0,51 ms.

[0836] La evolución del soporte de IoT industrial continúa en la Versión 16 de NR. Una mejora importante es la integración de TSN, que permite que NR funcione con protocolos de Ethernet industriales establecidos. La Versión 16 de NR también introducirá mejoras de URLLC para permitir que NR cumpla con requisitos aún más estrictos, p. ej., fiabilidad del 99,9999% con latencia de 0,5 ms.

Características	**Versión 15 de LTE**	**Versión 15 de NR**	**Versión 16 de NR (concepto)**
Numerología de OFDM escalable	Solo 15 kHz SCS 14OS = 1 ms	SCS={15, 30, 60, 120, 240} kHz 14OS={1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,0625} ms	Igual que la Versión 15
TTI corto	TTI corto = {2, 3, 7} OS	TTI corto de DL ={2, 4, 7} OS TTI corto de UL ={1, 2, 3, …, 13}	Considere mejoras tales como repeticiones de mini-intervalos, reducción de sobrecarga general de DMRS

TDD dinámico optimizado para baja latencia	No incluido	Incluido	Igual que la Versión 15
Repetición automática	Hasta 6 repeticiones	K repeticiones (sin cruzar el límite de la ranura)	Proponer K repeticiones que permitan cruzar el límite de la ranura
Concesión configurada de UL	Incluido (UL SPS)	Incluido	Proponer una mayor flexibilidad de programación
Tabla MCS robusta y CQI para informar BLER bajo	No incluido	Incluido	Igual que la Versión 15
PDCCH fiable	AL 8; repeticiones de SPDCCH incluidas	Conformación del haz, AL 16, CRC de 24 bits; diversidad de frecuencia	Versión 15 + pequeña mejora (nuevo formato DCI propuesto)
Número de decodificaciones ciegas de PDCCH	44 para 1 ms TTI 68 para 0,5 ms TTI 80 para {2 o 3} OS	{44, 36, 22, 20} para {15, 30, 60, 120} kHz SCS por intervalo	Proponer {44, 36, 22, 20} para {15, 30, 60, 120} kHz SCS por medio intervalo
Número de PDCCH CCE		{56, 56, 48, 32} para {15, 30,	Proponer {56, 56, 48, 32} para {15, 30, 60,

		60, 120} kHz SCS por intervalo	120} kHz SCS por medio intervalo
PUCCH corto	Incluido	Incluido	Igual que la Versión 15
Capacidad de procesamiento de UE más rápida	No incluido	Incluido (Capacidad 2 de UE)	Proponer Capacidad 3 de UE
Flexibilidad de programación		a través del intervalo no se permiten límites	Proponer que se permitan límites a través de los intervalos
Restricciones de multiplexación (LCH)	p. ej., vincular LCH a la celda o a la duración de PUSCH	p. ej., vincular LCH a la celda o a la duración de PUSCH	Restricciones adicionales planeadas con respecto a la concesión dinámica y configurada; posiblemente fiabilidad
SR y BSR para URLLC	No incluido	Múltiples configuraciones de SR	Se planearon ciertas mejoras menores
Duplicación de PDCP	Tanto DC como CA	Tanto DC como CA	Mejoras en la eficiencia; Ampliación a más de 2 copias.

Fiabilidad del plano de control	Diversidad de RRC	Diversidad de RRC	Manejo simétrico de RLF.
Prioridad de DL	No incluido	Incluido	Igual que la Versión 15
Multiplexación intra-UE de UL	No incluido	No incluido	Planeado
Prioridad inter-UE de UE	No incluido	No incluido	Planeado
Transporte de Ethernet y compresión de encabezado	No incluido	Sesión de PDU de Ethernet para transporte	Compresión de encabezado
Sincronización de tiempo de alta precisión	Referencia de tiempo con granularidad de 0,25 □s	No incluido	Referencia de tiempo planeada con granularidad de 0,25 □s y compatibilidad con dominios de varios tiempos.
Traspaso de interrupción previa a la conexión de movilidad UE de Tx/Rx dual	Incluido	No incluido	Propuesto
Traspaso condicional de movilidad	No incluido	No incluido	Propuesto

Tabla 21: Introducción de la función URLLC en 3GPP, Versiones 15 y 16.

[0837] En resumen, NR fue diseñado con los objetivos claros de lograr una baja latencia y garantizar una alta fiabilidad desde el principio. Una matriz de características de capa 1 y capa 2 en la Versión 15 habilita URLLC:

- Numerología escalable y TTI corto. Con la numerología escalable, el símbolo OFDM y la duración del intervalo se pueden reducir empleando un espaciado de subportadora más grande. El intervalo de tiempo de transmisión se puede reducir aún más mediante la programación de mini-intervalos, que permite que un paquete se transmita en una unidad de tiempo tan pequeña como 2 símbolos OFDM.
- Diseño de programación. NR admite el monitoreo frecuente de PDCCH, lo que aumenta las oportunidades de programación para los datos de DL y UL. Esto ayuda a reducir la latencia. Para UL, la concesión configurada se puede utilizar para eliminar el retraso en el que el UE tiene que enviar primero una solicitud de programación y esperar una concesión de enlace ascendente. En un escenario de tráfico mixto, NR permite priorizar el tráfico URLLC; y en eventos en los que el programador no tiene suficientes recursos de radio para servir a un UE de URLLC, NR tiene un mecanismo para adelantarse a los recursos de tipo eMBB ya asignados para el uso del tráfico URLLC de DL.
- HARQ rápido. Una transmisión de datos DL se completa con un reconocimiento HARQ y, por lo tanto, se necesita un tiempo de respuesta de HARQ rápido para lograr una latencia baja. En NR, esto se facilita definiendo un requisito de tiempo de procesamiento del receptor de UE más estricto (es decir, capacidad 2 del UE) y también haciendo posible que el UE complete la transmisión de HARQ en un intervalo de tiempo corto mediante el uso de PUCCH corto. El tiempo de respuesta rápido de HARQ no solo contribuye a una baja latencia, sino que también se puede usar para mejorar la fiabilidad o la eficiencia

espectral de las transmisiones de datos al permitir más retransmisiones de HARQ dentro de un presupuesto de latencia dado. Además, la repetición sin HARQ (el emisor transmite K repeticiones antes de esperar la retroalimentación de HARQ) también se adopta en NR para mejorar la fiabilidad sin demoras introducidas por el tiempo de respuesta de HARQ.

- TDD dinámico optimizado de baja latencia. NR admite una configuración TDD muy flexible que permite la conmutación de asignaciones DL y UL a nivel de símbolo.
- MCS robusto. La fiabilidad se mejora al incluir opciones de MCS y CQI más bajas para objetivos de BLER más bajos.

[0838] Además, las opciones de arquitectura RAN están disponibles para mejorar la fiabilidad más allá de las características antes mencionadas, es decir, mediante la duplicación de datos a través de múltiples gNB y/o a través de múltiples portadoras.

[0839] Por lo tanto, la Versión 15 NR sienta una base sólida para admitir los servicios de URLLC. También se ha verificado en el trabajo de autoevaluación de 3GPP IMT-2020 que la Versión 15 NR cumple completamente con los requisitos de URLLC de IMT-2020: fiabilidad del 99,999% con latencia de 1 ms.

[0840] Sobre la base del sólido fundamento de URLLC en la Versión 15, IoT industrial se centra ahora en la Versión 16. Los casos de uso priorizados incluyen automatización de fábricas, distribución de alimentación eléctrica y transporte. Aunque los requisitos de estos casos de uso priorizados varían, los casos de uso más exigentes exigen una fiabilidad del 99,9999% con una latencia de tan solo 0,5 ms. Además, un aspecto clave de IoT industrial de NR es permitir que NR funcione con protocolos de Ethernet industriales establecidos. A medida que TSN emerge como la base de los protocolos de Ethernet industriales, una característica importante de la Versión 16 es la “integración de NR y TSN”.

- NR en la Versión 16 admitirá el aprovisionamiento de referencia de tiempo preciso al UE, para sincronizar dispositivos TSN en el lado del UE de forma inalámbrica con el dominio de tiempo de trabajo de TSN en el lado de la red.
- Se propone mejorar la programación de concesión configurada y la multiplexación y la prioridad de UE para hacer frente de manera más eficiente al escenario de tráfico de TSN mixto.
- La duplicación de PDCP está diseñada para manejar el aprovisionamiento de fiabilidad de manera más eficiente.
- Se está estudiando la compresión del encabezado de Ethernet para reducir la sobrecarga en RAN.
- Las mejoras de URLLC de Capa 1 también se están considerando en la Versión 16 para reducir aún más la latencia, mejorar la fiabilidad y la eficiencia espectral, y mejorar el manejo del control de enlace ascendente de multiplexación y los datos de diferentes tipos de servicios (p. ej., control para URLLC multiplexado con datos de eMBB, o viceversa).

[0841] Con la integración de TSN y otras mejoras de URLLC, NR Versión 16 logrará avances importantes para lograr la habilitación de la fabricación inalámbrica inteligente y marcará el comienzo de una nueva era en la digitalización y transformación de la industria.

[0842] Tecnologías y protocolos de comunicación industrial junto a TSN y 5G

[0843] Está ampliamente aceptado que TSN y 5G serán las tecnologías de conectividad fundamentales para las fábricas en el futuro, así como otros casos de uso industrial. Sin embargo, la mayoría de las empresas industriales no comienzan su uso de IoT industrial desde cero en una implementación totalmente nueva *(greenfield)*. Más bien, muchos procesos industriales ya involucran dispositivos conectados que utilizan sus propios mecanismos de

conectividad definidos por la industria. Estas implementaciones se conocen comúnmente como existentes *(brownfield)*. Si bien la mayoría de las implementaciones existentes (94%) están cableadas, también existen muchas soluciones inalámbricas, especialmente para la recopilación de datos. La industria es conservadora y las inversiones ya realizadas están vigiladas. Por lo tanto, muchas veces es necesario introducir una nueva tecnología como una solución complementaria a la infraestructura ya existente en la planta industrial, a menos que se pueda demostrar un valor agregado significativo.

[0844] La pila de protocolos para IoT industrial puede verse muy diferente según las opciones en las diferentes capas de protocolo. La Figura 96 muestra algunas posibles alternativas de protocolo en las diferentes capas asignadas a las capas de pila de protocolos de Interconexión de sistemas abiertos (OSI).

[0845] Para conocer el panorama completo, este capítulo presenta las tecnologías de comunicación inalámbricas y cableadas que se utilizan en la actualidad. Con respecto al uso de 4G y 5G para implementaciones existentes, hay dos aspectos importantes que se tratan:

- Interfuncionamiento con tecnologías cableadas heredadas (p. ej., Profinet)
- Competencia con otras tecnologías inalámbricas (como cualquier tecnología IEEE 802.11)

Además, OPC-UA y SECS/GEM se introducen como dos protocolos de comunicación que se utilizan en la automatización de fábricas en la actualidad y se supone que desempeñarán un papel importante en el futuro.

[0846] Con respecto a las capas de acceso físico y medio, en el pasado se han desarrollado muchas tecnologías de comunicación cableadas dedicadas al uso industrial. Inicialmente, las denominadas tecnologías de bus de campo *(Fieldbus)* se han utilizado como, p. ej., normalizado en IEC 61158. En la actualidad, se ha producido un cambio hacia las soluciones de Ethernet industrial y Profinet es un ejemplo de ello. Un rasgo principal de estas tecnologías es que

están diseñadas para entregar datos con limitaciones de tiempo estrictas, de 1 ms o menos. Una desventaja de los buses de campo y algunas variantes de Ethernet industrial es una incompatibilidad general entre ellos y la necesidad de *hardware* especial para ejecutar estas tecnologías más allá del equipo de Ethernet de oficina estándar. Las redes sensibles al tiempo (TSN) son un conjunto de estándares de IEEE, que agregan fiabilidad y capacidades deterministas de baja latencia además de Ethernet normalizado (IEEE 802.3). La ambición es establecer un estándar común en el mercado dividido de la tecnología de comunicación cableada para las industrias. Muchos proveedores de equipos industriales en este momento han comenzado, o al menos han indicado, mudarse a TSN para su portfolio.

[0847] Ethernet industrial se ha vuelto bastante popular y adquiere participación de mercado sobre las tecnologías de bus de campo heredadas, ya que Ethernet también se ha convertido en un estándar de comunicación importante en otros dominios. Una razón podrían ser las piezas y cables baratos y comunes, etc. Ya se mencionó que las diferentes tecnologías de Ethernet industrial son incompatibles y no permiten el interfuncionamiento sin el uso de portales especiales o equipos adicionales similares. Esto se debe a que utilizan conceptos diferentes para satisfacer los requisitos de los casos de uso industrial. Sin embargo, hay algunos hechos comunes para Ethernet industrial:

- Ethernet industrial casi siempre es “Ethernet conmutada”
- 100 Mbit/s y enlaces full-duplex
- Posibilidad de diferentes topologías (línea, estrella, anillo, etc.), pero pueden estar estrictamente definidas por la tecnología
- Métodos de redundancia (p. ej., protocolo de redundancia en paralelo (PRP))
- Arquitectura maestro/controlador-esclavo
- Funciones para detectar errores de comunicación (como temporizadores y contadores para pérdidas de paquetes)

[0848] La Figura 97 muestra el concepto de Ethernet industrial y cómo se construye sobre Ethernet estándar. En la capa 2, algunas tecnologías de Ethernet industrial se basan en transmisiones programadas en el tiempo (como Profinet RT) para lograr latencias deterministas en la red. El tiempo de ciclo de la red es una métrica que se usa ampliamente para promover y comparar tecnologías: cuanto menor sea el tiempo de ciclo de la red admitido, mejor. Por lo general, el tiempo de ciclo de la red es el tiempo mínimo de ciclo de la aplicación que se admite (es decir, la aplicación transmite un determinado mensaje en cada ciclo de la red). Los casos de uso muy desafiantes requieren tiempos de ciclo de aplicación muy pequeños (por debajo de 50 microsegundos) para lograr una precisión suficiente para, p. ej., control de movimiento. EtherCat, por ejemplo, define una nueva capa 2 de Ethernet para lograr tiempos de ciclo de red muy bajos.

[0849] Como se muestra en la Figura 97, Profinet tiene diferentes variedades:

- Profinet CBA (automatización con base en componentes): solo para la automatización de procesos con características y requisitos de transmisión menos estrictos
- Profinet-IO RT (tiempo real)
- Profinet-IO IRT (tiempo real isócrono): esta variante admite tiempos de ciclo de aplicación de hasta 31,25 microsegundos (mediante el uso de tiempos de ciclo de red de 31,25 microsegundos)

[0850] La Figura 98 muestra un ejemplo de transmisiones programadas por tiempo en Profinet; la figura representa un ciclo de red que se repite periódicamente. Allí, el tiempo de acceso a la red se comparte entre una fase IRT cíclica y una fase RT cíclica para proporcionar QoS estricta y una fase no RT, lo que equivale a una fase de mejor esfuerzo sin garantías de QoS. Profinet utiliza un protocolo de sincronización de tiempo como IEEE1588 para establecer una noción común de tiempo entre todos los nodos. Para aplicaciones muy

estrictas, es posible que no haya una fase RT o no RT involucrada. La comunicación IRT es siempre una comunicación de capa 2 pura, sin utilizar UDP/TCP/IP. En la Figura 99, se ilustra una trama Profinet IRT.

[0851] La administración de la red en el caso de Profinet (así como para otras tecnologías) se preconfigura manualmente y, por lo general, no se pueden agregar dispositivos sobre la marcha, por lo que en general no es posible conectar y usar, sino que se necesita experiencia para configurar estas redes, lo que definitivamente es un asunto delicado para las industrias.

[0852] Los equipos de Ethernet industrial también se diferencian de los de Ethernet estándar:

- Conmutadores específicos: implementación robusta, optimizada para QoS y de alta disponibilidad
- La mayoría de las tecnologías requieren ASIC específicos, y algunas se basan en *software*; algunos proveedores también venden ASIC de múltiples tecnologías (p. ej., HMS, Hilscher, AD)
- Por lo general, los PLC ofrecen diferentes módulos de comunicación para admitir múltiples tecnologías.
- Los dispositivos (desde sensores hasta robots) generalmente ofrecen solo un conjunto limitado de interfaces tecnológicas

[0853] Algunas de las tecnologías industriales de Ethernet probablemente desaparecerán y serán reemplazadas tarde o temprano por productos TSN. Sin embargo, los ciclos de vida de los productos son muy largos en las industrias. TSN adopta muchas características que también se utilizan en tecnologías Ethernet industriales existentes. Además, las organizaciones detrás de Profinet y EtherCat ya publicaron documentos técnicos que explican cómo funcionará una operación junto a TSN. Es posible que vean a TSN como una infraestructura común en la que Profinet y otras tecnologías podrían coexistir.

[0854] La forma en que se implementa Ethernet industrial hoy en día es similar a las islas. Una alta calidad de servicio solo se puede garantizar dentro

de una isla de este tipo. Una isla se implementa utilizando una tecnología de comunicación, p. ej., Profinet. Por lo general, se utiliza un controlador lógico programable (PLC) como maestro de una isla (p. ej., un maestro Profinet). Por lo general, una isla consiste en unos pocos dispositivos en el mismo piso. El interfuncionamiento de, p. ej., Profinet y celular es especialmente relevante si uno de estos dispositivos (p. ej., el PLC) está virtualizado (enlace central) o si un dispositivo (dispositivo a isla) o un grupo de dispositivos que utilizan una puerta de enlace (enlace entre islas) está separado de la isla en el piso. El interfuncionamiento de Profinet y, por ejemplo, LTE ya se ha demostrado en algunos estudios de investigación de prueba de concepto; es posible si el tiempo de ciclo de la aplicación está por encima de un cierto límite (p. ej., 32 ms), dependiendo de la configuración de la red LTE.

[0855] Los requisitos para la red celular en términos de latencia y tasa de error de paquete (PER) no están establecidos por la tecnología de comunicación como, p. ej., Profinet, pero las aplicaciones que los utilizan, o los tiempos de ciclo de la aplicación utilizados respectivamente. Por lo general, el tiempo de ciclo de red admitido más bajo es un KPI para las tecnologías de comunicación industrial. Aunque Profinet IRT admite tiempos de ciclo de red de hasta 31,25 useg, también se está utilizando para aplicaciones con requisitos mucho más bajos (es decir, tiempos de ciclo de aplicación mucho más altos que este). Profinet IRT se puede utilizar para tiempos de ciclo de aplicación de hasta 4 ms. En el caso de Profinet, la versión de RT que solo admite tiempos de ciclo de red más altos parece de todos modos más relevante, o al menos siempre se usó en cualquier prueba con socios industriales.

[0856] Otras soluciones inalámbricas están tratando de ingresar al campo al mismo tiempo con 5G. Una tecnología interesante es MulteFire, que se comercializa en gran medida para la conectividad industrial. MulteFire como tecnología es muy similar a LTE, pero solo se ejecuta en un espectro sin licencia, por lo que los beneficios de la programación y la movilidad dentro del sistema

son esos. La disponibilidad de dispositivos es un desafío para MulteFire actualmente. WiMAX se ha utilizado en parte como tecnología inalámbrica en la industria, pero tiene problemas debido a la baja economía de escala.

[0857] El wifi de grado industrial ocupa poco espacio en la conexión de dispositivos industriales. Los problemas de fiabilidad y latencia se abordan mediante la implementación. No existe una certificación global, sino que las soluciones son específicas del proveedor y no interoperan. Más comúnmente, el wifi regular se implementa en espacios industriales para permitir el acceso a Internet de los empleados desde computadoras portátiles, tabletas y teléfonos móviles. Esta conectividad es valiosa e importante para el personal de la planta.

[0858] La Figura 100 muestra una diferencia estimada entre wifi, MulteFire, LTE y 5G NR con respecto al aumento de las demandas de fiabilidad y el aumento de las demandas de latencia de extremo a extremo (E2E). Los casos de uso de ejemplo se colocan en la figura para mostrar qué tipo de requisitos deben cumplirse aproximadamente para cada uno.

[0859] Las redes de sensores inalámbricas se utilizan para recopilar datos de sensores y monitorear la maquinaria. Las implementaciones de Bluetooth industrial existen como soluciones específicas del proveedor. Normalmente, Bluetooth se utiliza como una conectividad para que el personal adquiera lecturas de la maquinaria cuando se encuentra a una distancia corta. Existe un interés creciente en la implementación de portales para una conectividad continua. Además, existen muchas variantes diferentes del protocolo IEEE802.15.4 para uso industrial. Los más conocidos son WirelessHART e ISA100.11a, que están definidos y certificados por empresas industriales. 6TiSCH está siendo normalizado por el IETF para traer determinismo y confiabilidad a la interfaz de radio IEEE802.15.4.

[0860] El estándar IO-Link Wireless también podría ser interesante, ya que se dice que logra un PER de 10^-9 y puede admitir un tiempo de ciclo de tan

solo 5 ms. Sin embargo, tiene una escalabilidad limitada y un intervalo de comunicación limitado.

[0861] MulteFire es una tecnología con base en LTE que opera completamente en el espectro sin licencia. El objetivo principal de MulteFire es proporcionar un rendimiento similar a LTE con una facilidad de implementación similar a la de wifi en un espectro sin licencia. Comparado con eLAA, MulteFire RAN fue diseñado para tener un funcionamiento independiente. En particular, MulteFire realiza toda la señalización de control y la señalización de datos en un espectro sin licencia. En la actualidad, MulteFire también incluye eMTC-U y NB-IoT-U como tecnología de acceso radioeléctrico (RAT) para admitir una amplia gama de aplicaciones, desde banda ancha móvil hasta comunicación de tipo de máquina.

[0862] MulteFire (MF) utiliza principios de selección de portadora, transmisión discontinua y escuchar antes de hablar (LBT) que se basan en 3GPP, versión 13 y 14 LAA. MulteFire se dirige al espectro global de 5,0 GHZ y utiliza el procedimiento LBT Versión 13 con algunos agregados. En comparación con la pila de protocolos LTE, MF es único en UL, capa física DL, transmisión DRS, difusiones SIB-MF y su contenido, procedimientos RACH y tiene señalización de información adicional S1, X2.

[0863] MulteFire 1.0 se amplió aún más con características adicionales tales como Conceder acceso de enlace ascendente, Extensión de cobertura de ancho de banda (WCE), Movilidad autónoma (AUM), soporte de sXGP 1.9 GHZ, eMTC-U y funcionalidad NB-IoT. Estas características están dirigidas a implementaciones más industriales y son compatibles con comunicaciones de tipo de máquina.

[0864] Conceder acceso de enlace ascendente reduce aún más la sobrecarga de señalización de control de UL, que funciona muy bien en escenarios de baja carga. Esta característica se basa en la característica de 3GPP UL autónomo, según se define en 3GPP, Versión 15. La característica

WCE tiene como objetivo aumentar la cobertura hasta 8 dB en comparación con las operaciones MF MBB heredadas. En comparación con el espectro con licencia, LBT y pocas mediciones para RRM y RLF hacen que la movilidad sea un gran desafío. Para abordar esto, MF ha especificado AUM para hacer frente al traspaso y la calidad de canales rápidamente cambiantes, donde el UE y los eNB potenciales se pueden preconfigurar con parámetros relacionados con el traspaso. En particular, los UE pueden configurarse con información de asistencia de movilidad relacionada con AUM para hasta 8 celdas de AUM. Estas celdas son básicamente celdas objetivo candidatas potenciales, que se han preparado con un contexto de UE potencial. Los parámetros que se comparten con el UE incluyen la frecuencia y la ID de celda física (PCI) de las celdas objetivo candidatas.

[0865] Para admitir casos de uso masivo de IoT, MF adaptó la tecnología 3GPP Rel-13 eMTC con base en un ancho de banda de portadora de 1,4 MHZ aplicado a la banda de frecuencia de 2,4GHZ. Sin embargo, en la banda de frecuencia de 2,4 GHz, las regulaciones son exclusivas de EE. UU., Europa, Japón y China. Entre ellos, ETSI en Europa tiene reglas estrictas y para cumplir con las regulaciones, se adoptó un mecanismo de salto de frecuencia. Para permitir un rendimiento similar a eMTC, se define una nueva estructura de tramas de tiempo-frecuencia que tiene dos periodos de tiempo fijos: el primer periodo de tiempo es un canal de anclaje y el segundo es un canal de datos de permanencia. El canal de datos generalmente contiene una transmisión UL/DL que está precedida por LBT y siempre comienza con una transmisión DL. El canal de anclaje siempre permanece en el mismo canal, y se definen varios canales de anclaje de los cuales eNB puede seleccionar uno para transmitir. El canal de datos permanece en la transmisión mediante salto de frecuencia, se realiza dividiendo 82,5 MHZ en 56 canales, con un espaciado de 1,4 GHz entre los canales de salto. En la actualidad, se están ultimando las especificaciones para ampliar aún más el soporte de Rel-13 NB-IoT en bandas sin licencia.

[0866] La familia de tecnología IEEE 802.11, comúnmente conocida como wifi, es una tecnología popular para proporcionar acceso inalámbrico a Internet en nuestros hogares. Las soluciones de wifi de grado industrial enumeradas en la sección anterior suelen ser modificaciones de wifi IEEE 802.11. El wifi de grado industrial generalmente se basa en conjuntos de chips con certificación wifi IEEE 802.11, con una capa MAC principalmente reducida. En particular, el mecanismo de LBT en wifi, aunque es necesario para las regulaciones del espectro, a menudo se elimina. El problema con el wifi de grado industrial es la interoperabilidad, ya que cada wifi de grado industrial se desarrolla independientemente de los demás. Por el contrario, IEEE 802.11 es un estándar bien conocido y se puede esperar que los productos de diferentes proveedores funcionen bien entre sí. En esta sección, consideraremos a la brevedad algunos mecanismos: acceso al canal (afecta en gran medida la latencia), calidad del servicio (afecta las prioridades) y adaptación del enlace (eficiencia del espectro).

[0867] Para comprender el acceso al canal de wifi, debemos comprender los antecedentes de algunos de los principios de diseño en bandas sin licencia. En las bandas sin licencia, a diferencia de las bandas con licencia, normalmente no existe una entidad controladora física. Existe un conjunto de reglas de espectro, pero cualquiera que se adhiera a estas reglas tiene el mismo derecho y la misma prioridad para acceder al medio inalámbrico. Por lo tanto, un principio de diseño importante en las bandas sin licencia es el acceso al canal no coordinado y con base en la competencia. Esto se denomina CSMA/CA – Acceso múltiple por detección de portadora con prevención de colisiones. La idea fundamental es que hay un número aleatorio asociado con cada acceso al canal; el número aleatorio decide un tiempo de espera. Por cada acceso al canal fallido, este número aleatorio aumenta. El resultado de este acceso al canal es que las latencias de ida y vuelta contienen un factor aleatorio. Cuando el medio inalámbrico no se utiliza en gran medida, la latencia es muy baja, pero cuando el medio inalámbrico está muy ocupado, la latencia puede llegar a ser muy grande.

En escenarios industriales, esta incertidumbre en la latencia es una preocupación. La Figura 101 muestra un caso típico de acceso al canal y transmisión de datos. El acceso al canal en wifi es la principal razón por la cual no es posible garantizar la latencia, y esta es una característica necesaria para cumplir con las regulaciones. La ventaja de las tecnologías celulares es que están diseñadas para uso exclusivo del espectro, lo que significa que se puede obtener una latencia garantizada.

[0868] Además de la espera aleatoria, hay en wifi un tiempo de espaciado entre tramas (IFS). Hay 3 tiempos principales de espaciado entre tramas: IFS corto (SIFS), PCF (Función de coordinación de puntos) IFS (PIFS), DCF (Función de coordinación distribuida) IFS (DIFS). En resumen, IFS < PCF < DIFS, donde IFS se utilizan para tramas de respuesta especiales, es decir, ACK. PCF se utiliza para determinadas tramas de prioridad y DIFS para tramas estándar.

[0869] wifi tiene un mecanismo de calidad de servicio (QoS) denominado Acceso a canal distribuido mejorado (EDCA). EDCA se basa principalmente en ajustar el tiempo de espera aleatorio al realizar el acceso al canal, pero también introduce un nuevo IFS, denominado IFS de arbitraje (AIFS). Una prioridad más alta tendrá, en promedio, acceso prioritario debido a la reducción de los tiempos de espera. Sin embargo, tenga en cuenta que todavía hay aleatoriedad en el acceso a cada canal y no se pueden proporcionar garantías. Hay 4 clases de prioridad introducidas en EDCA: voz, video, mejor esfuerzo y tráfico de fondo. La Figura 102 muestra una ilustración de cómo las diferentes clases de prioridad pueden obtener acceso al canal. Tenga en cuenta que cada clase de prioridad tiene un IFS individual y que el tiempo de espera aleatorio es diferente.

[0870] La adaptación del enlace en wifi se basa en retransmisiones de datos completos. Si un paquete no se puede decodificar, el paquete se envía de nuevo (posiblemente con otra codificación y modulación). Tenga en cuenta que los paquetes de datos en wifi son autónomos y, si un paquete falla, toda la

información generalmente se envía a la papelera. Esta es una desventaja principal en comparación con LTE o NR, donde la información suave recibida durante la transmisión inicial se combina con la información suave recibida durante la retransmisión. La ganancia por combinación suave es de 3 a 6 dB, dependiendo de si la retransmisión es una repetición de los bits codificados anteriores (denominada combinación de Chase) o si se transmiten bits de paridad adicionales (denominada redundancia incremental).

[0871] La codificación y la modulación elegidas normalmente se seleccionan mediante el algoritmo Minstrel. El algoritmo Minstrel funciona manteniendo estadísticas de prueba y error sobre los paquetes enviados con diferentes codificaciones y modulaciones e intenta maximizar el rendimiento. El algoritmo funciona bien en entornos estáticos con poca o ninguna interferencia, pero sufre cuando las características del canal cambian rápidamente. Por esto, Minstrel suele tardar en adoptar un canal mejorado, como se muestra en la Figura 103, que ilustra una simulación del algoritmo Minstrel en un simulador de radio de enlace único.

[0872] Los servicios industriales por encima de la capa IP/Ethernet utilizan uno o más de una serie de protocolos para realizar las tareas en cuestión. La referencia presenta protocolos tales como Protocolo de aplicación de restricciones (CoAP), Protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) y HTTP/2, Transporte de telemetría de cola de mensajes (MQTT), Fundación de conectividad abierta (OCF), Servicio de distribución de datos (DDS) para sistemas en tiempo real, etc. A continuación, introducimos brevemente uno de los principales protocolos en el área industrial que es OPC UA. Finalmente, analizamos a la brevedad el SECS/GEM utilizado en la industria de los semiconductores.

[0873] Como se mencionó anteriormente, normalmente no es posible un interfuncionamiento entre tecnologías de comunicación industriales heredadas. Como resultado, los clientes finales y los fabricantes de dispositivos se enfrentan

a una multitud de tecnologías que deben producirse, ejecutarse, diagnosticarse, mantenerse y almacenarse. Si bien la disponibilidad de productos y servicios es en gran medida satisfactoria, tratar con múltiples soluciones genera costos prohibitivos y limita la capacidad de IoT. La OPC-UA (Arquitectura unificada de comunicación de plataforma abierta) intenta abordar estos problemas. OPC-UA es la próxima generación de tecnología de OPC. Debería proporcionar una mejor seguridad y un modelo de información más completo que la OPC original, “OPC Classic”. OPC Classic es un protocolo bien establecido para la automatización de (principalmente) Microsoft. Se dice que OPC-UA es un mecanismo muy flexible y adaptable para mover datos entre sistemas de tipo empresarial y los tipos de controles, dispositivos de monitoreo y sensores que interactúan con datos del mundo real. OPC-UA es independiente de la plataforma y garantiza el flujo continuo de información entre dispositivos de varios proveedores. La Fundación de OPC es responsable del desarrollo y mantenimiento de este estándar. La Figura 104 ilustra la pila de protocolos OPC-UA.

[0874] Para su uso en TSN, el estándar OPC-UA está adaptado para ser más determinista y admitir ciertas características de TSN. La Figura 105 ilustra el uso de OPC-UA sobre TSN. En general, una infraestructura de red TSN es capaz de transportar simultáneamente todo tipo de tráfico industrial, desde el tiempo real duro hasta el mejor esfuerzo, manteniendo las propiedades individuales de cada tipo. La iniciativa de OPC-UA TSN utiliza un modelo de comunicación editor-suscriptor y el uso de OPC-UA sin TCP/UDP/IP.

[0875] También se supone que OPC-UA se utiliza como protocolo de configuración en TSN.

[0876] Con respecto a la línea de tiempo de OPC-UA y TSN: en el cuarto trimestre de 2018 se anunció que la mayoría de los proveedores de automatización industrial (incluidos Siemens, Bosch, Cisco, ABB, Rockwell, B&R, TTTEch, etc.) están admitiendo el ‘OPC UA’ que incluye TSN hasta la iniciativa a nivel de campo. Se dice que el trabajo estará estrechamente alineado

con el trabajo en IEC/IEEE 60802, que define un perfil común para TSN para la automatización industrial. En la actualidad, está previsto concluir el trabajo en 60802 durante 2021, que probablemente sea la misma fecha en la que se publicarán algunos documentos finales que describen OPC-UA y TSN.

[0877] Los estándares de SEMI (antes conocido como Semiconductor Equipment and Materials International) definen el Estándar de comunicaciones de equipos de SEMI/Modelo de equipo genérico (SECS/GEM) que a su vez proporciona una interfaz de protocolo para que el equipo aloje comunicaciones de datos. El propósito de SEMI es servir a la cadena de suministro de fabricación para la producción de productos electrónicos en fábricas o plantas de fabricación de semiconductores.

[0878] SECS/GEM es una alternativa a OPC UA que se utiliza en la industria de los semiconductores. La memoria define cómo se comunica el equipo con la central en la fábrica.

[0879] Aplicaciones específicas para IoT industrial

[0880] A continuación se presentan discusiones detalladas de varias aplicaciones de la tecnología y técnicas descritas anteriormente en el contexto de IoT industrial. Se apreciará, por supuesto, que estas aplicaciones no se limitan a este contexto. Se describen varias aplicaciones diferentes, incluidas técnicas para programar recursos, manejar flujos de datos sensibles al tiempo en una red 5G, detectar el soporte del sistema para TSN, manejar diferentes tiempos de diferentes redes, y compresión y descompresión de datos. Además, se describen algunas combinaciones de estas técnicas. Debe apreciarse, sin embargo, que cualquiera de estas técnicas puede combinarse con cualquiera de las otras técnicas, así como con una o más de las otras técnicas y tecnologías descritas anteriormente, para abordar las necesidades especiales de un factor u otro entorno industrial.

[0881] Programación de recursos en la RAN

[0882] Como se mencionó anteriormente, mientras que 5G se basa en comunicaciones inalámbricas que utilizan tecnologías Long-Term Evolution (LTE) y/o New Radio (NR), TSN se basa en el estándar IEEE 802.3 Ethernet, un estándar de comunicación cableada diseñado para la calidad de servicio (QoS) de “mejor esfuerzo”. TSN describe una colección de características destinadas a hacer que el rendimiento de Ethernet heredado sea más determinista, incluida la sincronización de tiempo, transmisiones de baja latencia garantizadas y confiabilidad mejorada. Las funciones de TSN disponibles en la actualidad se pueden agrupar en las siguientes categorías (que se muestran a continuación con las especificaciones de IEEE asociadas):

- Sincronización de tiempo (p. ej., IEEE 802.1AS);
- Baja latencia limitada (p. ej., IEEE 802.1Qav, IEEE 802.1Qbu, IEEE 802.1Qbv, IEEE 802.1Qch, IEEE 802.1Qcr);
- Ultrafiabilidad (p. ej., IEEE 802.1CB, IEEE 802.1Qca, IEEE 802.1Qci);
- Configuración y administración de red (p. ej., IEEE 802.1Qat, IEEE 802.1Qcc, IEEE 802.1Qcp, IEEE 802.1CS).

[0883] La configuración y administración de una red TSN se puede implementar de diferentes formas, como se ilustra en las Figuras 106, 107 y 108. Más específicamente, las figuras 106-108 son diagramas de bloques que ilustran respectivamente los modelos de configuración de redes sensibles al tiempo (TSN) distribuidas, centralizadas y totalmente centralizadas, como se especifica en IEEE Std. 802.1Qbv-2015. Dentro de una red TSN, los extremos de comunicación se denominan “Hablante” y “Oyente”. Todos los conmutadores y/o puentes entre un Hablante y un Oyente pueden admitir ciertas características de TSN, tales como la sincronización de tiempo IEEE 802.1AS. Un “dominio TSN” incluye todos los nodos que están sincronizados en la red, y la comunicación TSN solo es posible dentro de dicho dominio TSN.

[0884] La comunicación entre Hablante y Oyente es en flujos. Cada flujo se basa en los requisitos de latencia y velocidad de datos de una aplicación implementada tanto en el Hablante como el Oyente. Las características de configuración y administración de TSN se utilizan para configurar el flujo y garantizar los requisitos del flujo en toda la red. En el modelo distribuido de la Figura 106, el Hablante y el Oyente pueden, por ejemplo, usar el Protocolo de reserva de flujo (SRP) para instalar y configurar una transición de TSN en cada conmutador a lo largo de la ruta desde el Hablante y el Oyente en la red TSN.

[0885] No obstante, algunas características de TSN pueden requerir una entidad de administración central denominada Configuración de red centralizada (CNC), como se muestra en la Figura 107. El CNC puede utilizar, por ejemplo, los modelos Netconf y YANG para configurar los conmutadores en la red para cada flujo de TSN. Esto también facilita el uso de colas controladas por tiempo (definido en IEEE 802.1Qbv) que permite el transporte de datos en una red TSN con latencia determinista. Con las colas controladas por tiempo en cada conmutador, las colas se abren o cierran según un cronograma preciso, lo que permite que los paquetes de alta prioridad pasen con una latencia y una fluctuación mínimas. Por supuesto, los paquetes pueden llegar a un puerto de entrada del conmutador antes de que la apertura programada de la puerta. El modelo totalmente centralizado que se muestra en la Figura 108 también incluye una entidad de Configuración de usuario centralizada (CUC) utilizada como punto de contacto para el Oyente y el Hablante. La CUC recopila los requisitos de flujo y las capacidades de los terminales de los dispositivos y se comunica directamente con CNC. En IEEE 802.1Qcc se proporcionan más detalles sobre la configuración de TSN.

[0886] La Figura 109 muestra un diagrama de secuencia de un procedimiento de configuración de flujo de TSN ejemplar con base en el modelo de configuración totalmente centralizado que se muestra en la Figura 108. Las operaciones numeradas que se muestran en la Figura 109 corresponden a la

siguiente descripción. Aun así, las etiquetas numéricas se utilizan a modo de ilustración en lugar de especificar un orden para las operaciones. En otras palabras, las operaciones que se muestran en la Figura 109 se pueden realizar en diferentes órdenes y se pueden combinar y/o dividir en operaciones distintas de las que se muestran en la figura.

1 CUC puede recibir información de, p. ej., una aplicación industrial y/o herramienta de ingeniería (p. ej., un control lógico programable, PLC) que especifica dispositivos y/o estaciones finales para intercambiar flujos sensibles al tiempo.

2 CUC lee las capacidades de las estaciones finales y las aplicaciones en la red TSN, incluido un periodo/intervalo de tráfico de usuarios y tamaños de carga útil.

3 Con base en la información anterior, CUC crea StreamID como un identificador para cada flujo de TSN, un StreamRank y los requisitos de UsertoNetwork. En la red TSN, streamID se utiliza para identificar de forma única las configuraciones de flujo y para asignar recursos de TSN al flujo de un usuario. La streamID consiste en dos tuplas: 1) MacAddress asociada con el Hablante de TSN; y 2) UniqueID para distinguir entre varios flujos dentro de las estaciones finales identificadas por MacAddress.

4 El CNC descubre la topología de la red física utilizando, por ejemplo, el Protocolo de descubrimiento de capa de enlace (LLDP) y cualquier protocolo de administración de red.

5 El CNC utiliza un protocolo de administración de red para leer las capacidades TSN de los puentes (p. ej., IEEE 802.1Q, 802.1AS, 802.1CB) en la red TSN.

6 CUC inicia solicitudes de incorporación para configurar los recursos de red en los puentes para un flujo de TSN de un Hablante a un Oyente.

7 Los grupos de Hablantes y Oyentes (grupo de elementos que especifican un flujo TSN) son creados por CUC, como se especifica en IEEE

802.1Qcc, 46.2.2). El CNC configura el dominio TSN y verifica la topología física y si los flujos sensibles al tiempo son admitidos por puentes en la red. El CNC también realiza el cálculo de rutas y cronogramas de los flujos.

8 El CNC configura las características de TSN en los puentes a lo largo de la ruta calculada en (p. ej., la configuración del programa de transmisión, como se explica más adelante).

9 El CNC devuelve el estado (correcto o incorrecto) de la asignación de recursos resultante para los flujos a CUC.

10 CUC configura además las estaciones finales para iniciar el intercambio de tráfico del plano de usuario (UP), como se definió inicialmente, entre el Oyente y el Hablante.

[0887] En el modelo de configuración distribuida como se ilustra en la Figura 106, no hay CUC ni CNC. Por lo tanto, el Hablante es responsable del inicio de un flujo TSN. Dado que no hay ningún CNC presente, los puentes se configuran por sí mismos, lo que no permite el uso de las colas controladas por tiempo mencionadas anteriormente. Por el contrario, en el modelo centralizado que se muestra en la Figura 107, el Hablante es responsable de la inicialización del flujo, pero los puentes están configurados por CNC.

[0888] Las redes 5G normalizadas por 3GPP son una solución para conectar dispositivos inalámbricos y/o estaciones finales a una red 802.1 TSN. En general, la arquitectura de la red 5G consiste en una red de acceso radioeléctrico de próxima generación (NG-RAN) y una red central 5G (5GC). La NG-RAN puede comprender un conjunto de gNodeB (gNB, también conocidos como estaciones base) conectados al 5GC a través de una o más interfaces NG, mientras que los gNB pueden estar conectados entre sí a través de una o más interfaces Xn. Cada uno de los gNB puede admitir la duplexación por división de frecuencia (FDD), la duplexación por división de tiempo (TDD) o una combinación de estos. Los dispositivos, también conocidos como equipos de

usuario (UE), se comunican de forma inalámbrica con la red 5G a través de los gNB.

[0889] La Figura 110 es un diagrama de bloques que ilustra una división ejemplar de la arquitectura de red 5G en plano de control (CP) y funcionalidad de plano de usuario o datos (UP). Por ejemplo, un UE puede comunicar paquetes de datos a un dispositivo y/o una aplicación en una red externa (p. ej., internet) enviándolos a través de un gNB de servicio a una función de plano de usuario (UPF), que proporciona una interfaz de la red 5G a otras redes externas. La funcionalidad CP puede operar en cooperación con la funcionalidad UP y puede incluir varias funciones que se muestran en la Figura 110, incluida una función de gestión de acceso (AMF) y una función de gestión de sesión (SMF).

[0890] Aun así, existen varios desafíos y/o problemas que deben resolverse para el correcto interfuncionamiento de las redes 5G y TSN. En particular, existen varios desafíos relacionados con la configuración de una red 5G para manejar comunicaciones de datos hacia/desde una red externa (p. ej., una red TSN) que están sujetas a un cronograma de tiempo crítico determinado por la red externa en lugar de la red 5G.

[0891] La Figura 111 es un diagrama de bloques que ilustra una disposición ejemplar para el interfuncionamiento entre la arquitectura de red 5G que se muestra en la Figura 110 y una arquitectura de red TSN totalmente centralizada ejemplar. En la siguiente discusión, un dispositivo conectado a la red 5G se denomina extremo de 5G y un dispositivo conectado al dominio TSN se denomina extremo de TSN. La disposición mostrada en la Figura 111 incluye un extremo de TSN del Hablante y un extremo de 5G del Oyente conectado a un UE. En otras disposiciones, un UE puede conectarse en cambio a una red TSN que comprende al menos un puente de TSN y al menos un extremo de TSN. En esta configuración, el UE puede ser parte de una puerta TSN-5G.

[0892] Tanto las redes 5G como las TSN utilizan procedimientos específicos para la administración y configuración de la red, y mecanismos

específicos para lograr un rendimiento determinista. Para facilitar la creación de redes deterministas de extremo a extremo para las redes industriales, estos diferentes procedimientos y mecanismos deben trabajar juntos de manera cooperativa.

[0893] Como se describe en IEEE 802.1Qbv-2015, TSN proporciona una programación de tráfico específica consciente del tiempo para facilitar una baja latencia determinista para aplicaciones industriales, donde el tiempo de ciclo se conoce de antemano. Esta programación de tráfico se basa en puertas conscientes del tiempo que permiten las transmisiones de cada cola según una escala de tiempo predefinida. La Figura 112 es un diagrama de bloques que ilustra la selección de transmisión basada en puertas entre colas de tráfico con base en puertas, como se especifica en IEEE Std. 802.1Qbv-2015. Para una cola determinada, las puertas de transmisión pueden estar en dos estados: abiertas o cerradas.

[0894] Además, cada puerta de transmisión se relaciona con una clase de tráfico asociada con una cola específica, con varias colas potenciales asociadas con un puerto dado. En cualquier momento, una puerta se puede encender o apagar. Este mecanismo es consciente del tiempo y puede basarse, p. ej., en una aplicación PTP dentro de un puente de TSN o una estación final de TSN. Este mecanismo permite que la ejecución de una lista de control de puertas se coordine con precisión en toda la red, lo que facilita las transmisiones estrictamente programadas para una determinada clase de tráfico. En el presente documento, un programa de transmisión se puede definir como un cronograma que indica en qué momento se producirán las transmisiones. Además, un programa de transmisión de tiempo crítico se puede definir como un cronograma que indica en qué momento se producirán las transmisiones de una red sensible al tiempo (TSN).

[0895] Conforme se describe arriba en relación con la Figura 109, la información sobre los cronogramas de flujo de TSN es calculada por una entidad

CNC en el modelo de TSN totalmente centralizado, según los requisitos del usuario a la red (p. ej., IEEE 802.1Qcc § 46.2.3.6 de) proporcionado por el Hablante y/o el Oyente (y/o a través de la entidad CUC). Además, el CNC utiliza objetos de administración estándar (p. ej., definidos en IEEE 802.1Qvc) y un protocolo de administración de red remota para configurar los cronogramas de transmisión en los puentes TSN (operación 8 en la Figura 109).

[0896] Sin embargo, estas características son específicas de las redes TSN y no tienen en cuenta la arquitectura de red 5G de interfuncionamiento, como se ilustra en la Figura 111. Por ejemplo, las redes 5G no proporcionan ningún mecanismo para que los elementos (p. ej., UE, gNB, etc.) tengan en cuenta los cronogramas de transmisión de tiempo crítico establecidos por redes externas (p. ej., redes TSN) al programar transmisiones a través de la interfaz inalámbrica entre UE y gNB. Por ejemplo, incluso si un UE conoce un programa de transmisión de tiempo crítico de este tipo (p. ej., conectado a un extremo de TSN), no hay ningún mecanismo para que el UE informe al gNB de dicho cronograma. Además, no existe ningún mecanismo que permita a gNB o UE comprender y procesar solicitudes de programación, provenientes de la red 5G.

[0897] Las realizaciones ejemplares de la presente divulgación abordan estos y otros problemas y/o deficiencias de soluciones anteriores al proporcionar técnicas novedosas para la programación de tiempo predefinida para usuarios específicos y/o flujos de QoS con base en programas de transmisión conscientes del tiempo (p. ej., desde redes externas) para cumplir requisitos específicos de latencia limitada. Por ejemplo, estas técnicas pueden proporcionar mecanismos para que un UE (o nodo de red, p. ej., gNB) sea informado de tal programa de transmisión e informe el cronograma al nodo de red (o UE). De esta manera, tales técnicas novedosas pueden proporcionar varios beneficios, que incluyen el interfuncionamiento cooperativo entre redes celulares (p. ej., 5G) y TSN que utilizan diferentes programadores y/o mecanismos de programación, lo que

facilita la latencia limitada de las transmisiones de tiempo crítico entre los extremos del Hablante/Oyente a través de redes 5G.

[0898] La Figura 113 es un diagrama de bloques que ilustra un escenario de comunicación ejemplar entre dos unidades de hablante/oyente de TSN a través de redes 5G y TSN, según algunas realizaciones ejemplares de la presente divulgación. En este escenario, un UE está conectado a un hablante/oyente de TSN, que a su vez se puede conectar al equipo de la planta (p. ej., un control de robot) que se requiere para ejecutar una aplicación según un tiempo de ciclo predefinido. Un desafío en este escenario es facilitar la transmisión oportuna de los paquetes de flujo de TSN desde el gNB al UE, según las latencias limitadas requeridas por el equipo y/o la aplicación.

[0899] La Figura 114 muestra un diagrama de secuencia de un método y/o procedimiento ejemplar para configurar la transmisión oportuna de paquetes de flujo de TSN a través de la configuración de red mostrada en la Figura 113, según estas realizaciones ejemplares. Las operaciones numeradas que se muestran en la Figura 114 corresponden a la siguiente descripción. Aun así, las etiquetas numéricas se utilizan a modo de ilustración en lugar de especificar un orden para las operaciones. En otras palabras, las operaciones que se muestran en la Figura 114 se pueden realizar en diferentes órdenes y se pueden combinar y/o dividir en operaciones distintas de las que se muestran en la figura.

[0900] En la operación 11, el CUC envía al CNC una solicitud de incorporación para que un usuario se una a la red TSN. Por ejemplo, esta solicitud puede basarse en y/o ser en respuesta a una aplicación de control lógico programable (PLC) que solicita programar un flujo de TSN entre un sensor (Hablante) y un controlador PLC (Oyente). En la operación 12, el CNC calcula un programa de transmisión con base en los requisitos específicos del flujo de TSN identificado en la operación 11.

[0901] En la operación 13, el CNC configura los objetos administrados de los conmutadores de TSN que se encuentran en la ruta entre el sensor y el

controlador PLC. En IEEE 802.1Qbv-2015 § 12 se describe un objeto administrado ejemplar que se va a configurar para una programación mejorada consciente del tiempo. En realizaciones ejemplares, el CNC trata la red 5G como un conmutador de TSN en la ruta y, por lo tanto, solicita a la red central 5G (5GC) que configure recursos para este flujo de TSN. Por ejemplo, esto se puede hacer mediante el envío del CNC a una función de gestión de acceso (AMF, ver Figuras 110-111) los tiempos de ciclo y las listas de control de puertas para las clases de tráfico dentro del flujo de TSN.

[0902] En la operación 14, la entidad receptora (p. ej., AMF) en el 5GC puede traducir los requisitos de flujo de TSN solicitados (p. ej., tiempo de ciclo, lista de control de puerta, etc.) a requisitos de QoS para el UE que está conectado al hablante/oyente de TSN (p. ej., sensor). Además, el AMF puede traducir los requisitos de flujo de TSN solicitados en una ventana de tiempo y periodicidad para los gNB a los que el UE transmitirá y/o recibirá este flujo de TSN.

[0903] En algunas realizaciones, la operación 14 puede implicar varias suboperaciones. Por ejemplo, se puede identificar el UE y una sesión de PDU correspondiente al flujo de TSN, y se puede identificar un mapeo entre las clases de tráfico dentro de este flujo de TSN y los flujos de QoS del UE. Para cada flujo de QoS (que puede corresponder a una o varias clases de tráfico), se puede indicar al gNB un cierto requisito de QoS. En algunas realizaciones, esta indicación al gNB puede incluir un indicador de una ventana de tiempo durante la cual se debe garantizar la transmisión de un paquete del flujo de QoS. Esta ventana de tiempo se puede indicar, p. ej., proporcionando una referencia de tiempo absoluta para el inicio de la ventana de tiempo junto con una longitud de la ventana (p. ej., como un límite de latencia). Por ejemplo, la referencia de tiempo absoluto se puede indicar como un desplazamiento de un cierto tiempo de referencia absoluto, como la sincronización de la subtrama gNB (SFN) o una coordenada de tiempo universal (UTC), tal como la proporcionada por un sistema

global de navegación por satélite (GNSS, p. ej., GPS). En algunas realizaciones, la indicación al gNB también puede incluir una periodicidad (o un periodo) de la ventana de tiempo. Esto puede incluirse, p. ej., si el flujo de TSN comprende varios eventos de transmisión que ocurren según una programación periódica.

[0904] Al indicar esta información de ventana de tiempo por flujo de QoS del UE, se pueden servir de forma independiente varias clases de tráfico de un flujo de TSN o varios flujos de TSN. En otras palabras, esta información facilita que los gNB afectados reserven recursos de radio para cada uno de los flujos de QoS durante las respectivas ventanas de tiempo asociadas con esos flujos de QoS. Por ejemplo, esto puede facilitar que los gNB mapeen los diversos flujos de QoS con diferentes portadores de radio y apliquen la asignación/reserva de recursos por portadora de radio. En el presente documento, una portadora de radio toma la definición habitual del Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP).

[0905] En la operación 14, después de determinar la información descrita anteriormente, la AMF envía una indicación y/o solicita al gNB que confirme que se pueden cumplir los requisitos de QoS, ventana de tiempo y/o periodicidad. En la operación 15, después de recibir la solicitud/indicación enviada en la operación 14, el gNB (o gNB, según sea el caso) determina si puede servir este flujo de QoS adicional con el requisito de ventana de tiempo indicado. Por ejemplo, al tomar esta determinación, el gNB puede considerar los recursos utilizados para la carga de tráfico actual y estimada, las capacidades del UE (p. ej., la eficiencia espectral, los modos de transmisión/recepción admitidos, etc.), la calidad del canal entre la RAN y el UE, y si (y/o cuántos) deben asignarse recursos garantizados adicionales para el UE. Después de tomar esta determinación, el gNB responde a la función de 5GC (p. ej., AMF) aceptando la solicitud (“sí”) o rechazando la solicitud (“no”). En algunas realizaciones, al rechazar la solicitud, el gNB puede indicar una ventana de tiempo alternativa (p. ej., mediante un desplazamiento a la ventana de tiempo solicitada) durante la cual el gNB podría

aceptar una solicitud correspondiente. En situaciones en las que el gNB acepta la solicitud, el gNB también puede reservar cualquier recurso adicional identificado como necesario para cumplir con el programa de transmisión solicitado.

[0906] En la operación 16, después de recibir la respuesta de los gNB, la función de 5GC puede traducir esta respuesta, que se basa en el mapeo de flujo de QoS, a un nivel de granularidad de flujo de tráfico/flujo de TSN, y proporciona una respuesta a TSN CNC. La respuesta puede estar en un formato que pueda ser decodificado por TSN CNC. En la operación 17, luego de recibir esta respuesta, el CNC proporciona al CUC una respuesta correspondiente a la solicitud de incorporación recibida en la operación 11. En la operación 18, después de recibir la respuesta de incorporación del CNC, el CUC configura además todas las estaciones finales de Hablante y Oyente asociadas con la solicitud original. En algunas realizaciones, el CUC también puede solicitar al 5GC que inicie una conexión con el UE, mientras que en otras realizaciones, el 5GC podría utilizar una sesión de PDU predeterminada y/o ya existente.

[0907] La Figura 115 es un diagrama de bloques que ilustra otro escenario de comunicación ejemplar entre una unidad de hablante/oyente de TSN y un controlador virtualizado a través de una red 5G, según otras realizaciones ejemplares de la presente divulgación. En este escenario, una red TSN está conectada al UE, que actúa como una puerta para conectar una estación final de Hablante/Oyente a través de un enlace inalámbrico a la red 5G. Un desafío en este escenario es facilitar la transmisión oportuna de los paquetes de flujo de TSN desde el UE al gNB, según las latencias limitadas requeridas por la programación calculada por un CNC en la red TSN.

[0908] La Figura 116 muestra un diagrama de secuencia de un método y/o procedimiento ejemplar para configurar la entrega oportuna de paquetes de flujo de TSN a través de la configuración de red mostrada en la Figura 115, según estas realizaciones ejemplares. Las operaciones numeradas que se muestran

en la Figura 116 corresponden a la siguiente descripción. Aun así, las etiquetas numéricas se utilizan a modo de ilustración en lugar de especificar un orden para las operaciones. En otras palabras, las operaciones que se muestran en la Figura 116 se pueden realizar en diferentes órdenes y se pueden combinar y/o dividir en operaciones distintas de las que se muestran en la figura.

[0909] En la operación 21, el CNC calcula el programa de transmisión según los requisitos proporcionados por CUC y lo envía a la interfaz de TSN de la red 5G, que en este caso es el UE. En la operación 22, el UE crea y envía un mensaje solicitando recursos de radio de enlace ascendente (UL) según el programa de transmisión proporcionado por el CNC, que se puede incluir en el mensaje. Por ejemplo, el UE puede enviar el mensaje a la AMF en el 5GC. En la operación 23, después de recibir este mensaje, el AMF recupera el perfil de UE de una función de administración de datos de usuario (UDM) en el 5GC y, según esta información, determina a qué gNB está conectado el UE. En la operación 24, el AMF envía una solicitud a los gNB para habilitar la característica TSN QoS hacia el UE según el programa de transmisión, que puede incluirse en la solicitud. En algunas realizaciones, el AMF también puede enviar una referencia de tiempo modificada al otro Hablante/Oyente (p. ej., un controlador virtualizado) conectado a la red 5G (operación 24a).

[0910] En la operación 25, los gNB receptores pueden realizar operaciones sustancialmente similares a las descritas anteriormente con referencia a la operación 15 de la Figura 114, pero con respecto al enlace ascendente en lugar del enlace descendente. Después de recibir la respuesta de los gNB enviados en la operación 25, el AMF puede responder (operación 26) a la solicitud de recursos recibida del UE en la operación 22. De manera similar a la operación 16 que se muestra en la Figura 114, el AMF puede traducir la respuesta de gNB, que se basa en el mapeo de flujo de QoS, a un nivel de granularidad de flujo de tráfico/flujo de TSN y proporciona una respuesta en este formato al UE. En la operación 27, el UE puede reenviar esta información al CNC,

en respuesta al programa de transmisión solicitado recibido en la operación 21. Como se analizó anteriormente en relación con determinadas realizaciones ilustradas en la Figura 114, si gNB rechaza el programa de transmisión solicitado, pero ofrece una ventana de tiempo alternativa que puede aceptar, las respuestas enviadas en las operaciones 15-17 de la Figura 114 y las operaciones 25-27 de la Figura 116 puede incluir dicha ventana de tiempo alternativa, formateada y/o traducida según con los protocolos y/o requisitos de los respectivos destinatarios.

[0911] Como puede entenderse a partir de la descripción anterior, estas y otras realizaciones ejemplares facilitan la programación de transmisiones conscientes del tiempo en una red celular (p. ej., una red 5G) según los requisitos sensibles al tiempo (p. ej., latencia limitada) de una red externa, tal como una red TSN. Las realizaciones ejemplares facilitan tales características a través de técnicas novedosas para recopilar (ya sea a través del UE o una función de red tal como un AMF) información sobre el tiempo y la periodicidad asociados con el tráfico proporcionado una red externa y reenviar dicha información a una o más estaciones base (p. ej., gNB) en la red celular. En tal caso, la o las estaciones base pueden determinar si los requisitos externos sensibles al tiempo del tráfico solicitado pueden ser admitidos y, de ser así, utilizar dicha información para programar transmisiones de enlace ascendente o descendente entre el UE y la o las estaciones base.

[0912] La Figura 117 es un diagrama de flujo que ilustra un método y/o procedimiento ejemplar para programar recursos en una red de acceso radioeléctrico (RAN) según un programa de transmisión asociado con una red externa, según varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación. El método y/o procedimiento ejemplar que se muestra en la Figura 117 se puede implementar en una red central (p. ej., 5GC) asociada con la RAN (p. ej., NG-RAN), como por un nodo de red central (p. ej., AMF) que se muestra en, o se describe en relación con, otras figuras del presente documento. Además, como

se explica más abajo, el método y/o procedimiento de ejemplo que se muestra en la Figura 117 se puede usar de forma cooperativa con el método y/o los procedimientos de ejemplo que se muestran en la Figuras 118 y/o 119 (descritos a continuación) para proporcionar diversos beneficios de ejemplo descritos en el presente documento. Aunque la Figura 117 muestra bloques en un orden particular, este orden es simplemente a título de ejemplo y las operaciones del método y/o procedimiento ejemplar se pueden realizar en un orden diferente al que se muestra en la Figura 117 y se pueden combinar y/o dividir en bloques que tienen una funcionalidad diferente. Las operaciones opcionales están representadas por líneas de trazos.

[0913] El método y/o procedimiento ejemplar ilustrado en la Figura 117 puede incluir las operaciones del bloque 1210, donde el nodo de red puede recibir, desde la red externa, un programa de transmisión asociado con un flujo de datos sensibles al tiempo. En el presente documento, un flujo de datos sensibles al tiempo puede ser un flujo de datos de una Red sensible al tiempo (TSN). Por tanto, en algunas realizaciones, la red externa comprende una Red sensible al tiempo (TSN), tal como se describe en los estándares de IEEE analizados en el presente documento. En tales realizaciones, el flujo de datos puede comprender un flujo de TSN, p. ej., asociado con una estación final de Hablante y/u Oyente en el TSN. En tales realizaciones, el programa de transmisión puede comprender tiempos de ciclo y listas de control de puerta para una o más clases de tráfico que comprenden el flujo de TSN.

[0914] El método y/o procedimiento ejemplar también puede incluir las operaciones del bloque 1220, donde el nodo de red puede enviar a la RAN una solicitud para asignar recursos de radio para la comunicación del flujo de datos entre la RAN y un equipo de usuario (UE), donde la solicitud comprende además información relacionada con el programa de transmisión. En algunas realizaciones, la información relacionada con el programa de transmisión incluye uno o más de los siguientes: un identificador del UE; identificadores de uno o

más flujos de calidad de servicio (QoS) asociados con el flujo de datos; y un requisito de QoS asociado con cada uno de los flujos de QoS. En algunas realizaciones, cada requisito de QoS puede comprender una o más ventanas de tiempo durante las cuales se requiere la transmisión del flujo de datos. En algunas realizaciones, cada requisito de QoS comprende una ventana de tiempo inicial y una periodicidad que identifica las ventanas de tiempo posteriores.

[0915] El método y/o procedimiento ejemplar también puede incluir las operaciones del bloque 1230, en el que el nodo de red puede recibir, desde la RAN, una respuesta que indica si se pueden asignar recursos de radio para cumplir con el programa de transmisión asociado con el flujo de datos. En algunas realizaciones, según el sub-bloque 1235, si la respuesta indica que los recursos de radio no se pueden asignar para cumplir con el programa de transmisión del flujo de datos, la respuesta comprende además una indicación de una o más ventanas de tiempo adicionales durante las cuales los recursos de radio pueden asignarse.

[0916] En algunas realizaciones, la respuesta puede indicar si se puede cumplir el requisito de QoS asociado con cada uno de los flujos de QoS. En tales realizaciones, el método y/o procedimiento ejemplar también puede incluir las operaciones del bloque 1240, en el que el nodo de red puede determinar si el programa de transmisión puede cumplirse según la indicación de si se puede cumplir el requisito de QoS asociado con cada uno de los flujos de QoS. En algunas realizaciones, el método y/o procedimiento ejemplar también puede incluir las operaciones del bloque 1250, en el que el nodo de red puede enviar, a la red externa, una indicación de si se puede cumplir con el programa de transmisión.

[0917] En algunas realizaciones, el método puede ser realizado por una función de gestión de acceso (AMF) en una red central 5G (5GC). En algunas realizaciones, el programa de transmisión se puede recibir desde la red externa; y los recursos de radio son para la comunicación de enlace descendente desde

la RAN al UE. En algunas realizaciones, el programa de transmisión se recibe desde el UE; y los recursos de radio son para la comunicación de enlace ascendente desde el UE a la RAN.

[0918] La Figura 118 es un diagrama de flujo que ilustra un método y/o procedimiento ejemplar para programar recursos en una red de acceso radioeléctrico (RAN) según un programa de transmisión asociado con una red externa, según varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación. El método y/o procedimiento ejemplar que se muestra en la Figura 118 se puede implementar en una RAN (p. ej., NG-RAN) asociada con una red central (p. ej., 5GC), tal como por un nodo RAN (p. ej., gNB) que se muestra en, o se describe en relación con, otras figuras en el presente documento. Además, como se explica más abajo, el método y/o procedimiento de ejemplo que se muestra en la Figura 118 se puede usar de forma cooperativa con el método y/o los procedimientos de ejemplo que se muestran en la Figuras 117 y/o 119 (descritos más arriba y más abajo) para proporcionar diversos beneficios de ejemplo descritos en el presente documento. Aunque la Figura 118 muestra bloques en un orden particular, este orden es simplemente a título de ejemplo y las operaciones del método y/o procedimiento ejemplar se pueden realizar en un orden diferente al que se muestra en la Figura 118 y se pueden combinar y/o dividir en bloques que tienen una funcionalidad diferente. Las operaciones opcionales están representadas por líneas de trazos.

[0919] El método y/o procedimiento ejemplar ilustrado en la Figura 118 puede incluir las operaciones del bloque 1310, en el que el nodo de red puede recibir, desde la red central, una solicitud para asignar recursos de radio entre la RAN y un equipo de usuario (UE) para la comunicación de un flujo de datos sensibles al tiempo, donde la solicitud comprende además información relacionada con un programa de transmisión asociado con el flujo de datos. En algunas realizaciones, la red externa comprende una Red sensible al tiempo (TSN); y el flujo de datos comprende un flujo de TSN.

[0920] En algunas realizaciones, la información relacionada con el programa de transmisión incluye uno o más de los siguientes: un identificador del UE; identificadores de uno o más flujos de calidad de servicio (QoS) asociados con el flujo de datos; y un requisito de QoS asociado con cada uno de los flujos de QoS. En algunas realizaciones, cada requisito de QoS puede comprender una o más ventanas de tiempo durante las cuales se requiere la transmisión del flujo de datos. En algunas realizaciones, cada requisito de QoS comprende una ventana de tiempo inicial y una periodicidad que identifica las ventanas de tiempo posteriores.

[0921] El método y/o procedimiento ejemplar ilustrado en la Figura 118 también puede incluir las operaciones del bloque 1320, en el que el nodo de red puede, según la información relacionada con el programa de transmisión, determinar si se pueden asignar recursos de radio para cumplir con el programa de transmisión. En algunas realizaciones, la determinación de si se pueden asignar recursos de radio para cumplir con el programa de transmisión puede basarse además en uno o más de los siguientes: recursos necesarios para la carga de tráfico actual o estimada, capacidades del UE, calidad del canal entre la RAN y el UE, y necesidad de asignar recursos garantizados adicionales para el UE.

[0922] En algunas realizaciones, si se determina en el bloque 1320 que los recursos de radio no se pueden asignar para cumplir con el programa de transmisión asociado con el flujo de datos, el método y/o procedimiento ejemplar incluye las operaciones del bloque 1330, donde el nodo de red puede determinar una o más ventanas de tiempo adicionales durante las cuales se pueden asignar recursos de radio. En algunas realizaciones, si se determina en el bloque 1320 que los recursos de radio pueden asignarse para cumplir con el programa de transmisión asociado con el flujo de datos, el método y/o procedimiento ejemplar incluye las operaciones del bloque 1340, donde el nodo de red puede mapear

uno o más flujos de QoS hacia al menos un portador de radio entre la RAN y el UE, y reservan recursos de transmisión para al menos un portador de radio.

[0923] El método y/o procedimiento ejemplar también incluye las operaciones del bloque 1350, en el que el nodo de red puede enviar a la red central una respuesta que indica si los recursos de radio pueden asignarse para cumplir con el programa de transmisión. En algunas realizaciones, si se determina en el bloque 1320 que los recursos de radio no se pueden asignar para cumplir con el programa de transmisión, la respuesta enviada en el bloque 1350 también puede incluir una indicación de una o más ventanas de tiempo adicionales determinadas en el sub-bloque opcional 1330. Esto se ilustra mediante el sub-bloque opcional 1355.

[0924] La Figura 119 es un diagrama de flujo que ilustra un método y/o procedimiento ejemplar para programar recursos en una red de acceso radioeléctrico (RAN) según un programa de transmisión asociado con una red externa, según varias realizaciones ejemplares de la presente divulgación. El método y/o procedimiento ejemplar que se muestra en la Figura 119 puede implementarse, p. ej., por un equipo de usuario (UE, p. ej., dispositivo inalámbrico, dispositivo de IoT, dispositivo de M2M, etc.) en comunicación con una RAN (p. ej., NG-RAN) que está asociado con una red central (p. ej., 5GC), tal como la que se muestra en, o se describe en relación con, otras figuras del presente documento. Además, como se explica más abajo, el método y/o procedimiento de ejemplo que se muestra en la Figura 119 se puede usar de forma cooperativa con el método y/o los procedimientos de ejemplo que se muestran en la Figuras 117 y/o 118 (descritos anteriormente) para proporcionar diversos beneficios de ejemplo descritos en el presente documento. Aunque la Figura 119 muestra bloques en un orden particular, este orden es simplemente a título de ejemplo y las operaciones del método y/o procedimiento ejemplar se pueden realizar en un orden diferente al que se muestra en la Figura 119 y se

pueden combinar y/o dividir en bloques que tienen una funcionalidad diferente. Las operaciones opcionales están representadas por líneas de trazos.

[0925] El método y/o procedimiento ejemplar ilustrado en la Figura 119 puede incluir las operaciones del bloque 1410, donde el UE puede recibir, desde la red externa, un programa de transmisión asociado con un flujo de datos sensibles al tiempo. En algunas realizaciones, la red externa comprende una Red sensible al tiempo (TSN) tal como se describe en los estándares de IEEE analizados en el presente documento. En tales realizaciones, el flujo de datos puede comprender un flujo de TSN, p. ej., asociado con una estación final de Hablante y/u Oyente en el TSN. En tales realizaciones, el programa de transmisión puede comprender tiempos de ciclo y listas de control de puerta para una o más clases de tráfico que comprenden el flujo de TSN.

[0926] El método y/o procedimiento ejemplar también puede incluir las operaciones del bloque 1420, en el que el UE puede enviar, a una red central asociada con la RAN, una solicitud para asignar recursos de radio para la comunicación del flujo de datos entre el UE y la RAN, donde la solicitud comprende además información relacionada con el programa de transmisión. En algunas realizaciones, la información relacionada con el programa de transmisión comprende el programa de transmisión.

[0927] El método y/o procedimiento ejemplar también puede incluir las operaciones del bloque 1430, en el que el UE puede recibir, desde la red central, una respuesta que indica si se pueden asignar recursos de radio para cumplir con el programa de transmisión asociado con el flujo de datos. En algunas realizaciones, si la respuesta de la red central indica que los recursos de radio no pueden asignarse para cumplir con el programa de transmisión del flujo de datos, la respuesta comprende además una indicación de una o más ventanas de tiempo adicionales durante las cuales se pueden asignar recursos de radio. Esto se ilustra mediante el sub-bloque opcional 1435. En algunas realizaciones,

la solicitud (bloque 1420) se puede enviar y la respuesta (bloque 1430) se puede recibir desde una función de gestión de acceso (AMF) en un 5GC.

[0928] En algunas realizaciones, el método y/o procedimiento ejemplar también puede incluir las operaciones del bloque 1440, en el que el UE puede enviar, a la red externa, una indicación de si se puede cumplir con el programa de transmisión. En algunas realizaciones, si la respuesta recibida en el bloque 1430 comprende una indicación de una o más ventanas de tiempo adicionales durante las cuales se pueden asignar recursos de radio (sub-bloque 1435), la indicación enviada a la red externa incluye además información relacionada con una o más ventanas de tiempo adicionales. Esto se ilustra mediante el sub-bloque opcional 1445.

[0929] La Figura 120 ilustra un ejemplo de un sistema y/o una red de comunicaciones celulares, que comprende varios dispositivos y/o sistemas utilizables para implementar cualquiera de los métodos ejemplares descritos en el presente documento. En las realizaciones descritas en el presente documento, la red de comunicaciones celulares 1500 es una red 5G NR. En este ejemplo, la red de comunicaciones celulares 1500 incluye las estaciones base 1502-1 y 1502-2, que en LTE se denominan eNB y en 5G NR se denominan gNB, que controlan las celdas macro 1504-1 y 1504-2 correspondientes. Las estaciones base 1502-1 y 1502-2 por lo general se denominan colectivamente en el presente documento como estaciones base 1502 e individualmente como estación base 1502. De manera similar, las celdas macro 1504-1 y 1504-2 por lo general se denominan colectivamente en el presente documento celdas macro 1504 e individualmente celda macro 1504.

[0930] La red de comunicaciones celulares 1500 también puede incluir cierto número de nodos de baja potencia 1506-1 a 1506-4 que controlan las celdas pequeñas correspondientes 1508-1 a 1508-4. Los nodos de baja potencia 1506-1 al 1506-4 pueden ser estaciones base pequeñas (como estaciones base pico o femto), cabezales de radio remota (RRH) o similares. En particular,

aunque no se ilustren, una o más de las celdas pequeñas 1508-1 al 1508-4 pueden ser suministradas por las estaciones base 1502 de forma alternativa. Los nodos de baja potencia 1506-1 al 1506-4 por lo general se denominan colectivamente en el presente documento como nodos de baja potencia 1506 e individualmente como nodo de baja potencia 1506. De manera similar, las celdas pequeñas 1508-1 al 1508-4 por lo general se denominan colectivamente en el presente documento como celdas pequeñas 1508 e individualmente como celda pequeña 1508. Las estaciones base 1502 (y opcionalmente los nodos de baja potencia 1506) se conectan a una red central 6150.

[0931] Las estaciones base 1502 y los nodos de baja potencia 1506 suministran servicio a dispositivos inalámbricos 1512-1 al 1512-5 en las celdas 1504 y 1508 correspondientes. Los dispositivos inalámbricos 1512-1 al 1512-5 por lo general se denominan colectivamente en el presente documento como dispositivos inalámbricos 1512 e individualmente como dispositivo inalámbrico 1512. A veces también se hace referencia a los dispositivos inalámbricos 1512 como UE en el presente documento. Los dispositivos inalámbricos 1512 pueden adoptar varias formas, incluidas las compatibles con MTC y/o NB-IoT.

[0932] La Figura 121 es un diagrama en bloque esquemático de un nodo de acceso radioeléctrico 2200, según algunas realizaciones de la presente divulgación. El nodo de acceso radioeléctrico 2200 puede ser, p. ej., una estación base (p. ej., gNB o eNB) descrita en el presente documento en relación con una o más de otras figuras. Como se ilustra, el nodo de acceso radioeléctrico 2200 incluye un sistema de control 2202 que además incluye uno o más procesadores 2204 (p. ej., unidades centrales de procesamiento (CPU), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), matrices de puertas programables en el campo (FPGA) y/o similares), la memoria 2206 y una interfaz de red 2208. Además, el nodo de acceso radioeléctrico 2200 incluye una o más unidades de radio 2210 y cada una de ellas incluye uno o más transmisores 2212 y uno o más receptores 2214 acoplados a una o más antenas 2216. En algunas realizaciones, la unidad

o las unidades de radio 2210 son externas al sistema de control 2202 y se conectan con el sistema de control 2202 por medio de, p. ej., una conexión por cable (p. ej., un cable óptico). Sin embargo, en algunas otras realizaciones, la unidad o las unidades de radio 2210 y, potencialmente, la antena o las antenas 2216 se integran juntas con el sistema de control 2202. Uno o más procesadores 2204 funcionan para suministrar una o más funciones de un nodo de acceso radioeléctrico 2200 como se describe en el presente documento. En algunas realizaciones, la función o las funciones se implementan en un *software* que se almacena, p. ej., en la memoria 2206 y uno o más procesadores 2204 las ejecutan.

[0933] La Figura 122 es un diagrama en bloque esquemático que muestra una realización virtualizada del nodo de acceso radioeléctrico 2200, según algunas realizaciones de la presente divulgación. Este análisis es igualmente aplicable a otros tipos de nodos de red. Además, otros tipos de nodos de red pueden tener estructuras virtualizadas similares.

[0934] Como se usa en el presente documento, un nodo de acceso radioeléctrico “virtualizado” es una implementación del nodo de acceso radioeléctrico 2200 en el que al menos una parte de la funcionalidad del nodo 2200 se implementa como un componente virtual (p. ej., a través de una o más máquinas virtuales) ejecutándose en uno o más nodos de procesamiento físico en una o más redes. Tal como se ilustra en este ejemplo, el nodo de acceso radioeléctrico 2200 incluye el sistema de control 2202 que incluye uno o más procesadores 2204 (p. ej., CPU, ASIC, FPGA y/o similares), la memoria 2206, y la interfaz de red 2208 y una o más unidades de radio 2210 y cada una de ellas incluye uno o más transmisores 2212 y uno o más receptores 2214 acoplados con una o más antenas 2223, conforme se describe arriba. El sistema de control 2202 está conectado a las unidades de radio 2210 a través de, p. ej., un cable óptico o similar. El sistema de control 2202 se puede conectar a uno o más nodos de procesamiento 2300 acoplados o incluidos como parte de una o más redes

2302 por medio de la interfaz de red 2308. Cada nodo de procesamiento 2300 puede incluir uno o más procesadores 2310 (p. ej., CPU, ASIC, FPGA y/o similares), memoria 2306 y una interfaz de red 2308.

[0935] En este ejemplo, las funciones 2310 del nodo de acceso radioeléctrico 2200 que se describen en el presente documento se implementan en uno o más nodos de procesamiento 2300 o se distribuyen a lo largo del sistema de control 2202 y uno o más nodos de procesamiento 2300 en cualquier forma que se desee. En algunas realizaciones específicas, algunas o todas las funciones 2310 del nodo de acceso radioeléctrico 2200 que se describen en el presente documento se implementan como componentes virtuales ejecutados por una o más máquinas virtuales implementadas en uno o más entornos virtuales alojados por el o los nodos de procesamiento 2300. Tal como lo apreciará un experto en la técnica, la señalización o comunicación adicionales entre el nodo o los nodos de procesamiento 2300 y el sistema de control 2202 se utilizan para realizar al menos algunas de las funciones deseadas 2310. En particular, en algunas realizaciones, el sistema de control 2202 puede no estar incluido; en ese caso, la unidad o las unidades de radio 2210 se comunican directamente con el nodo o los nodos de procesamiento 2300 por medio de una o más interfaces de red apropiadas.

[0936] En algunas realizaciones, un programa informático que incluye instrucciones que, cuando lo ejecuta al menos un procesador, hace que el al menos un procesador lleve a cabo la funcionalidad del nodo de acceso radioeléctrico 2200 o se proporciona un nodo (p. ej., un nodo de procesamiento 2300) que implementa una o más de las funciones 2310 del nodo de acceso radioeléctrico 2200 en un entorno virtual según cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento. En algunas realizaciones, se proporciona una portadora que comprende el producto del programa informático arriba mencionado. La portadora es una de una señal electrónica, una señal óptica, una señal de radio o un medio de almacenamiento legible por computadora (p.

ej., un medio de almacenamiento legible por computadora no transitorio, tal como una memoria).

[0937] La Figura 122 es un diagrama en bloque esquemático del nodo de acceso radioeléctrico 2200, según algunas otras realizaciones de la presente divulgación. El nodo de acceso radioeléctrico 2200 incluye uno más módulos 2400, cada uno de los cuales está implementado en el *software*. El o los módulos 2400 proporcionan la funcionalidad del nodo de acceso radioeléctrico 2200 descrito en el presente documento. Este análisis es igualmente aplicable al nodo de procesamiento 2300 de la Figura 123, donde los módulos 2400 pueden implementarse y/o distribuirse a través de uno o más nodos de procesamiento 2300 y/o el sistema de control 2202.

[0938] La Figura 124 es un diagrama en bloque esquemático de un UE 2500, según algunas realizaciones de la presente divulgación. Tal como se ilustra, el UE 2500 incluye uno o más procesadores 2502 (p. ej., CPU, ASIC, FPGA y/o similares), la memoria 2504 y uno o más transceptores 2506, cada uno de los cuales incluye uno o más transmisores 2508 y uno o más receptores 2510 acoplados a una o más antenas 2512. En algunas realizaciones, la funcionalidad del UE 2500 descrita anteriormente puede implementarse total o parcialmente en *software* que, p. ej., se almacena en la memoria 2504 y es ejecutado por uno o más procesadores 2502.

[0939] En algunas realizaciones, se proporciona un programa informático que incluye instrucciones que, cuando las ejecuta al menos un procesador, hacen que al menos un procesador realice la funcionalidad del UE 2500 según cualquiera de las realizaciones que se describen en el presente documento. En algunas realizaciones, se puede proporcionar una portadora que comprende el producto del programa informático arriba mencionado. La portadora puede ser una señal electrónica, una señal óptica, una señal de radio o un medio de almacenamiento legible por computadora (p. ej., un medio legible por computadora no transitorio tal como una memoria física).

[0940] La Figura 125 es un diagrama en bloque esquemático del UE 2500, según algunas otras realizaciones de la presente divulgación. En estas realizaciones, UE 2500 puede incluir uno o más módulos 2600, cada uno de los cuales está implementado en el *software*. Los módulos 2600 pueden proporcionar al menos una parte de la funcionalidad del UE 2500 descrita anteriormente.

[0941] Transporte de flujos de datos a través de redes de celdas

[0942] La Figura 126 ilustra la arquitectura de una red 5G e introduce funciones de red central relevantes como la función de plano de usuario (UPF).

[0943] En NR PDCP, se utiliza la compresión de encabezado. El protocolo se basa en la trama de compresión de encabezado robusta (ROHC) definida en IETF RFC 5795: “La trama de compresión de encabezado robusta (RoHC)”. La idea básica es utilizar la redundancia en los encabezados de protocolo de los nuevos paquetes, es decir, utilizar el hecho de que son similares o iguales a los paquetes recibidos anteriormente. Por lo tanto, los paquetes posteriores no necesitan incluir la información completa del encabezado del protocolo, ya que ya se conoce de los paquetes recibidos anteriormente. Se mantiene un contexto de compresión/descompresión para realizar un seguimiento de esa información. Existen varios perfiles de RoHC diferentes con diferentes algoritmos/variantes de compresión de encabezado y se definen/mencionan en la memoria de NR PDCP.

[0944] El UE se somete a un procedimiento de traspaso cuando cambia su celda primaria. La celda de origen y destino pueden pertenecer a diferentes gNB. Enfocándose en la pila de protocolos del plano de usuario involucrada en este procedimiento: el UE restablece MAC con procesos HARQ, y restablece (vacía) las entidades RLC. El protocolo PDCP sirve como ancla de traspaso, lo que significa que PDCP, en modo reconocido, hará retransmisiones de datos

aún no reconocidos, que podrían haberse perdido debido al vaciamiento de MAC/HARQ y RLC en el traspaso.

[0945] En la conectividad dual, además del traspaso, un portador de radio puede cambiarse de tipo MCG a/de tipo SCG o a/de tipo Split. Esto se puede realizar con el procedimiento de traspaso que incluye el restablecimiento de PDCP, o alternativamente, con el procedimiento de recuperación de datos de PDCP.

[0946] El soporte para sesiones de PDU de Ethernet sobre redes 5G se introdujo en 3GPP TS 23.501 y TS 23.502 (véanse, p. ej., las versiones 15.2.0 de ambas especificaciones).

[0947] La Figura 127 muestra la pila de protocolos para datos de tipo PDU de Ethernet (plano de usuario) como se define en la versión 15 de 3GPP TS 29.561, “Interfuncionamiento entre redes 5G y redes de datos externas; Etapa 3”. Las redes de datos externas pueden incluir, p. ej., LAN de Ethernet. Las características clave para dicho interfuncionamiento con redes de datos externas (DN) incluyen:

- La UPF almacenará las direcciones MAC recibidas del DN o del UE; la red 5G no asigna direcciones MAC a los UE
- El preámbulo de Ethernet, el delimitador de trama de inicio (SFD) y la secuencia de verificación de trama (FCS) no se envían a través de 5GS
- El SMF proporciona un conjunto de filtros de Ethernet y reglas de reenvío a la UPF según la estructura de la trama de Ethernet y las direcciones MAC de UE.
- Durante el establecimiento de una sesión de PDU, un servidor DN-AAA (Red de datos: autenticación, autorización y contabilidad) puede proporcionar una lista de direcciones MAC permitidas para esta sesión de PDU en particular (véase la versión 15 de 3GPP TS 29.561).
- La capa IP se considera una capa de aplicación que no forma parte de la sesión de PDU de Ethernet (véase la versión 15 de 3GPP TS 29.561)

[0948] Las redes sensibles al tiempo (TSN) son un conjunto de características que permiten la creación de redes deterministas en redes de comunicación cableada con base en Ethernet. Dentro de una red TSN, los extremos de comunicación se denominan Hablante y Oyente. Todos los conmutadores (p. ej., puentes) entre Hablante y Oyente deben admitir determinadas características de TSN, como p. ej., sincronización de tiempo IEEE 802.1AS. Todos los nodos que están sincronizados en la red pertenecen al denominado dominio TSN. La comunicación TSN solo es posible dentro de dicho dominio TSN. Para permitir la comunicación determinista, la comunicación TSN ocurre en secuencias, que se configuran en el dominio TSN antes de que se lleve a cabo la comunicación de datos. En la red TSN, existen diferentes posibilidades en cuanto a cómo se identifican y mapean las tramas a un flujo de TSN, como se define en IEEE 802.1CB. La identificación puede basarse en direcciones MAC y encabezados de VLAN y/o encabezados de IP. Pero como el estándar TSN está en desarrollo en la actualidad, también podrían introducirse otros aspectos (p. ej., el campo Ether-Type) para identificar las tramas. Una vez que se ha establecido un flujo de TSN en la red TSN, las tramas se identifican en toda la red TSN según los identificadores de flujo específicos.

[0949] En la actualidad, no existe una compresión de encabezado definida para las tramas de Ethernet para una red 5G. Esto conduciría a la transmisión de tramas de Ethernet sin comprimir, lo que implica una sobrecarga significativa dados los tamaños de carga útil típicamente pequeños para ciertos tipos de tráfico, tales como el tráfico de IoT industrial/URLLC.

[0950] Durante el restablecimiento del traspaso y la recuperación de datos, no se puede garantizar el rendimiento de RoHC, lo que es problemático para los servicios que dependen del éxito de la transmisión garantizada. Es probable que contrarrestar este problema proporcionando más recursos para el servicio (p. ej., no usar RoHC) conduzca a un desperdicio de recursos inaceptable.

[0951] Un protocolo para la compresión de encabezados de Ethernet alineado con RoHC a veces puede conducir a buenas relaciones de compresión, pero no de manera determinista, p. ej., en la situación de traspaso anterior. Esto conduce a la desventaja de que los nodos de acceso radioeléctrico (p. ej., gNB) tampoco pueden reservar los recursos mínimos necesarios de forma determinista, es decir, es posible que dichos nodos necesiten reservar más recursos para el caso de que la compresión del encabezado no conduzca a una compresión completa, lo que viene acompañado con desperdicio de recursos.

[0952] Una pérdida de contexto de compresión de RoHC (p. ej., debido a un traspaso) dará lugar a retrasos en el reenvío de paquetes en el receptor que pueden ser inaceptables para el tráfico de URLLC.

[0953] Ciertos aspectos de la presente divulgación y sus realizaciones pueden proporcionar soluciones a estos u otros desafíos.

[0954] La presente divulgación se describe dentro del contexto de la tecnología de radio 3GPP NR (p. ej., 3GPP TS 38.300 V1.3.0). Sin embargo, los expertos en la técnica entenderán que las realizaciones de la divulgación también se aplican a otras redes de comunicación celular. Las realizaciones de la divulgación permiten el transporte eficiente de flujos de datos (p. ej., flujos de datos sensibles al tiempo, tales como los de redes sensibles al tiempo (TSN)) a través de una red celular (p. ej., 5G) comprimiendo información redundante. Esto se logra haciendo que uno o más nodos de red central sean compatibles con TSN, lo que admite el manejo de los flujos de TSN mientras reduce la sobrecarga innecesaria.

[0955] En esta divulgación se describen métodos para la compresión de encabezados de transmisiones con base en flujo de Ethernet/TSN en una red 5G. En comparación con los métodos conocidos como RoHC para la compresión de encabezados de IP, los métodos descritos en el presente documento se basan en propiedades específicas del flujo de Ethernet/TSN para permitir una relación de compresión determinista.

[0956] En el presente documento se proponen diversas realizaciones que abordan una o más de las cuestiones que se divulgan aquí.

[0957] Ciertas realizaciones pueden proporcionar una o más de las siguientes ventajas técnicas. La compresión del encabezado de Ethernet en las redes celulares generalmente reduce el uso de recursos y aumenta la capacidad. Las realizaciones de la divulgación pueden conducir a una relación de compresión determinista, es decir, permitir reservas deterministas de recursos mínimos necesarios para el flujo/UE en lugar de tener en cuenta situaciones en las que no se puede alcanzar esta relación de compresión óptima. De esta forma, se mejora la capacidad del sistema.

[0958] Como se describe a continuación, las realizaciones de la divulgación suponen que los valores para uno o más campos en un encabezado de paquete de datos (p. ej., un encabezado de Ethernet) son estáticos para un flujo de datos establecido como un flujo de TSN. En este contexto, un valor puede considerarse “estático” si permanece igual para varios paquetes de datos en secuencia dentro del flujo de datos. Por lo tanto, esto no excluye las realizaciones en las que los valores de los campos en el encabezado se actualizan según sea necesario (es decir, semiestáticos). Los valores de los campos pueden permanecer iguales o no durante la vida útil del flujo de datos.

[0959] Los flujos de TSN se establecen y se aplica una configuración en todos los nodos involucrados en el flujo de TSN antes de que se transmita cualquier paquete de datos. Esto incluye también que se anuncien los identificadores de flujo de TSN.

[0960] La Figura 128 muestra una estructura de trama para un paquete de datos de TSN. Dentro de una secuencia de TSN, los campos de encabezado se utilizan para identificar un flujo. Estos campos comprenden, p. ej., dirección MAC de DST (6 bytes), encabezado VLAN (4 bytes) y campos de encabezado de IP (diversos campos). Por lo general, estos campos no se modifican después de

configurar un flujo de TSN. Por lo tanto, estos campos ofrecen la posibilidad de una compresión estática en toda la red 5G, p. ej., UPF a UE, gNB a UE, etc.

[0961] Según una realización de la divulgación, uno o más campos dentro de un encabezado para el paquete de datos se configuran para el UE y/o el gNB o UPF antes de que tenga lugar la transmisión de datos. Por ejemplo, uno o más campos pueden comprender el encabezado de Ethernet y quizás también otros campos de encabezado como, por ejemplo partes de un encabezado de IP en caso de que se utilicen para la identificación del flujo de TSN.

[0962] Los valores de los campos en el encabezado de los paquetes recibidos o transmitidos en un flujo de QoS pueden configurarse por flujo de QoS. Adicional o alternativamente, los valores para los campos en el encabezado para paquetes recibidos o transmitidos en una sesión de PDU pueden configurarse por sesión de PDU.

[0963] El procedimiento para el enlace descendente se ilustra en la Figura 129.

[0964] Para los flujos de TSN en el enlace descendente, el 5G CN (p. ej., un nodo de red central, como AMF o UPF, o una combinación de ambos) puede usar información de una red TSN con respecto a la identificación del flujo de TSN y qué campos pueden tratarse como estáticos o no, o podría usar una configuración previa para esto.

[0965] Se puede agregar un identificador a los paquetes de datos dentro de las sesiones de PDU o los flujos de QoS para diferenciar varios flujos de TSN/Ethernet dentro de la misma sesión o flujo (por lo tanto, el identificador es para un flujo de TSN/Ethernet en particular). Por ejemplo, el identificador puede usarse en lugar de los campos de encabezado de Ethernet eliminados estáticamente para la transmisión; un encabezado de 8 bits puede ser suficiente para separar flujos de TSN dentro de sesiones o flujos.

[0966] Para la compresión de encabezados entre UPF y UE (iniciada por 5G CN), se utiliza la señalización NAS. Esto comprende señalar el contenido del

encabezado que está mapeado estáticamente al UE y, opcionalmente, también un identificador de flujo que se usa dentro de una sesión de PDU o dentro de un flujo de QoS para diferenciar distintos flujos de TSN. El 5G CN configura la UPF para el mapeo estático.

[0967] Para transmisiones de enlace descendente para compresión de encabezado entre gNB y UE, se puede usar la señalización RRC, es decir, cuando se establece un nuevo flujo de QoS para el UE, se le indica al UE que utilice el encabezado configurado para los paquetes recibidos en este flujo de QoS. En una realización alternativa, la señalización de control de PDCP se emplea para indicar actualizaciones del contexto de encabezado que de otro modo sería estático (es decir, proporcionar al UE un nuevo contexto de encabezado), permitiendo una configuración de encabezado semiestática para el UE.

[0968] Además, en todos los casos anteriores, cuando se indica una actualización del encabezado estático, o se indica el nuevo encabezado estático, se puede indicar un número de secuencia al lado, identificando el paquete a partir del cual se debe usar el nuevo encabezado para la descompresión.

[0969] En una realización adicional, en la entidad receptora (p. ej., UE en DL), el reordenamiento de los paquetes recibidos según un número de secuencia debe aplicarse antes de la descompresión de encabezados. De esta forma, al indicar nuevos encabezados configurados junto a un número de secuencia, se identifica el primer paquete para el que es válido un nuevo encabezado configurado.

[0970] El procedimiento para el enlace ascendente se ilustra en la Figura 130.

[0971] Para los flujos de TSN en el enlace ascendente, el UE puede obtener información de una red TSN con respecto a la identificación del flujo de TSN y qué campos pueden tratarse como estáticos o no e informar al 5G CN en consecuencia (p. ej., reenviando la solicitud desde la red TSN al 5G CN).

[0972] Se puede agregar un identificador a los paquetes de datos dentro de las sesiones de PDU o los flujos de QoS para diferenciar varios flujos de TSN/Ethernet dentro de la misma sesión o flujo (por lo tanto, el identificador es para un flujo de TSN/Ethernet en particular). Por ejemplo, el identificador puede usarse en lugar de los campos de encabezado de Ethernet eliminados estáticamente para la transmisión; un encabezado de 8 bits puede ser suficiente para separar flujos de TSN dentro de sesiones o flujos.

[0973] Para la compresión de encabezados entre UE y UPF (iniciada por el UE), se utiliza otra vez la señalización NAS. El UE podría solicitar una compresión de encabezados estáticos del 5GCN señalizando la solicitud a través de NAS junto a cualquier dato de configuración de TSN que haya recibido de una red TSN con respecto a los encabezados de paquete de flujo de TSN. Luego, 5GCN puede configurar el mapeo estático en la UPF y posiblemente también asignar un identificador de flujo que se usa dentro de una sesión de PDU o dentro de un flujo de QoS para diferenciar varios flujos de TSN. El 5GCN puede usar la señalización NAS para informar al UE sobre el mapeo estático, así como un identificador potencial para usar. El 5GCN configura la UPF para el mapeo estático.

[0974] Además, en todos los casos anteriores, cuando se indica una actualización del encabezado estático, o se indica el nuevo encabezado estático, se puede indicar un número de secuencia al lado, identificando el paquete a partir del cual se debe usar el nuevo encabezado para la descompresión.

[0975] Para las transmisiones de enlace ascendente, el UE está configurado para eliminar los campos de encabezado de Ethernet antes de la transmisión. La configuración puede indicarse mediante señalización RRC o señalización NAS. La función de eliminación de encabezado se puede implementar en un algoritmo de transmisión SDAP o PDCP. Puede indicarse un número de secuencia identificando el primer paquete del que en adelante se aplica la eliminación de los campos de encabezado de Ethernet.

[0976] Para las transmisiones de enlace ascendente, el UE indica el encabezado (eliminado) a la red 5G antes de cualquier transmisión de datos, de modo que la red 5G puede considerar el encabezado al recibir paquetes del UE. Además, en este caso, el encabezado se puede configurar por flujo de QoS o por sesión de PDU. Además, se puede indicar un número de secuencia que identifica el primer paquete para el que se ha eliminado el encabezado y al que se debe aplicar el encabezado configurado.

[0977] En una realización adicional, en la entidad receptora (gNB o UPF en UL), el reordenamiento de los paquetes recibidos según un número de secuencia debe aplicarse antes de la descompresión de encabezados. De esta forma, al indicar nuevos encabezados configurados junto a un número de secuencia, se identifica el primer paquete para el que es válido un nuevo encabezado configurado.

[0978] Para manejar transmisiones de TSN por radio, los recursos de radio pueden preasignarse usando, p. ej., programación semipersistente (SPS) o acceso instantáneo de enlace ascendente (IUA). La preasignación de recursos se beneficia de un tamaño de carga útil conocido para la transmisión. En el marco de RoHC, el tamaño de carga útil en el peor de los casos sigue siendo el paquete completo, incluidos todos los encabezados; como no se puede determinar cuándo es necesario transmitir el contexto completo, sería necesario reservar recursos para el peor de los casos. Este no es el caso del método de compresión de encabezados estáticos descrito anteriormente.

[0979] TSN se basa en la entrega oportuna de paquetes. Los paquetes que deben retransmitirse o almacenarse en búfer debido a una falta de conocimiento del contexto dan lugar a latencias de paquetes que probablemente sean inaceptables. En su lugar, sería mejor descartar el paquete o reutilizar un contexto antiguo (o como se introdujo en esta divulgación, uno configurado estáticamente).

[0980] La Figura 131 representa un método de conformidad con realizaciones particulares. El método puede ser realizado por uno o más nodos de red central. Por ejemplo, el método puede ser realizado por una AMF y/o una UPF (tal como la AMF y la UPF descritas anteriormente con respecto a la Figura 126. Además, el método puede relacionarse o corresponder con las acciones del elemento “5G CN” en la Figura 129 descrita anteriormente. El método permite el transporte de paquetes de datos asociados con un flujo de datos (tal como un TSN u otro flujo de datos de tiempo crítico) en una red de datos externa (tal como una red de Ethernet o LAN).

[0981] El método comienza en el paso VV102, donde el o los nodos de red central obtienen información de configuración para un flujo de datos en una red de datos externa. La información de configuración indica valores respectivos para uno o más campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estáticos. Los nodos de red central pueden recibir dicha información de configuración de la red de datos externa directamente (p. ej., en un mensaje de solicitud para establecer el flujo de datos), o estar preconfigurados con la información. Uno o más campos para los que los valores pueden ser estáticos pueden comprender uno o más campos de encabezados de Ethernet, tales como uno o más de los siguientes (o todos): campo de dirección de destino; campo de dirección de origen; campo de etiqueta LAN virtual; y campo de tipo/longitud. Uno o más campos pueden comprender adicional o alternativamente uno o más campos en el encabezado de IP.

[0982] En el paso VV104, el o los nodos de red central inician la transmisión de la información de configuración a un dispositivo inalámbrico que va a recibir el flujo de datos. Por ejemplo, la información de configuración puede transmitirse mediante señalización NAS.

[0983] El o los nodos de red central pueden establecer un identificador para el flujo de datos para permitir que se distinga de otros flujos de datos. En realizaciones donde los paquetes de datos se transmiten al dispositivo

inalámbrico como parte de una sesión de PDU o flujo de QoS, el identificador puede ser único dentro de la sesión de PDU o el flujo de QoS (y por lo tanto, en tales realizaciones, un valor de identificador puede reutilizarse para diferentes flujos de datos fuera de la sesión de la de PDU o el flujo de QoS). La información de configuración puede incluir además el identificador del flujo de datos asociado.

[0984] En el paso VV106, el o los nodos de red central reciben un paquete de datos asociado con el flujo de datos de la red de datos externa. El paquete de datos puede identificarse como asociado o perteneciente al flujo de datos mediante cualquier mecanismo adecuado. La identificación puede basarse en direcciones MAC y encabezados de VLAN y/o encabezados de IP. Alternativa o adicionalmente, también podrían introducirse allí otros aspectos (p. ej., el campo Ether-Type) para identificar paquetes de datos.

[0985] En el paso VV108, el o los nodos de red central eliminan uno o más campos del paquete de datos para generar un paquete de datos comprimido. Es decir, el o los nodos de red central eliminan uno o más campos que se identificaron en la información de configuración obtenida en el paso VV102. Opcionalmente, el o los nodos de red central pueden agregar el identificador del flujo de datos al paquete de datos comprimidos. Se entenderá que el identificador puede agregarse al paquete de datos antes o después de que se hayan eliminado uno o más campos.

[0986] En el paso VV110, el o los nodos de red central inician la transmisión del paquete de datos comprimidos al dispositivo inalámbrico. Por ejemplo, el o los nodos de red central pueden enviar el paquete de datos comprimidos a un nodo de acceso radioeléctrico (tal como un gNB u otra estación base) para su transmisión posterior al dispositivo inalámbrico.

[0987] En realizaciones adicionales de la divulgación, la información de configuración para el flujo de datos puede actualizarse después de que se haya establecido la configuración anterior. En tales realizaciones, se puede obtener

información de configuración actualizada para el flujo de datos (p. ej., de la red de datos externa), que comprende una indicación de los valores actualizados respectivos para uno o más campos dentro del encabezado de los paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estático. Uno o más campos que tienen valores estáticos pueden ser iguales o diferentes a uno o más campos identificados originalmente. La información de configuración actualizada se puede transmitir luego al dispositivo inalámbrico (p. ej., a través de la señalización NAS) para permitir que el dispositivo inalámbrico descomprima los paquetes de datos en los que se eliminó la información del encabezado según la configuración actualizada. La información de configuración actualizada puede comprender un número de secuencia, que indica el paquete de datos en la secuencia de paquetes de datos asociados con el flujo de datos desde el cual se aplicará la configuración actualizada.

[0988] La Figura 132 representa un método de conformidad con realizaciones particulares. El método puede ser realizado por uno o más nodos de red central. Por ejemplo, el método puede ser realizado por una AMF y/o una UPF (tal como la AMF y la UPF descritas anteriormente con respecto a la Figura 126. Además, el método puede relacionarse o corresponder con las acciones del elemento “5G CN” en la Figura 130 descrita anteriormente. El método permite el transporte de paquetes de datos asociados con un flujo de datos (tal como un TSN u otro flujo de datos de tiempo crítico) en una red de datos externa (tal como una red de Ethernet o LAN).

[0989] El método comienza en el paso VV202, donde el o los nodos de red central obtienen información de configuración para un flujo de datos en una red de datos externa. La información de configuración indica valores respectivos para uno o más campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estáticos. Los nodos de red central pueden recibir dicha información de configuración de la red de datos externa directamente (p. ej., en un mensaje de solicitud para establecer el flujo

de datos), desde un dispositivo inalámbrico que debe transmitir paquetes de datos asociados o pertenecientes al flujo de datos. (p. ej., en un mensaje de solicitud de la red de datos externa reenviado por el dispositivo inalámbrico sobre señalización tal como la señalización NAS) o estar preconfigurado con la información. Uno o más campos para los que los valores pueden ser estáticos pueden comprender uno o más campos de encabezados de Ethernet, tales como uno o más de los siguientes (o todos): campo de dirección de destino; campo de dirección de origen; campo de etiqueta LAN virtual; y campo de tipo/longitud. Uno o más campos pueden comprender adicional o alternativamente uno o más campos en el encabezado de IP.

[0990] Puede establecerse un identificador para el flujo de datos para permitir que se distinga de otros flujos de datos. En realizaciones donde los paquetes de datos son transmitidos por el dispositivo inalámbrico como parte de una sesión de PDU o flujo de QoS, el identificador puede ser único dentro de la sesión de PDU o el flujo de QoS (y por lo tanto, en tales realizaciones, un valor de identificador puede reutilizarse para diferentes flujos de datos fuera de la sesión de la de PDU o el flujo de QoS). La información de configuración puede incluir además el identificador del flujo de datos asociado. Alternativamente, cuando los nodos de red central establecen el identificador para el flujo de datos, el identificador puede ser transmitido por los nodos de red central al dispositivo inalámbrico.

[0991] Opcionalmente, el método puede comprender además un paso (no ilustrado) de enviar la información de configuración al dispositivo inalámbrico que debe transmitir paquetes de datos asociados o pertenecientes al flujo de datos. Este paso puede aplicarse particularmente cuando la información de configuración en el paso VV202 no se recibe del dispositivo inalámbrico, o cuando el dispositivo inalámbrico no puede procesar y obtener la información de configuración por sí mismo (p. ej., de un mensaje de solicitud recibido de la red

de datos externa). La información de configuración puede enviarse a través de la señalización NAS, por ejemplo.

[0992] En el paso VV204, el o los nodos de red central reciben un paquete de datos asociado con el flujo de datos desde el dispositivo inalámbrico. El paquete de datos se comprime mediante la eliminación de uno o más campos en el encabezado (p. ej., mediante el dispositivo inalámbrico siguiendo el método establecido a continuación en la Figura 133), según la información de configuración obtenida en el paso VV202.

[0993] En el paso VV206, el o los nodos de red central agregan uno o más campos del paquete de datos para generar un paquete de datos descomprimidos. Es decir, el o los nodos de red central agregan uno o más campos que se identificaron en la información de configuración obtenida en el paso VV202.

[0994] En el paso VV208, el o los nodos de red central inician la transmisión del paquete de datos descomprimidos a través de la red de datos externa.

[0995] En realizaciones adicionales de la divulgación, la información de configuración para el flujo de datos puede actualizarse después de que se haya establecido la configuración anterior. En tales realizaciones, se puede obtener información de configuración actualizada para el flujo de datos (p. ej., de la red de datos externa o del dispositivo inalámbrico), que comprende una indicación de los valores actualizados respectivos para uno o más campos dentro del encabezado de los paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estático. Uno o más campos que tienen valores estáticos pueden ser iguales o diferentes a uno o más campos identificados originalmente. La información de configuración actualizada transmitida al dispositivo inalámbrico (p. ej., a través de la señalización NAS), particularmente si la información de configuración actualizada se recibe directamente desde la red de datos externa. Adicional o alternativamente, la información de configuración actualizada se

utiliza para descomprimir en el futuro los paquetes de datos recibidos que fueron comprimidos por el dispositivo inalámbrico según la configuración actualizada. La información de configuración actualizada puede comprender un número de secuencia, que indica el paquete de datos en la secuencia de paquetes de datos asociados con el flujo de datos desde el cual se aplicará la configuración actualizada. Por lo tanto, el o los nodos de red central pueden agregar campos de encabezado según la configuración actualizada para todos los paquetes de datos que siguen el número de secuencia indicado en la información de configuración actualizada. Opcionalmente, los nodos de red central pueden reordenar los paquetes de datos recibidos según sus respectivos números de secuencia para facilitar este procesamiento.

[0996] La Figura 133 representa un método de conformidad con realizaciones particulares. El método puede realizarse mediante un dispositivo inalámbrico (tal como el UE descrito anteriormente con respecto a la Figura 126). Además, el método puede relacionarse o corresponder con las acciones del elemento “UE” en la Figura 129 descrita anteriormente. El método permite el transporte de paquetes de datos asociados con un flujo de datos (tal como un TSN u otro flujo de datos de tiempo crítico) en una red de datos externa (tal como una red de Ethernet o LAN).

[0997] El método comienza en el paso XX102, donde el dispositivo inalámbrico obtiene información de configuración para un flujo de datos en una red de datos externa. La información de configuración indica valores respectivos para uno o más campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estáticos. El dispositivo inalámbrico puede recibir dicha información de configuración de la red de datos externa directamente (p. ej., en un mensaje de solicitud para establecer el flujo de datos), o de uno o más nodos de red central (p. ej., a través de una transmisión desde un nodo de red de acceso radioeléctrico, tal como gNB u otra estación base, a través de la señalización NAS). Uno o más campos para los

que los valores pueden ser estáticos pueden comprender uno o más campos de encabezados de Ethernet, tales como uno o más de los siguientes (o todos): campo de dirección de destino; campo de dirección de origen; campo de etiqueta LAN virtual; y campo de tipo/longitud. Uno o más campos pueden comprender adicional o alternativamente uno o más campos en el encabezado de IP.

[0998] Puede establecerse un identificador para el flujo de datos para permitir que se distinga de otros flujos de datos. En realizaciones donde los paquetes de datos son recibidos por el dispositivo inalámbrico como parte de una sesión de PDU o flujo de QoS, el identificador puede ser único dentro de la sesión de PDU o el flujo de QoS (y por lo tanto, en tales realizaciones, un valor de identificador puede reutilizarse para diferentes flujos de datos fuera de la sesión de la de PDU o el flujo de QoS). La información de configuración puede incluir además el identificador del flujo de datos asociado.

[0999] En el paso XX104, el dispositivo inalámbrico recibe un paquete de datos asociado con el flujo de datos desde el nodo de red de acceso radioeléctrico. El paquete de datos se comprime mediante la eliminación de uno o más campos en el encabezado (p. ej., por el o los nodos de red central o el nodo de red de acceso radioeléctrico siguiendo el método establecido anteriormente), según la información de configuración obtenida en el paso XX102.

[1000] En el paso XX106, el dispositivo inalámbrico agrega uno o más campos del paquete de datos para generar un paquete de datos descomprimido. Es decir, el dispositivo inalámbrico agrega uno o más campos que se identificaron en la información de configuración obtenida en el paso XX102. Opcionalmente, el paquete de datos descomprimido puede transmitirse a través de la red de datos externa.

[1001] En realizaciones adicionales de la divulgación, la información de configuración para el flujo de datos puede actualizarse después de que se haya establecido la configuración anterior. En tales realizaciones, se puede obtener

información de configuración actualizada para el flujo de datos (p. ej., desde el nodo de red central), que comprende una indicación de los valores actualizados respectivos para uno o más campos dentro del encabezado de los paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estáticos. Uno o más campos que tienen valores estáticos pueden ser iguales o diferentes a uno o más campos identificados originalmente. La información de configuración actualizada se utiliza entonces para descomprimir los paquetes de datos recibidos en el futuro que fueron comprimidos por el o los nodos de red central o el nodo de red de acceso radioeléctrico según la configuración actualizada. La información de configuración actualizada puede comprender un número de secuencia, que indica el paquete de datos en la secuencia de paquetes de datos asociados con el flujo de datos desde el cual se aplicará la configuración actualizada. Por lo tanto, el dispositivo inalámbrico puede agregar campos de encabezado según la configuración actualizada para todos los paquetes de datos que siguen el número de secuencia indicado en la información de configuración actualizada. Opcionalmente, el dispositivo inalámbrico puede reordenar los paquetes de datos recibidos según sus respectivos números de secuencia para facilitar este procesamiento.

[1002] La Figura 134 representa un método de conformidad con realizaciones particulares. El método puede realizarse mediante un dispositivo inalámbrico (tal como el UE descrito anteriormente con respecto a la Figura 126). Además, el método puede relacionarse o corresponder con las acciones del elemento “UE” en la Figura 130 descrita anteriormente. El método permite el transporte de paquetes de datos asociados con un flujo de datos (tal como un TSN u otro flujo de datos de tiempo crítico) en una red de datos externa (tal como una red de Ethernet o LAN).

[1003] El método comienza en el paso XX202, donde el dispositivo inalámbrico obtiene información de configuración para un flujo de datos en una red de datos externa. La información de configuración indica valores respectivos

para uno o más campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estáticos. El dispositivo inalámbrico puede recibir dicha información de configuración de la red de datos externa directamente (p. ej., en un mensaje de solicitud para establecer el flujo de datos), o de uno o más nodos de red central (p. ej., mediante señalización NAS o RRC). Uno o más campos para los que los valores pueden ser estáticos pueden comprender uno o más campos de encabezados de Ethernet, tales como uno o más de los siguientes (o todos): campo de dirección de destino; campo de dirección de origen; campo de etiqueta LAN virtual; y campo de tipo/longitud. Uno o más campos pueden comprender adicional o alternativamente uno o más campos en el encabezado de IP.

[1004] Puede establecerse un identificador para el flujo de datos (p. ej., por uno o más nodos de red central) para permitir que se distinga de otros flujos de datos. En realizaciones donde los paquetes de datos son recibidos por el dispositivo inalámbrico como parte de una sesión de PDU o flujo de QoS, el identificador puede ser único dentro de la sesión de PDU o el flujo de QoS (y por lo tanto, en tales realizaciones, un valor de identificador puede reutilizarse para diferentes flujos de datos fuera de la sesión de la de PDU o el flujo de QoS). La información de configuración puede incluir además el identificador del flujo de datos asociado.

[1005] En el paso XX204, el dispositivo inalámbrico obtiene un paquete de datos asociado o perteneciente al flujo de datos. Por ejemplo, el paquete de datos puede recibirse de la red de datos externa o generarse mediante el dispositivo inalámbrico (p. ej., en respuesta a alguna interacción del usuario o mediante la ejecución de una aplicación en el dispositivo inalámbrico).

[1006] En el paso XX206, el dispositivo inalámbrico elimina uno o más campos del paquete de datos para generar un paquete de datos comprimido. Es decir, el dispositivo inalámbrico elimina uno o más campos que se identificaron en la información de configuración obtenida en el paso XX202. Opcionalmente,

el dispositivo inalámbrico puede agregar el identificador del flujo de datos al paquete de datos comprimidos. Se entenderá que el identificador puede agregarse al paquete de datos antes o después de que se hayan eliminado uno o más campos. La función de eliminación de encabezado se puede implementar en un algoritmo de transmisión SDAP o PDCP.

[1007] En el paso XX208, el dispositivo inalámbrico inicia la transmisión del paquete de datos comprimido a través de la red de datos externa. Por ejemplo, el dispositivo inalámbrico puede enviar el paquete de datos comprimidos en una transmisión a un nodo de red de acceso radioeléctrico (tal como un gNB u otra estación base) para su transmisión a uno o más nodos de red central y después a la red de datos externa. Uno o más nodos de red central están habilitados para descomprimir los paquetes de datos comprimidos antes de su transmisión a través de la red de datos externa, p. ej., siguiendo los métodos establecidos anteriormente.

[1008] En realizaciones adicionales, la información de configuración para el flujo de datos puede actualizarse después de que se haya establecido la configuración anterior. En tales realizaciones, se puede obtener información de configuración actualizada para el flujo de datos (p. ej., de la red de datos externa), que comprende una indicación de los valores actualizados respectivos para uno o más campos dentro del encabezado de los paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estático. Uno o más campos que tienen valores estáticos pueden ser iguales o diferentes a uno o más campos identificados originalmente. La información de configuración actualizada puede luego ser transmitida por el dispositivo inalámbrico (p. ej., a través de la señalización NAS) a uno o más nodos de red central para permitir que esos nodos de red central descompriman los paquetes de datos en los que se eliminó la información del encabezado según la configuración actualizada. La información de configuración actualizada puede comprender un número de secuencia, que indica el paquete de datos en la secuencia de paquetes de datos

asociados con el flujo de datos desde el cual se aplicará la configuración actualizada.

[1009] Se apreciará que los métodos que se muestran en las Figuras 131-134 pueden implementarse en uno o más de los nodos que se muestran en las Figuras 120-125, según corresponda.

[1010] Combinación de técnicas de programación de recursos y compresión de encabezados

[1011] Como se indicó arriba, las diversas técnicas descritas en el presente documento se pueden combinar entre sí, para proporcionar ventajas con respecto a la latencia, fiabilidad, etc. Por ejemplo, una combinación particular que es ventajosa es la combinación de las técnicas descritas anteriormente para programar recursos y las técnicas descritas para comprimir encabezados de tramas de TSN.

[1012] De este modo, por ejemplo, el método ilustrado en la Figura 117 se puede combinar con el método que se muestra en la Figura 131, lo que da como resultado un método realizado en uno o más nodos de una red central asociada con una red de acceso radioeléctrico (RAN) para manejar un flujo de datos sensibles al tiempo asociado con un equipo de usuario (UE) y una red externa. Este método comprende, como se muestra en el bloque 1210 de la Figura 117, el paso de recibir desde la red externa un programa de transmisión asociado con un flujo de datos sensibles al tiempo, y además comprende, como se muestra en el bloque 1220 de esa misma figura, el paso de enviar a la RAN una solicitud para asignar recursos de radio para la comunicación del flujo de datos entre la RAN y un primer UE, donde la solicitud comprende además información relacionada con el programa de transmisión. Como se muestra en el bloque 1230 de la Figura 117, el método comprende además recibir desde la RAN una respuesta que indica si se pueden asignar recursos de radio para cumplir con el programa de transmisión asociado con el flujo de datos.

[1013] El método comprende además el paso de obtener información de configuración para el flujo de datos; la información de configuración indica valores respectivos para uno o más campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estáticos; este paso se muestra en el bloque VV102 de la Figura 131. El método comprende además los pasos de iniciar la transmisión de la información de configuración al primer UE, recibir un paquete de datos asociado con el flujo de datos desde la red de datos externa, eliminar uno o más campos del paquete de datos para generar un paquete de datos comprimido e iniciar la transmisión del paquete de datos comprimido al primer UE, como se muestra en los bloques VV104, VV106, VV108 y VV110 de la Figura 131.

[1014] Se apreciará que cualquiera de las variaciones analizadas anteriormente para estas técnicas puede aplicarse aquí, para la técnica combinada. De este modo, por ejemplo, la red externa comprende una red sensible al tiempo (TSN) en algunas realizaciones, y el flujo de datos comprende un flujo de TSN. Aquí, el programa de transmisión puede comprender tiempos de ciclos y listas de control de puerta para una o más clases de tráfico que comprenden el flujo de TSN.

[1015] En algunas realizaciones, la información relacionada con el programa de transmisión incluye uno o más de los siguientes: un identificador del primer UE; identificadores de uno o más flujos de calidad de servicio (QoS) asociados con el flujo de datos; y un requisito de QoS asociado con cada uno de los flujos de QoS. En algunas de estas realizaciones, cada requisito de QoS comprende una o más ventanas de tiempo durante las cuales se requiere la transmisión del flujo de datos y/o una ventana de tiempo inicial y una periodicidad que identifica las ventanas de tiempo posteriores. En algunas de estas últimas realizaciones, si la respuesta indica que los recursos de radio no se pueden asignar para cumplir con el programa de transmisión del flujo de datos, la respuesta comprende además una indicación de una o más ventanas de tiempo

adicionales durante las cuales pueden asignarse los recursos de radio. En algunas realizaciones, la respuesta indica si se puede cumplir el requisito de QoS asociado con cada uno de los flujos de QoS, y el método comprende además determinar si el programa de transmisión puede cumplirse según la indicación de si se puede cumplir el requisito de QoS asociado con cada uno de los flujos de QoS.

[1016] En algunas realizaciones, el método comprende además enviar a la red externa una indicación de si se puede cumplir con el programa de transmisión. En algunas de estas y en otras realizaciones, el método es realizado por una función de gestión de acceso (AMF) en una red central 5G (5GC). El programa de transmisión puede recibirse desde la red externa y los recursos de radio pueden ser para la comunicación de enlace descendente desde la RAN al primer UE, en algunas realizaciones, o el programa de transmisión puede recibirse desde el primer UE y los recursos de radio pueden ser para la comunicación de enlace ascendente desde el primer UE a la RAN, en otras realizaciones o instancias.

[1017] En algunas realizaciones, el paso de obtener información de configuración comprende recibir la información de configuración de la red de datos externa. En otras, la información de configuración está preconfigurada en uno o más nodos de red central.

[1018] En algunas realizaciones, el paquete de datos comprimido comprende un identificador para el flujo de datos. El identificador puede ser agregado por uno o más nodos del nodo de red central.

[1019] En algunas realizaciones, el paquete de datos comprimido se transmite al primer UE como parte de una sesión de unidad de datos de protocolo (PDU) o un flujo de calidad de servicio (QoS). En algunas de estas realizaciones, el identificador mencionado anteriormente puede ser único dentro de la sesión de PDU o el flujo de QoS.

[1020] En algunas realizaciones, la información de configuración se transmite al primer UE utilizando señalización de estrato sin acceso (NAS). En algunos, la información de configuración comprende un identificador para el flujo de datos.

[1021] En algunas realizaciones, el método comprende además obtener información de configuración actualizada para el flujo de datos; la información de configuración actualizada comprende una indicación de los valores actualizados respectivos para uno o más campos dentro del encabezado de los paquetes de datos asociados con el flujo de datos que deben permanecer estáticos, e iniciar la transmisión de la información de configuración actualizada al primer UE. Esta información de configuración actualizada puede comprender además una indicación de un número de secuencia que identifica un paquete de datos asociado con el flujo de datos a partir del cual se aplican los valores actualizados respectivos.

[1022] En cualquiera de las realizaciones anteriores, el paquete de datos puede comprender datos de usuario, y el paso de iniciar la transmisión del paquete de datos comprimidos al primer UE puede comprender reenviar los datos de usuario al primer UE a través de una transmisión a una estación base.

[1023] Las técnicas de descompresión descritas anteriormente también pueden combinarse con estas técnicas. Por lo tanto, algunos métodos llevados a cabo por uno o más nodos de red central pueden comprender recibir un paquete de datos asociado con el flujo de datos desde un segundo UE; agregar uno o más campos al paquete de datos para generar un paquete de datos descomprimido; e iniciar la transmisión del paquete de datos descomprimidos a través de la red de datos externa, como se muestra en los bloques VV204, VV206 y VV208 de la Figura 132.

[1024] En algunas realizaciones, el método puede comprender además iniciar la transmisión al segundo UE de una indicación de los valores respectivos para uno o más campos dentro del encabezado de los paquetes de datos

asociados con el flujo de datos que deben permanecer estáticos. El paquete de datos puede comprender datos de usuario, y el paso de iniciar la transmisión del paquete de datos descomprimidos a través de la red de datos externa puede comprender reenviar los datos de usuario a un equipo central a través de la red de datos externa.

[1025] TSN sobre una RAN

[1026] Al menos algunas unidades de automatización de fábrica, tal como la maquinaria y los robots autónomos, multifuncionales y/o móviles, requieren la conexión en red por medio de comunicación por radio inalámbrica. Sin embargo, una unidad de fábrica que actúa como terminal móvil de la RAN, p. ej., un equipo de usuario 3GPP (UE), tendría que establecer una conexión de radio con una estación base radioeléctrica de la RAN solo para descubrir que esta estación base radioeléctrica en particular no admite la TSN.

[1027] Por consiguiente, existe la necesidad de una técnica que habilite la TSN sobre la comunicación de radio inalámbrica. Un objeto alternativo o más específico es permitir que un terminal móvil seleccione específicamente una estación base radioeléctrica que admita la TSN, preferentemente antes de establecer una conexión de radio entre el terminal móvil y la estación base radioeléctrica.

[1028] La Figura 135 muestra un esquema de operaciones para un método 400 de manejo de TSN sobre una RAN. El método 400 comprende un paso 402 de recibir SI de un RBS de la RAN. El SI es implicativo o indicativo en cuanto al soporte de TSN a través del RBS. El SI puede ser específico de RBS. El método 400 comprende además un paso 404 de establecer o iniciar para establecer, dependiendo del SI recibido, al menos un flujo de TSN de la TSN a través del RBS. El método 400 puede ser realizado por un UE conectado por radio o conectable por radio a la RAN.

[1029] La Figura 136 muestra un esquema de operaciones para un método 500 para anunciar TSN sobre una RAN. El método 500 comprende un paso 502 de recibir SI de un RBS de la RAN. El SI es implicativo o indicativo en cuanto al soporte de TSN a través del RBS. El SI puede ser específico de RBS. El método 500 comprende además un paso 504 de admitir, según el SI transmitido, al menos un flujo de TSN de la TSN a través del RBS. El método 500 puede ser realizado por el RBS de la RAN, por ejemplo.

[1030] La Figura 137 muestra un esquema de operaciones para un método 600 de distribuir un mensaje de configuración para TSN sobre una RAN. El método 600 comprende un paso 602 de determinar al menos un mensaje de configuración indicativo o implicativo en cuanto al soporte de la TSN a través de al menos un RBS de la RAN. El método 600 comprende además un paso 604 de enviar al menos un mensaje de configuración desde una CN a cada uno de al menos un RBS de la RAN.

[1031] El método 600 puede ser realizado por una CN y/o usando un componente de red de la CN, la AMF o MME, y/o usando una función de TSN. La función de TSN puede ser una configuración de red centralizada (CNC) o una configuración de usuario centralizada (CUC).

[1032] El paso 404 de establecer o iniciar para establecer, dependiendo del SI recibido, al menos un flujo de TSN puede comprender establecer selectivamente (p. ej., condicionalmente) o iniciar selectivamente (p. ej., condicionalmente) para establecer al menos un flujo de TSN. La selectividad (p. ej., la condicionalidad) puede depender del SI recibido. El UE puede decidir, según el SI del RBS, si intentar establecer el flujo de TSN, p. ej., antes de acceder o conectarse con la estación base, o no.

[1033] El paso 404 de establecer o iniciar para establecer al menos un flujo de TSN puede comprender realizar selectivamente o iniciar selectivamente para realizar al menos un procedimiento de acceso aleatorio con el RBS de la RAN; una configuración de conexión de control de recursos radioeléctricos

(RRC) con el RBS de la RAN; y un procedimiento de conexión a la red con un CN conectado a la RAN. La selectividad puede depender del SI recibido.

[1034] El paso de establecimiento 404 puede comprender realizar o iniciar para realizar una aplicación de TSN que usa al menos un flujo de TSN establecido. La aplicación de TSN o un cliente de la aplicación de TSN puede realizarse en el UE. La selectividad (p. ej., la condicionalidad) en el paso 404 puede cumplirse si el SI recibido es indicativo de las características de la TSN requeridas por la aplicación de TSN.

[1035] El paso 402 de recibir el SI se realiza con respecto a cada uno de una pluralidad de RBS de la RAN. El paso 404 de establecer o iniciar para establecer al menos un flujo de TSN puede comprender seleccionar, entre la pluralidad de RBS, el RBS cuyo SI es indicativo de las características de TSN requeridas por la aplicación de TSN.

[1036] Se puede seleccionar la RBS que mejor cumpla con las características de TSN requeridas según el SI respectivo (p. ej., si ninguna de la pluralidad de RBS cumple con las características TSN requeridas). Adicional o alternativamente, se puede seleccionar el RBS cuyo SI es indicativo de las características de TSN más preferentemente (p. ej., si más de una de la pluralidad de RBS cumple con las características de TSN requeridas).

[1037] El método 400 puede comprender además un paso de enviar un mensaje de control a la CN. El mensaje de control puede ser indicativo de las características de TSN requeridas por la aplicación de TSN. El mensaje de control puede ser un mensaje de estrato sin acceso (NAS).

[1038] El mensaje de control puede ser indicativo de una solicitud de la TSN. El mensaje de control puede enviarse al CUC.

[1039] El SI puede ser implicativo o indicativo de al menos una característica de la TSN admitida por o a través del RBS. El SI puede ser específico de RBS. La selectividad (p. ej., la condicionalidad) en el paso 404 puede depender de al menos una característica de la TSN admitida. Adicional o

alternativamente, el flujo de la TSN puede establecerse a través de la RAN dependiendo de al menos una característica de la TSN admitida. Por ejemplo, el establecimiento de al menos un flujo de TSN puede comprender realizar o iniciar para realizar el acceso aleatorio con el RBS dependiendo de al menos una característica de la TSN admitida.

[1040] En el presente documento, la característica de TSN puede abarcar cualquier característica o funcionalidad disponible en el RBS para la TSN. Al menos una característica de la TSN admitida a través de la RBS también puede denominarse capacidad de TSN de la RBS.

[1041] Al menos una característica de la TSN puede comprender al menos una de las siguientes: una sincronización de tiempo, un límite de latencia para al menos un flujo de la TSN y una medida de fiabilidad para al menos un flujo de la TSN. La sincronización de tiempo puede ser una sincronización de tiempo de RBS y/o procesamiento de componentes de red (p. ej., transporte) de al menos un flujo de la TSN.

[1042] Adicional o alternativamente, el SI puede ser indicativo de una configuración de TSN (también, esquema de configuración de TSN) para la TSN a través del RBS. Por ejemplo, el establecimiento 404 de al menos un flujo de TSN puede comprender realizar o iniciar una configuración de la TSN según la configuración de la TSN. La configuración de la TSN puede ser indicativa de una disponibilidad o falta de disponibilidad de al menos uno de un CNC y un CUC.

[1043] El SI puede transmitirse desde el RBS en el paso 502. El SI puede ser un mensaje de difusión. El SI puede estar comprendido en uno o más bloques de información del sistema (SIB).

[1044] El método 500 puede comprender además un paso de recibir un mensaje de configuración indicativo del soporte para la TSN desde la CN en el RBS. El SI transmitido por el RBS puede derivarse del mensaje de configuración recibido.

[1045] El SI puede ser implicativo o indicativo de al menos una característica de la TSN admitida por o a través del RBS. El SI puede transmitirse en uno o más SIB. El método 500 puede comprender además cualquier característica y/o paso divulgado en el contexto del UE y el método 400, o cualquier característica o paso correspondiente a este.

[1046] El mensaje de configuración puede enviarse desde la AMF de la CN. El mensaje de configuración puede ser implicativo o indicativo de al menos una característica de la TSN admitida o supuestamente admitida por o a través del RBS.

[1047] El método 600 puede comprender además cualquier característica o paso de los métodos 400 y 500, o cualquier característica o paso correspondiente a estos.

[1048] Las realizaciones de la técnica mantienen la compatibilidad con el documento de 3GPP TS 23.501, versión 15.1.0, que especifica "Arquitectura para el sistema 5G" (Etapa 2), o un sucesor de este.

[1049] Una red (p. ej., una red 5G que comprende la RAN que proporciona acceso a NR según lo definido por 3GPP) está configurada para admitir transmisiones de la TSN a través de al menos algunas RBS. Para que un UE se conecte a dicha red TSN a través de la RAN (p. ej., radio 5G o NR), no hay una forma existente de obtener información sobre si la red en general, y el RBS (p. ej., un gNB) específicamente, admite transmisiones TSN o no. En realizaciones de la técnica, el SI permite al UE determinar si y/o cómo se admiten ciertas características de TSN, antes de entrar en el modo conectado del control de recursos radioeléctricos (RRC) y aumentar la señalización con la red 5G. Por lo tanto, la técnica permite al UE y, por lo tanto, también a una aplicación de TSN a la que está conectado el UE, saber si, cuáles y/o cómo las características de la TSN son compatibles con la red, específicamente la RAN y/o la RBS que transmite el SI.

[1050] El SI puede ser implicativo o indicativo en cuanto al soporte de las características de TSN. Las características de la TSN pueden comprender al menos una de sincronización de tiempo, redundancia, fiabilidad y latencia (p. ej., una latencia estimada de extremo a extremo).

[1051] Las realizaciones de la técnica permiten que el UE reciba la información necesaria relacionada con la TSN en el SI antes de conectarse a la red 5G. De esta manera, el UE sabe qué características de la TSN son compatibles con la red 5G. Además, la red 5G puede informar a uno o más UE de la misma forma sobre los detalles de configuración de la red TSN y/o cómo, p. ej., realizar la sincronización de tiempo y la administración de la red.

[1052] Por ejemplo, no todos los RBS (p. ej., gNB) que cubren un área (p. ej., implementados en una fábrica) admiten el tráfico de TSN. La técnica puede implementarse para bloquear esos UE (también: TSN-UE) que requieren tráfico de la TSN de ciertas RBS (p. ej., gNB), p. ej., de aquellas RBS que no son compatibles con la TSN o que no tienen las características de TSN requeridas por el UE.

[1053] El SI puede implementarse mediante uno o más bloques de información del sistema (SIB).

[1054] Una funcionalidad y estructura general de un bloque de información maestro (MIB) y SIB para NR pueden ser esencialmente las mismas que para LTE. Una diferencia entre NR y LTE es que en NR se proporcionan dos tipos diferentes de SIB. Un primer tipo de SIB se transmite periódicamente, p. ej., de forma igual o similar a las transmisiones de SIB en LTE. Un segundo tipo de SIB se transmite solo cuando existe la solicitud del UE.

[1055] Los SIB son emitidos por el RBS (p. ej., un gNB) e incluyen la parte principal de la información del sistema que el UE requiere para acceder a una celda servida por el RBS y otra información sobre la reselección de celdas. Los SIB se transmiten a través de un canal compartido de enlace descendente (DL-SCH). La presencia de la información del sistema en el DL-SCH en una subtrama

se indica mediante la transmisión de un canal de control de enlace descendente físico (PDCCH) correspondiente marcado con un Identificador Temporal de la Red Radioeléctrica de información especial del sistema (SI-RNTI).

[1056] 3GPP define varios SIB diferentes para LTE y NR, p. ej., caracterizados por el tipo de información incluida en los SIB. Esta información del sistema informa al UE sobre las capacidades de la red. No se supone que estén presentes todos los SIB. Los SIB son transmitidos repetidamente por el RBS (p. ej., el gNB).

[1057] Dentro de una red TSN, es decir, una red que admite TSN, los extremos de comunicación se denominan Hablante de TSN y Oyente de TSN. Al menos uno del Hablante de TSN y el Oyente de TSN es un UE. Para el soporte de la TSN, todos los RBS y componentes de red (p. ej., conmutadores, puentes o enrutadores) entre el Hablante de TSN y el Oyente de TSN admiten ciertas características de la TSN, p. ej., sincronización de tiempo IEEE 802.1AS. Todos los nodos (p. ej., RBS y/o componentes de red) que están sincronizados en la red pertenecen al denominado dominio TSN. La comunicación TSN solo es posible dentro de dicho dominio TSN.

[1058] La TSN para una RAN o una RAN configurada para una TSN puede comprender características para redes deterministas, que también se denominan características de TSN. Las características de TSN pueden comprender al menos uno de los siguientes: sincronización de tiempo, transmisiones de latencia (p. ej., baja) garantizada (p. ej., un límite superior de latencia) y fiabilidad (p. ej., alta) garantizada (p. ej., un límite superior en la tasa de errores de paquetes). La sincronización de tiempo puede comprender una sincronización de tiempo entre componentes de la RAN (p. ej., las RBS) y/o componentes de red (p. ej., en un dominio de retroceso y/o la CN).

[1059] Opcionalmente, el SI es indicativo de las funciones de TSN admitidas a través de la RBS respectiva.

[1060] Las características de la TSN admitidas pueden comprender o ser compatibles con al menos uno de los siguientes grupos de categorías. Una primera categoría comprende la sincronización de tiempo, p. ej., según el estándar IEEE 802.1AS. Una segunda categoría comprende una baja latencia limitada, p. ej., según al menos uno de los estándares IEEE 802.1Qav, IEEE 802.1Qbu, IEEE 802.1Qbv, IEEE 802.1Qch e IEEE 802.1Qcr. Una tercera categoría comprende la ultrafiabilidad, p. ej. según al menos uno de los estándares IEEE 802.1CB, IEEE 802.1Qca e IEEE 802.1Qci. Una cuarta categoría comprende la configuración y administración de la red, p. ej., según al menos uno de los estándares IEEE 802.1Qat, IEEE 802.1Qcc, IEEE 802.1Qcp e IEEE 802.1CS.

[1061] La configuración y/o gestión de una red TSN que incluye la RAN se puede implementar de diferentes maneras, p. ej., en una configuración centralizada o distribuida según lo definido por el estándar IEEE 802.1Qcc. Se describen ejemplos de diferentes modelos de configuración con referencia a las Figuras 138, 139 y 140.

[1062] La Figura 138 ilustra esquemáticamente un diagrama de bloques para un primer ejemplo de un sistema de comunicaciones 700 que comprende realizaciones de los dispositivos 100, 200 y 300, que pueden configurarse para llevar a cabo los métodos ilustrados en las Figuras 135, 136 y 137, respectivamente. El sistema de comunicación 700 comprende la RAN 710 y la CN 730. La RAN 710 puede comprender al menos una realización del dispositivo 200. La CN 730 puede comprender al menos una realización del dispositivo 300, p. ej., un componente de red 300-1. El componente de red 300-1 puede ser un conmutador, un puente o un enrutador. Un dominio 720 de retroceso proporciona enlaces de datos entre las RBS 200 de la RAN 710 y/o entre al menos una RBS 200 y la CN 730. Los enlaces de datos pueden comprender al menos uno de los enlaces de microondas, los enlaces de Ethernet y los enlaces de fibra óptica.

[1063] El SI 712 es transmitido por el RBS 200 al UE 100 según los pasos 402 y 502. El RBS 200 está configurado para difundir el SI 712 según el paso 502 y para soportar el flujo de TSN según el paso 504 en respuesta al mensaje de configuración 722-1 recibido desde o a través del componente de red 300-1.

[1064] En un esquema para la configuración de TSN distribuida, que se ilustra con el primer ejemplo en la Figura 138, no hay CUC ni CNC para la red TSN. El Hablante de TSN 100 es, por lo tanto, responsable del inicio de un flujo de TSN en el paso 404. Como no hay ningún CNC presente, los componentes de red 300-1 (p. ej., conmutadores o puentes) se están configurando a sí mismos, lo que puede no permitir el uso, por ejemplo, de colas controladas por tiempo como se define en IEEE 802.1Qbv. La configuración de la TSN distribuida puede ser compatible o coherente con el documento IEEE P802.1Qcc/D2.3, “Borrador de estándar para redes locales y del área metropolitana - Enmienda de puentes y redes en puente: Mejoras del protocolo de reserva de flujo (SRP) y mejoras de rendimiento”, Grupo de trabajo IEEE TSN, p. ej., estado del borrador al 03-05-2018.

[1065] En un primer esquema para la configuración de TSN centralizada, que se representa esquemáticamente en la Figura 139 para un segundo ejemplo del sistema de comunicación 700, el Hablante de TSN 100 es responsable de la iniciación del flujo de TSN en el paso 404, mientras que los componentes de red 300-1 son configurados por un CNC 300-2. La configuración de la TSN centralizada puede ser compatible o coherente con el documento IEEE P802.1Qcc/D2.3.

[1066] El SI 712 es transmitido por el RBS 200 al UE 100 según los pasos 402 y 502. Alternativa o adicionalmente al mensaje de configuración 722-1, el RBS 200 está configurado para difundir el SI 712 según el paso 502 y para soportar el flujo de TSN según el paso 504 en respuesta al mensaje de configuración 722-2 recibido desde o a través de CNC 300-2.

[1067] En un segundo esquema para la configuración de la TSN centralizada (también: configuración de TSN totalmente centralizada), que se muestra esquemáticamente en la Figura 140 para un tercer ejemplo del sistema de comunicación 700, los componentes de red 300-1 son configurados por el CNC 300-2 y el CUC 300-3 con información de configuración de red e información de configuración de usuario, respectivamente. En una implementación, el CUC 300-3 puede configurar los componentes de la red para establecer el flujo de TSN tan pronto como el Hablante de TSN 100 esté conectado por radio al RBS 200. En otra implementación que se puede combinar con la implementación, el hablante de TSN 100 es responsable de la iniciación de al menos un flujo de TSN, mientras que los requisitos de calidad del hablante de TSN 100 para al menos un flujo de TSN y/o el número de flujos de TSN para el hablante de TSN 100 es configurado por el CUC 300-3. La configuración de la TSN totalmente centralizada puede ser compatible o coherente con el documento IEEE P802.1Qcc/D2.3.

[1068] El SI 712 es transmitido por el RBS 200 al UE 100 según los pasos 402 y 502. Alternativa o adicionalmente al mensaje de configuración 722-1 y/o al mensaje de configuración 722-2, el RBS 200 está configurado para difundir el SI 712 según el paso 502 y para soportar el flujo de TSN según el paso 504 en respuesta al mensaje de configuración 722-3 recibido desde CUC 300-3.

[1069] Opcionalmente, p. ej., en cualquiera de los tres ejemplos para el sistema de comunicación 700, el SI 712 se transmite en un canal de radiodifusión de la RAN 710. El SI 712 puede indicar (p. ej., positivamente) el soporte de la TSN, p. ej., sin información de configuración de red y/o usuario. El UE 100 puede recibir la información de configuración de red y/o usuario en un canal de control de enlace descendente desde el RBS 200, mediante protocolos específicos de TSN y/o desde el CN 710 (p. ej., el dispositivo 300-1) utilizando un protocolo de estrato sin acceso (NAS). Alternativamente o en combinación, el SI 712 puede

comprender (al menos parcialmente) la información de configuración de red y/o usuario.

[1070] La comunicación de TSN entre el hablante de TSN (como una realización del dispositivo 100) y el oyente de TSN (que puede ser o no una realización adicional del dispositivo 100) ocurre en flujos de TSN. Un flujo de TSN se basa en ciertos requisitos en términos de velocidad de datos y latencia dados por una aplicación (aplicación de TSN) implementada en el hablante de TSN y el oyente de TSN. Las funciones de configuración y administración de TSN se utilizan para configurar el flujo de TSN y garantizar los requisitos del flujo de TSN en toda la red.

[1071] En el esquema distribuido (p. ej., según el primer ejemplo en la Figura 138), el hablante de TSN 100 y el oyente de TSN 100 pueden usar el protocolo de reserva de flujo (SRP) para establecer y configurar al menos un flujo de TSN en cada RBS 200 y/o cada componente de red 300-1 (p. ej., cada conmutador) a lo largo de la ruta desde el hablante de TSN 100 al oyente de TSN 100 en la red TSN. Opcionalmente, algunas funciones de TSN requieren el CNC 300-2 como una entidad de administración central (p. ej., según el segundo ejemplo de la Figura 139). El CNC 300-2 utiliza, p. ej., un protocolo de configuración de red (Netconf) y/o modelos "Yet Another Next Generation" (YANG) para configurar el RBS 200 y/o los componentes de red 300-1 (p. ej., conmutadores) en la red para cada flujo de TSN. Esto también permite el uso de colas controladas por tiempo (según lo definido en IEEE 802.1Qbv) que permite el transporte de datos en una red TSN con latencia determinista. Con las colas controladas por tiempo en cada RBS 200 y/o cada componente de red 300-1 (p. ej., conmutador), las colas se abren o cierran siguiendo un programa preciso que permite que los paquetes de alta prioridad pasen por el RBS 200 o el componente de red 300-1 con latencia mínima y oscilación si llega al puerto de entrada dentro del tiempo que la puerta está programada para estar abierta. En el esquema totalmente centralizado (p. ej., según el tercer ejemplo en la Figura

140), el sistema de comunicación 700 comprende un CUC 300-3 como punto de contacto para el oyente de TSN 100 y/o el hablante de TSN 100. El CUC 300-3 recopila los requisitos de flujo y/o capacidades de extremos del oyente de TSN 100 y/o el hablante de TSN 100. El CUC 300-3 puede comunicarse directamente con el CNC 300-2. La configuración de TSN se puede implementar como se explica en detalle en el estándar IEEE 802.1Qcc.

[1072] La Figura 141 muestra un diagrama de bloques funcional para un cuarto ejemplo de un sistema de comunicación 700 que comprende realizaciones de los dispositivos 100, 200 y 300. El cuarto ejemplo puede comprender además cualquiera de las características descritas para el primer, segundo y/o tercer ejemplo, donde los signos de referencia similares se refieren a características intercambiables o equivalentes. Un interfuncionamiento opcional entre la red 5G (p. ej., que comprende la RAN 710 y la CN 730) y la arquitectura de la red TSN (p. ej., el CNC 300-2 y el CUC 300-3) puede basarse en al menos uno de los mensajes de control 722-2 y 722-3 del CNC 300-2 y del CUC 300-3, respectivamente, p. ej., como se ilustra en la Figura 141. Al menos uno de los mensajes de control 722-2 y 722-3 puede enviarse al AMF 300-4 (en el CN 730) y/o al RBS 200 (en el RAN 710) utilizando un plano de control de la red 5G. Adicional o alternativamente, el CN 730, p. ej., el AMF 300-4, puede implementar al menos uno del CNC 300-2 y el CUC 300-3.

[1073] La técnica permite conectar el oyente de TSN 100 y el hablante de TSN 100 de forma inalámbrica a una red TSN, p. ej., utilizando una red 5G como se define en 3GPP. El estándar 5G definido por 3GPP aborda casos de uso de fábrica a través de una pluralidad de características, especialmente en la RAN (p. ej., proporcionando 5G NR) para hacerlo más fiable y reducir la latencia de transmisión en comparación con una red de acceso radioeléctrico UMTS evolucionada (E-UTRAN, es decir, la tecnología de acceso radioeléctrico de 4G LTE).

[1074] La red 5G comprende el UE 100, la RAN 730 instanciada como gNB 200 y los nodos 300-4 dentro de la red central (5G CN). Un ejemplo de la arquitectura de red de 5G se ilustra en el lado izquierdo en la Figura 141. Un ejemplo de la arquitectura de red TSN se ilustra en el lado derecho en la Figura 141.

[1075] Ambas tecnologías, la red 5G y la red TSN, definen métodos propios para la administración y/o configuración de la red. Se disponen diferentes mecanismos para lograr el determinismo de la comunicación para permitir una red determinista de extremo a extremo para soportar flujos de TSN, p. ej., para redes industriales. En el documento RP-181479 de 3GPP se inició un elemento de estudio para la próxima versión 16 de 3GPP para admitir TSN, p. ej., para casos de uso de automatización de fábricas.

[1076] Aquí, el UE 100 que es el dispositivo de radio conectado a la RAN 710 (y por lo tanto a la red 5G) también puede denominarse extremo de 5G. Un dispositivo conectado a la red TSN (también, dominio de TSN) puede denominarse extremo de TSN.

[1077] A pesar de lo que se muestra en la Figura 141, también es posible que el UE 100 no esté conectado a un único extremo, sino a una red TSN que comprenda al menos un puente de TSN y al menos un extremo. El UE 100 forma entonces parte de una pasarela de TSN-5G.

[1078] El plano de control de la red 5G puede comprender al menos uno de los siguientes: una función de repositorio de red (NRF), el AMF 300-4, una función de gestión de sesiones (SMF), una función de exposición de red (NEF), una función de control de políticas (PCF) y una gestión de datos unificada (UDM).

[1079] Un plano de datos de la red 5G comprende una función de plano de usuario (UPF), al menos una realización del RBS 200 y/o al menos una realización del UE 100.

[1080] Un oyente de TSN 1002 puede realizarse (p. ej., como una aplicación) en el UE 100. Mientras que el UE 100 funciona como o es utilizado

por el oyente de TSN 1002 en el cuarto ejemplo del sistema de comunicación 700 que se muestra en la Figura 141, el UE 100 puede funcionar alternativa o adicionalmente como un hablante de TSN en cualquier ejemplo. Opcionalmente, un hablante de TSN 1004 está incorporado por otro UE 100 conectado a través del mismo u otro RBS 200 al sistema de comunicación 700.

[1081] El paso 604 del método 600 puede implementarse según al menos una de las siguientes variantes (p. ej., en el contexto de cualquiera de los cuatro ejemplos del sistema de comunicación 700 en las Figuras 138 a 141). En una primera variante, el CNC 300-2 configura el gNB 200 enviando el mensaje de configuración 722-2. En una segunda variante, el CUC 300-3 envía el mensaje de configuración 722-3 al AMF 300-4 y, de este modo, configura el gNB 200. Por ejemplo, el AMF 300-4 reenvía el mensaje de configuración 722-3 al gNB 200 o deriva el mensaje de configuración 722-4 del mensaje de configuración 722-3. En una tercera variante (no mostrada), el CUC 300-3 envía el mensaje de configuración 722-3 al gNB 200. En una tercera variante (no mostrada), el CNC 300-2 envía el mensaje de configuración 722-2 al AMF 300-4. Opcionalmente, p. ej., en cualquiera de las variantes, el AMF 300-4 implementa al menos uno de CNC 300-2 y CUC 300-3.

[1082] Adicional o alternativamente, el CNC 300-2 envía el mensaje de configuración 722-2 al componente de red 300-1 (p. ej., un conmutador o un enrutador) y, de este modo, configura el gNB 200. Por ejemplo, el componente de red 300-1 reenvía el mensaje de configuración 722-2 al gNB 200 o deriva el mensaje de configuración 722-1 del mensaje de configuración 722-2.

[1083] Si bien la técnica se describe en el presente documento con realizaciones en el contexto de la fabricación y la automatización de fábrica para mayor claridad y concreción, la técnica puede ser aplicable además a la comunicación automotriz y la automatización doméstica.

[1084] La Figura 142 muestra un diagrama de señalización 1100 para la configuración de flujo de TSN que implica realizaciones ejemplares del

dispositivo 100 (p. ej., un UE 100 como el hablante de TSN y/o un UE 100 como el oyente de TSN) y realizaciones ejemplares del dispositivo 300 (a saber, 300-1, 300-2 y 300-3). Si bien estas múltiples realizaciones de los dispositivos 100 y 300 se muestran y describen en combinación, se puede realizar cualquier subcombinación. Por ejemplo, solo uno del componente de red 300-1, el CNC 300-2 y el CUC 300-3 pueden incorporar el dispositivo 300. Adicional o alternativamente, solo uno de el hablante de TSN y el oyente de TSN puede ser una realización del dispositivo 100.

[1085] Los pasos para la configuración del flujo de TSN (p. ej., según el diagrama de señalización 1100) se pueden realizar después de que el UE 100 haya decidido acceder (p. ej., conectar por radio y/o acoplar a) el RBS 200 (no se muestra en la Figura 141 para simplificar) según el SI recibido en el paso 402. El paso 404 puede iniciar al menos uno de los pasos para la configuración del flujo de TSN.

[1086] Cada UE 100 que implementa un hablante de TSN o un oyente de TSN está conectado por radio a través de una realización del RBS 200 a al menos uno del componente de red 300-1, el CNC 300-2 y el CUC 300-3. Los UE 100 pueden estar conectados por radio a través del mismo RBS 200 o diferentes RBS 200. La configuración de flujo de TSN puede ser compatible o coherente con IEEE 802.1Qcc.

[1087] La configuración del flujo de TSN (es decir, configurar al menos un flujo de TSN en la red TSN) según el esquema de configuración totalmente centralizado comprende al menos uno de los siguientes pasos.

[1088] En un primer paso 1102, el CUC 300-3 puede recibir información de, p. ej., una aplicación industrial o herramienta de ingeniería (p. ej., un controlador lógico programable, PLC), que especifica, por ejemplo, los dispositivos, que se supone que intercambian flujos sensibles al tiempo (es decir, flujos de TSN). El PLC puede adaptarse para controlar procesos de fabricación, tales como líneas de montaje o dispositivos robóticos, o cualquier actividad que

requiera un control de alta fiabilidad y/o facilidad de programación y diagnóstico de fallas del proceso.

[1089] En un segundo paso 1104, el CUC 300-2 lee las capacidades de las estaciones finales y aplicaciones en la red TSN, que incluye el periodo y/o intervalo de tráfico de usuarios y tamaños de carga útil.

[1090] En un tercer paso 1106, según la información anterior, el CUC 300-3 crea al menos uno de: un StreamID como identificador para cada flujo de TSN, un StreamRank y requisitos de UsertoNetwork.

[1091] En un cuarto paso 1108, el CNC 300-2 descubre la topología de la red física utilizando, por ejemplo, un Protocolo de descubrimiento de capa de enlace (LLDP) y cualquier protocolo de administración de red.

[1092] En un quinto paso 1110, el CNC 300-2 utiliza un protocolo de administración de red para leer las capacidades TSN de los puentes (p. ej., IEEE 802.1Q, 802.1AS, 802.1CB) en la red TSN.

[1093] En un sexto paso 1112, el CUC 300-3 inicia solicitudes de incorporación para configurar al menos un flujo de TSN con el fin de configurar recursos de red en los puentes 300-1 para un flujo de TSN desde un hablante de TSN 100 hasta un oyente de TSN 100.

[1094] En un séptimo paso, el CUC 300-3 crea un grupo del hablante de TSN 100 y el oyente de TSN 100 (es decir, un grupo de elementos que especifican un flujo de TSN), p. ej., como se especifica en la cláusula estándar IEEE 802.1Qcc 46.2.2.

[1095] En un octavo paso 1114, el CNC 300-2 configura el dominio de TSN, verifica la topología física y verifica si los flujos sensibles al tiempo son admitidos por puentes en la red, y realiza el cálculo de ruta y programación de los flujos.

[1096] En un noveno paso 1116, el CNC 300-2 configura características de TSN en puentes a lo largo del camino en la red TSN.

[1097] En un décimo paso 1118, el CNC 300-2 devuelve el estado (p. ej., éxito o fracaso) para la asignación de recursos resultante para al menos un flujo de TSN al CUC 300-3.

[1098] En un decimoprimer paso 1120, el CUC 300-3 configura además estaciones finales (donde un protocolo utilizado para este intercambio de información puede estar fuera del alcance de la memoria IEEE 802.1Qcc) para iniciar el intercambio de tráfico del plano de usuario, como se define inicialmente entre el oyente de TSN 100 y el hablante de TSN 100.

[1099] En la red TSN, el streamID se utiliza para identificar de forma única las configuraciones de los flujos. Se utiliza para asignar recursos de TSN al flujo de TSN de un hablante de TSN. El streamID comprende las dos tuplas MacAddress y UniqueID. La MacAddress está asociada con el hablante de TSN 100. UniqueID distingue entre múltiples flujos dentro de las estaciones finales identificadas por la misma MacAddress.

[1100] Cualquier realización e implementación de la técnica puede codificar el SI 712 en elementos de información dedicados en uno o más SIB. Según los pasos 402 y 502, un UE 100 está habilitado para detectar características de TSN que son admitidas por el RBS 200 de la red y/o cómo son admitidas. El UE 100 recibe el SI 712 antes de que se conecte a la red, y puede verificar primero escuchando un mensaje de SIB que comprende el SI 712. El SI 712 recibido puede enviarse a la aplicación de TSN 1002 o 1004 que el UE 100 está sirviendo, y/o el UE 100 usa el SI 712 para establecer una conexión a la red 5G.

[1101] Cualquier realización del RBS 200 puede implementar la técnica al incluir uno o más SIB y/o elementos de información en los SIB para indicar al UE 100 las características de la TSN y/o los detalles de configuración de la TSN admitidos por la red 5G, p. ej., específicamente el RBS 200.

[1102] Cualquier realización del UE 100 puede implementar el paso 402 leyendo uno o más SIB y/o el elemento de información incluido en este.

Opcionalmente, la información incluida en cuanto a las funciones de TSN admitidas y/o la configuración de TSN se reenvía a las aplicaciones de TSN que está sirviendo. Condicionalmente, es decir, dependiendo de las características indicadas como admitidas en el SI 712, la información se utiliza para establecer una conexión al RBS (p. ej., a la red 5G).

[1103] Un ejemplo (p. ej., expandible) de una estructura de bloque SIB para el SI 712 en los pasos 402 y 502 se describe a continuación utilizando la notación de sintaxis abstracta uno (ASN.1). La misma información también puede incluirse en el mensaje de configuración 722 del método 600.

```
-- ASN1START

SystemInformationBlockType16-r11 ::=      SEQUENCE {

 TSNFeatures                          SEQUENCE {

     Time synchronisation                    Boolean

     Time Synchornisation accuracy           Integer
OPTIONAL,    -- Need OR

     FRER                                    Boolean

     TSN configuration details               Integer

  Credit based shaper                   boolean

     Time aware shaper                       boolean

     Max. Latency added by 5G network        integer}

}
```

[1104] Además, los bloques SIB pueden adaptarse a futuras versiones de características de TSN, por ejemplo, introduciendo campos reservados que se definirán en el futuro.

[1105] Para la sincronización de tiempo de extremo a extremo (p. ej., el suministro de una referencia de tiempo absoluta) son posibles varias formas de implementación. El SI 712 puede comprender información sobre cómo la RAN trata la sincronización de tiempo (p. ej., la red 5G).

[1106] El parámetro "FRER" se refiere a las características de redundancia que son admitidas por la red 5G. En caso de que la red no admita la redundancia, no es necesario establecer, p. ej., sesiones de unidad de datos de protocolo (PDU) redundantes.

[1107] La configuración de TSN puede incluir la presencia del CUC 300-3 y/o el CNC 300-2 en la red TSN y/o esquemas de configuración de TSN específicos que se admitan.

[1108] El parámetro "Latencia máxima agregada por la red 5G" puede usarse para señalar un nivel de QoS en términos de latencia y/o fiabilidad que puede ser admitido por la red 5G al UE 100. Un campo que representa este parámetro puede comprender un valor de latencia (p. ej., en milisegundos) que puede garantizarse con una fiabilidad suficiente o un valor de clasificación (p. ej., tiempo no real, tiempo real, tiempo real duro o similar). El valor puede estar indicado por un valor de índice predefinido. Esta información puede ser utilizada por el UE 100 (o el extremo 1002 o 1004 de la red TSN detrás del UE 100) para averiguar antes del establecimiento de la conexión si una conexión al RBS 200 (o la red 5G) podrá admitir los requisitos de la aplicación de TSN 1002 o 1004, o no.

[1109] El RBS 200 (p. ej., un gNB) puede incluir además una carga de celda actual y/u otras métricas en el cálculo de ese campo. Opcionalmente, el SI 712 es indicativo de un soporte de modelador de tráfico, que se refiere a una calidad de servicio (QoS) que puede estar garantizada por el RBS (p. ej., la red 5G). Por ejemplo, el SI 712 puede ser indicativo de si el modelador se basa en crédito (p. ej., volumen de datos por tiempo y UE) o es un modelador consciente del tiempo (TAS) para TSN.

[1110] La Figura 143 muestra un diagrama de señalización 1200 resultante de implementaciones de los métodos 400, 500 y 600 que se realizan mediante realizaciones de los dispositivos 100, 200 y 300, respectivamente. Más específicamente, la técnica permite que una realización del UE 100 sea consciente de las características de TSN admitidas por la red sobre el SI 712 incluido en uno o más SIB. Mientras que el diagrama de señalización 1200 (y el esquema de operaciones correspondiente) para la configuración del flujo de TSN utiliza el esquema de configuración totalmente centralizado (p. ej., como se muestra en la Figura 140), la técnica es fácilmente aplicable a otros esquemas de configuración (p. ej., como se muestra en la Figura 138 o 139).

[1111] Las implementaciones de los métodos 400, 500 y 600 permiten al UE 100 conocer las características de TSN admitidas por la red y/o específicamente por el RBS 200 sobre uno o más SIB, incluido el SI 712.

[1112] En el paso 604, una función central de 5G (p. ej., el AMF 300-4) indica enviando el mensaje de configuración 722 a RBS específicos 200 (p. ej., gNB) qué características de TSN (p. ej., según la lista no exhaustiva anterior) son compatibles o se supone que está habilitado (p. ej., solo un subconjunto de todos los gNB puede admitir TSN) y cómo se admiten estas características de TSN.

[1113] En respuesta a la recepción del mensaje de configuración 722 (p. ej., cualquiera de las implementaciones anteriores 722-1 a 722-4), el RBS 200 (p. ej., un gNB) genera el SI 712 (p. ej., la información del bloque SIB como se describe anteriormente) y comienza a transmitir el SI 712, p. ej. sobre el DL-SCH, en el paso 502.

[1114] El UE 100 recibe y/o lee el SI 712 en el SIB en el paso 402. Opcionalmente, el UE 100 transfiere al menos parte de la información en el SI 712 a la aplicación TSN 1002 o 1004, p. ej., una lista de las características de TSN admitidas por el RBS 200. La aplicación de TSN 1002 o 1004 puede solicitar una conexión de TSN hacia el UE 100, si la lista admitida de características de

TSN es suficiente, como un ejemplo para la condicionalidad o selectividad en el paso 404.

[1115] Para iniciar el flujo de TSN en el paso 404, el UE 100 entra en el modo de conexión de RRC si aún no está en ese modo y solicita una sesión de PDU, que puede ser de tipo Ethernet. El UE puede dar a conocer además información por medio de la señalización NAS sobre qué características de TSN se requieren.

[1116] Un controlador de TSN (p. ej., el CNC 300-2) recibe una confirmación del CN 730 y realiza el cálculo de la ruta y la programación del tiempo. Se inicia la comunicación del flujo de TSN, donde el RBS 200 admite el flujo de TSN según el paso 504.

[1117] En cualquier realización, el UE 100 puede diferir o abstenerse de solicitar la configuración de la conexión de RRC en el paso 404, si la aplicación de TSN requiere ciertas características de TSN y el UE 100 no recibió en la difusión de SIB 402 que una o más de estas características son admitidas, como un ejemplo de la condicionalidad o selectividad en el paso 404.

[1118] En la misma u otra realización, el UE 100 lee el SI 712 (es decir, la información de la TSN incluida en uno o más SIB) de múltiples RBS 200 (p. ej., gNB) y selecciona el RBS 200, que mejor cumple con los requisitos de TSN del UE 100. Si todos los RBS 200 cumplen con los requisitos, el UE 100 puede actuar según una regla de selección, p. ej., seleccionando el RBS 200 que indica la latencia más baja.

[1119] En cualquier realización, el UE 100 puede almacenar el SI 712 recibido en el paso 402. La técnica puede implementarse como se describe hasta el paso 402 inclusive. Cuando la aplicación de TSN 1002 o 1004 solicita una comunicación de TSN (es decir, uno o más flujos de TSN), el UE 100 usa el SI 712 almacenado para configurar al menos un flujo de TSN de la forma admitida o rechaza la solicitud de TSN si no es admitida.

[1120] El UE 100 puede utilizar además el SI 712 del SIB, p. ej., para inicializar el filtrado de paquetes de los paquetes que entran para la transmisión de TSN. Además, el SI 712 recibido se puede utilizar para establecer una sesión de PDU predeterminada con la red 5G

[1121] Combinación de técnicas de compresión de encabezado y detección de soporte de TSN

[1122] Una vez más, como se indicó arriba, las diversas técnicas descritas en el presente documento se pueden combinar entre sí, para proporcionar ventajas con respecto a la latencia, fiabilidad, etc. Por ejemplo, una combinación particular que es ventajosa es la combinación de las técnicas descritas anteriormente para detectar soporte para TSN y las técnicas descritas para comprimir encabezados de tramas de TSN.

[1123] De este modo, por ejemplo, el método ilustrado en la Figura 135 se puede combinar con el método que se muestra en la Figura 133, lo que da como resultado un método realizado por un dispositivo inalámbrico asociado con una red de comunicaciones inalámbricas, para el transporte de paquetes de datos asociados con un flujo de datos en una red de datos externa. Este método incluye el paso de recibir información del sistema (SI) desde una estación base radioeléctrica (RBS) de una red de acceso radioeléctrico (RAN), siendo el SI indicativo de soporte para redes sensibles al tiempo (TSN) a través de RBS, como se muestra en el bloque 402 de la Figura 135, así como el paso de establecer al menos un flujo de TSN con la red de datos externa, a través del RBS, como se muestra en el bloque 404 de la Figura 135. El método incluye además los pasos de obtener información de configuración para el flujo de TSN, indicando la información de configuración los valores respectivos para uno o más campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con el flujo de TSN que deben permanecer estáticos, como se muestra en el bloque XX102 de la Figura 133, y recibiendo, desde el RBS, un paquete de datos asociado con

el flujo de TSN, como se muestra en el bloque XX104 de la Figura 133. El método incluye además el paso de agregar uno o más campos al paquete de datos para generar un paquete de datos descomprimido, como se muestra en el bloque XX106 de la Figura 133.

[1124] En algunas realizaciones, el SI está comprendido en uno o más bloques de información del sistema (SIB). En algunas realizaciones, el paso de obtener información de configuración comprende recibir la información de configuración de un nodo de red de la red de comunicaciones inalámbrica. El paquete de datos puede comprender un identificador para el flujo de TSN; en algunas realizaciones, este identificador es agregado por el nodo de red central.

[1125] En algunas realizaciones, el paquete de datos comprimido se recibe como parte de una sesión de unidad de datos de protocolo (PDU) o un flujo de calidad de servicio (QoS). En algunas de estas realizaciones, el identificador del flujo de TSN es único dentro de la sesión de PDU o el flujo de QoS.

[1126] En algunas realizaciones, la información de configuración se transmite al dispositivo inalámbrico utilizando señalización de estrato sin acceso (NAS). La información de configuración puede comprender un identificador para el flujo de TSN.

[1127] El método puede comprender además, en algunas realizaciones, obtener información de configuración actualizada para el flujo de TSN, donde la información de configuración actualizada comprende una indicación de los valores actualizados respectivos para uno o más campos dentro del encabezado de los paquetes de datos asociados con el flujo de TSN que deben permanecer estáticos. En estas realizaciones, el método puede comprender además el paso de utilizar la información de configuración actualizada para agregar los valores actualizados respectivos para uno o más campos a los paquetes de datos recibidos del RBS. En algunas de estas realizaciones, la información de configuración actualizada comprende además una indicación de un número de

secuencia que identifica un paquete de datos asociado con el flujo de TSN a partir del cual se aplican los valores actualizados respectivos.

[1128] Algunas realizaciones pueden incluir además pasos del método que se muestra en la Figura 134. Tales realizaciones pueden incluir el paso de obtener un paquete de datos asociado con el flujo de TSN, como se muestra en el bloque XX204 de la Figura 134, así como el paso de eliminar uno o más campos del paquete de datos para generar un paquete de datos comprimido, como se muestra en el bloque XX206 de la Figura 134. El método puede incluir además iniciar la transmisión del paquete de datos comprimidos a través de la red de datos externa mediante una transmisión al RBS, como se muestra en el bloque XX206 de la Figura 134.

[1129] El paso de obtener información de configuración puede comprender recibir la información de configuración de un nodo de red central de la red de comunicaciones inalámbricas, en algunas realizaciones, o recibir la información de configuración de la red de datos externa, en otras. En algunas realizaciones, el método comprende además iniciar la transmisión, a un nodo de red central de la red de comunicaciones inalámbricas, de una indicación de los valores respectivos para uno o más campos dentro del encabezado de los paquetes de datos asociados con el flujo de TSN que deben permanecer estáticos, para permitir que el nodo de red central descomprima el paquete de datos comprimidos antes de su transmisión a través de la red de datos externa.

[1130] En algunas de estas realizaciones, el paquete de datos comprende datos de usuario, y donde el paso de iniciar la transmisión del paquete de datos comprimidos a través de la red de datos externa comprende reenviar los datos de usuario a un equipo central a través de la red de datos externa.

[1131] Combinación de técnicas de programación de recursos y detección de soporte de TSN

[1132] Una vez más, como se indicó arriba, las diversas técnicas descritas en el presente documento se pueden combinar entre sí, para proporcionar ventajas con respecto a la latencia, fiabilidad, etc. Por ejemplo, una combinación particular que es ventajosa es la combinación de las técnicas descritas anteriormente para detectar soporte para TSN y las técnicas descritas para comprimir encabezados de tramas de TSN.

[1133] De este modo, por ejemplo, el método ilustrado en la Figura 135 se puede combinar con el método que se muestra en la Figura 119, lo que da como resultado un método realizado por un dispositivo inalámbrico configurado para comunicarse con una red de acceso radioeléctrico, RAN, para programar recursos en la RAN según un programa de transmisión asociado con una red externa. Este método incluye el paso de recibir información del sistema (SI) desde una estación base radioeléctrica (RBS) de una red de acceso radioeléctrico (RAN), siendo el SI indicativo de soporte para redes sensibles al tiempo (TSN) a través de RBS, como se muestra en el bloque 402 de la Figura 135, así como el paso de establecer al menos un flujo de TSN con la red de datos externa, a través del RBS, como se muestra en el bloque 404 de la Figura 135. El método incluye además los pasos de recibir, desde la red externa, un programa de transmisión asociado con el flujo de TSN, como se muestra en el bloque 1410 de la Figura 119, y enviar a una red asociada con el RBS, una solicitud para asignar recursos de radio para la comunicación del flujo de TSN entre el dispositivo inalámbrico y la RAN, como se muestra en el bloque 1420 de la Figura 119, donde la solicitud comprende además información relacionada con el programa de transmisión. Como se muestra en el bloque 1430 de la Figura 119, el método comprende además recibir desde la red una respuesta que indica si se pueden asignar recursos de radio para cumplir con el programa de transmisión asociado con el flujo de TSN.

[1134] En algunas realizaciones, el programa de transmisión comprende tiempos de ciclo y listas de control de puerta para una o más clases de tráfico que comprenden el flujo de TSN. En algunas realizaciones, si la respuesta de la red indica que los recursos de radio no pueden asignarse para cumplir con el programa de transmisión del flujo de datos, la respuesta comprende además una indicación de una o más ventanas de tiempo adicionales durante las cuales se pueden asignar recursos de radio. En algunas realizaciones, el método comprende además, según la respuesta de la red, enviar a la red externa una indicación de si se puede cumplir con el programa de transmisión. En algunas de estas realizaciones, si la respuesta comprende la indicación de una o más ventanas de tiempo adicionales, la indicación enviada a la red externa incluye además información relacionada con una o más ventanas de tiempo adicionales.

[1135] En algunas realizaciones, la red comprende una red central 5G (5GC), y la solicitud se envía y la respuesta se recibe desde una función de gestión de acceso (AMF) del 5GC.

[1136] Soporte para múltiples dominios de tiempo en 5G para admitir la transmisión de TSN

[1137] La interacción de 5G y TSN se ilustra en la Figura 144. Ambas tecnologías definen métodos propios para la gestión y configuración de redes y diferentes mecanismos para lograr el determinismo de la comunicación que de alguna manera deben organizarse para permitir la creación de redes deterministas de extremo a extremo para redes industriales. A continuación, el dispositivo conectado a la red 5G se denomina extremo de 5G. Un dispositivo conectado al dominio de TSN se conoce como extremo de TSN.

[1138] A pesar de lo que se muestra en la Figura 144, también es posible que el UE no esté conectado a un único extremo, sino a una red TSN que comprenda al menos un puente de TSN y al menos un extremo. El UE forma entonces parte de una pasarela de TSN-5G.

[1139] Cabe señalar que se supone que la UPF de la Figura 144 admite el protocolo de tiempo de precisión (PTP) y, por lo tanto, se puede sincronizar con un reloj GrandMaster en la red TSN utilizando mensajes de PTP transportados mediante UDP/IP (p. ej., según IEEE 1588-2008).

[1140] El método por el cual la UPF reenvía posteriormente la información de reloj (derivada del reloj GrandMaster) a un gNB se considera específico de la implementación.

[1141] El gNB puede, si es necesario, enviar múltiples instancias de información de reloj derivada de múltiples fuentes (p. ej., basadas en GPS, basadas en GrandMaster) a los UE utilizando métodos con base en la red 5G.

[1142] Es posible una distribución adicional de información de reloj desde un UE a uno o más extremos (p. ej., un UE en posesión de información de reloj puede servir como reloj fuente para uno o más extremos).

[1143] La Figura 144 puede admitir dos escenarios básicos para el procesamiento de PDU de Ethernet. Un primer escenario son las PDU de Ethernet retransmitidas a través de la red 5G. Este escenario asume el caso en el que un único UE necesita admitir varios extremos, cada uno con una dirección de capa MAC de Ethernet distinta (es decir, un UE admite varios puertos de Ethernet).

[1144] Se supone que la UPF que interactúa con el conmutador de TSN admite la recepción y transmisión de PDU de Ethernet que no transportan paquetes de IP como carga útil de capa superior. Al recibir una PDU de Ethernet desde el conmutador de TSN, la UPF debe tener un método para asociar la dirección MAC de destino con una dirección IP específica y luego retransmitir la PDU de Ethernet al nodo apropiado (p. ej., PDN-GW) en la red 5G. El nodo de red 5G apropiado usa la dirección IP para identificar un UE específico y su RNTI correspondiente de modo que la PDU de Ethernet se pueda reenviar luego al gNB apropiado para su entrega usando el RNTI identificado.

[1145] El gNB envía la PDU de Ethernet al UE utilizando un portador de radio de datos (DRB) con atributos de fiabilidad y latencia apropiados para admitir la transmisión de PDU de Ethernet. El UE recupera la PDU de Ethernet (p. ej., de la capa de PDCP) y la envía al extremo asociado con la dirección MAC de destino (es decir, un UE puede admitir uno o más extremos conectados a Ethernet).

[1146] En resumen, la PDU de Ethernet original recibida por la UPF desde el conmutador de TSN se entrega de manera transparente a través de la red 5G.

[1147] Para la dirección del enlace ascendente, se espera que la red 5G determine cuándo un RNTI está asociado con la operación de Ethernet, lo que permite que la carga útil del enlace ascendente (es decir, una PDU de Ethernet) asociada con dicho RNTI sea enrutada a una UPF. Después, la UPF simplemente envía la PDU de Ethernet recibida a un conmutador de TSN.

[1148] Un segundo escenario son las PDU de Ethernet terminadas en la red 5G. Este escenario asume el caso en el que un único UE admite un único extremo, en cuyo caso no es necesario que el UE admita ningún puerto de Ethernet. Se supone que la UPF que interactúa con el conmutador de TSN admite la recepción y transmisión de PDU de Ethernet que transportan paquetes de IP como carga útil de capa superior.

[1149] Al recibir una PDU de Ethernet del conmutador de TSN, la UPF extrae el paquete IP de la PDU de Ethernet y lo envía al nodo de red 5G apropiado para un enrutamiento adicional. La red 5G usa la dirección IP de destino para identificar un UE específico y su RNTI correspondiente de modo que el paquete de IP se pueda reenviar al gNB apropiado para su entrega usando el RNTI identificado.

[1150] El gNB envía el paquete IP al UE utilizando un portador de radio de datos (DRB) con atributos de fiabilidad y latencia apropiados para admitir la transmisión de PDU de Ethernet (es decir, aunque la PDU de Ethernet termina en la UPF, la red 5G debe admitir atributos de QoS similares a Ethernet al

entregar los paquetes IP transportados por las PDU de Ethernet). El UE recupera el paquete de IP (p. ej., de la capa de PDCP) y lo envía a la aplicación de la capa de IP.

[1151] En resumen, la capa de protocolo de Ethernet finaliza cuando la UPF recibe la PDU de Ethernet desde el conmutador de TSN, pero su carga útil de paquetes IP se entrega de forma transparente a través de la red 5G.

[1152] Para la dirección del enlace ascendente, se espera que la red 5G determine cuándo un RNTI está asociado con la operación de Ethernet, lo que permite que la carga útil del enlace ascendente (es decir, un paquete de IP) asociada con dicho RNTI sea enrutada a una UPF. Entonces, la UPF debe tener un método mediante el cual pueda asignar direcciones IP de origen y destino a direcciones MAC de origen y destino (p. ej., usando ARP) para poder construir una PDU de Ethernet que contenga esas direcciones MAC y el paquete IP como carga útil para la transmisión al conmutador de TSN.

[1153] Muchas características de TSN se basan en una sincronización horaria precisa entre todos los pares. Como se introdujo anteriormente, esto se logra usando, p. ej., IEEE 802.1AS o IEEE 802.1AS-rev. Por lo tanto, dentro de la red TSN es posible lograr una sincronización con un error de menos de un microsegundo. Para lograr este nivel de precisión, es obligatorio un soporte de *hardware*; p. ej., para el sellado de tiempo de los paquetes.

[1154] En una red, un grandmaster (GM) es un nodo que transmite información de tiempo a todos los demás nodos en una arquitectura maestro-esclavo. Podría elegirse entre varios nodos potenciales, según ciertos criterios que hacen que el grandmaster seleccionado sea superior.

[1155] En una extensión de TSN de 802.1AS, se ha definido que junto a un GM principal también se puede configurar un GM de respaldo redundante. En caso de que el primer GM falle por cualquier motivo, los dispositivos del dominio de TSN se pueden sincronizar con el segundo GM. El GM redundante puede funcionar en una configuración de espera activa.

[1156] En TSN basado en IEEE 802.1AS-rev (también denominado gPTP, protocolo de sincronización precisa generalizado) hay varios dominios de tiempo admitidos en una red TSN. Un dominio de tiempo podría ser un dominio de tiempo global con base en, por ejemplo, la época del PTP, y otros podrían ser dominios de tiempo local con una época arbitraria. Hay dos escalas de tiempo que son admitidas por gPTP,

- PTP de escala de tiempo: La época es la época del PTP (ver detalles en la sección 8.2.2 de IEEE 802.1 AS-rev) y esta escala de tiempo es continua. La unidad de medida del tiempo es el segundo SI realizado en el periodo de rotación.
- Escala de tiempo de ARB (arbitrario): la época de esta escala de tiempo es la hora de inicio del dominio y se puede configurar mediante un procedimiento administrativo (ver más detalles en IEEE 802.1AS-rev, sección 3.2)

[1157] Los dispositivos de una red TSN se pueden sincronizar con varios dominios de tiempo. Un dominio de tiempo arbitrario local también se denomina reloj de trabajo. Los relojes de trabajo se utilizan en redes industriales para funciones de TSN.

[1158] Uno de los pasos iniciales para configurar el flujo de TSN es el establecimiento de un dominio de TSN por parte del CNC, agrupando los extremos (locutores y oyentes) que se supone que intercambian flujos sensibles al tiempo. Esta lista la proporciona el CUC al CNC. El CNC configura además los puentes que conectan estos extremos de modo que cada dominio de TSN (hablantes, oyentes y puentes) tenga su propio reloj de trabajo. Técnicamente, esto se puede hacer según IEEE 802.1AS-rev, configurando el mecanismo de configuración de función de puerto externo.

[1159] A continuación se describen múltiples dominios de tiempo en escenarios de aplicaciones industriales. Como se presentó anteriormente, un dominio de TSN funciona con diferentes relojes (relojes globales y de trabajo).

Además, los relojes de cada dominio de TSN no están necesariamente sincronizados y una red de fábrica puede comprender varios dominios de TSN. Por lo tanto, en una red de fábrica, puede haber varios dominios de TSN independientes con escalas de tiempo arbitrarias en las que es necesario sincronizar diferentes subconjuntos de dispositivos que pueden superponerse. Como se muestra en la Figura 145, cada dominio de TSN puede tener su propio reloj de trabajo.

[1160] Para satisfacer los requisitos de sincronización de tiempo para la TSN en casos de uso de fabricación, se requiere una red celular para proporcionar una referencia de tiempo con la que se puedan sincronizar todas las máquinas (sensores o actuadores).

[1161] En la actualidad, en la normalización de 3GPP, se ve que se realizan esfuerzos para realizar una sincronización de tiempo sobre el acceso radioeléctrico de LTE en la Versión 15.

[1162] En un enfoque posible, se agregan dos elementos de información (IE) en el SIB 16, es decir, una referencia de tiempo con un valor de granularidad e incertidumbre de 0,25 μs, y el mensaje de DL RRC UETimeReference para informar la hora GPS al UE con tres IE agregados en el mensaje de RRC. El propósito principal de este procedimiento es transferir información de referencia de tiempo con base en GPS a los UE junto con la inexactitud de esa información.

[1163] LTE define varios bloques de información del sistema (SIB), relacionados con la información de tiempo en SIB 16, que contiene información relacionada con la hora GPS y el tiempo universal coordinado (UTC). Los SIB se transmiten a través de un canal compartido de enlace descendente (DL-SCH). La presencia de un SIB en la subtrama se indica mediante la transmisión de un PDCCH correspondiente marcado con un RNTI de información de sistema especial (SI-RNTI). El IE SIB 16 contiene información relacionada con la hora GPS y UTC. El UE usa los bloques de parámetros para obtener el GPS y la hora local.

[1164] Esta es la estructura de un mensaje SIB 16:

```
-- ASN1START
\SystemInformationBlockType16-r11 ::=          SEQUENCE {
    timeInfo-r11
    SEQUENCE {
      timeInfoUTC-r11                                    INTEGER
(0..549755813887),
      dayLightSavingTime-r11                        BIT STRING (SIZE
(2))          OPTIONAL,  -- Need OR
      leapSeconds-r11                                    INTEGER (-
127..128)          OPTIONAL,  -- Need OR
      localTimeOffset-r11                           INTEGER (-63..64)
          OPTIONAL   -- Need OR
    }
                                          OPTIONAL,  -- Need OR
    lateNonCriticalExtension                OCTET STRING
          OPTIONAL,
    ...,
    [[  granularityOneQuarterUs-r15                 INTEGER
(0..36028797018963967)  OPTIONAL,  -- Need OR
      uncert-quarter-us-r15                         INTEGER
(0..3999)     OPTIONAL
    ]]
}
```

[1165] Los elementos de información se definen en la Tabla 22

Descripciones de campo SystemInformationBlockType16

dayLightSavingTime

Indica si y cómo se aplica el horario de verano (DST) para obtener la hora local. La semántica es la misma que la semántica del IE de *horario de verano* en TS 24.301 [35] y TS 24.008 [49]. El primer bit/el bit que está más a la izquierda de la cadena de bits contiene el b2 del octeto 3, es decir, la parte del valor del IE de *horario de verano*, y el segundo bit de la cadena de bits contiene el b1 del octeto 3.

leapSeconds

Número de segundos intercalados de desplazamiento entre la hora GPS y UTC. UTC y la hora GPS están relacionadas, es decir, la hora GPS - *segundos intercalados* = hora UTC.

localTimeOffset

Desplazamiento entre UTC y la hora local en unidades de 15 minutos. Valor real = valor de campo * 15 minutos. La hora local del día se calcula como hora UTC + *localTimeOffset*.

granularityOneQuarterUs

Tiempo universal coordinado correspondiente al límite de SFN en o inmediatamente después del límite final de la ventana SI en la que se transmite *SystemInformationBlockType16*. Este campo cuenta el número de hora GPS en 0,25 unidades desde las 00:00:00 en la fecha del calendario gregoriano 6 de enero de 1980 (inicio de la hora GPS).

Descripciones de campo SystemInformationBlockType16
timeInfoUTC Tiempo universal coordinado correspondiente al límite de SFN en o inmediatamente después del límite final de la ventana SI en la que se transmite *SystemInformationBlockType16*. El campo cuenta el número de segundos UTC en unidades de 10 ms desde las 00:00:00 en la fecha del calendario gregoriano 1 de enero de 1900 (medianoche entre el domingo 31 de diciembre de 1899 y el lunes 1 de enero de 1900). NOTA 1. Este campo se excluye al estimar cambios en la información del sistema, es decir, los cambios de *timeInfoUTC* no deben dar lugar a notificaciones de cambio de información del sistema ni a una modificación de *systemInfoValueTag* en SIB1.
uncert-quarter-us Indica la incertidumbre del tiempo de referencia, donde un valor de 'k' indica una incertidumbre de ± 0,25 (k+1) us, es decir, '0' indica una incertidumbre de ± 0,25us, un valor de '1' indica una incertidumbre de ± 0,5us, y así sucesivamente. El UE usa el valor de este campo para determinar cómo interpretar el valor del campo *granularityOneQuarterUs*. Por ejemplo, si *uncert-quarter-us* = '3', entonces la incertidumbre es 2us y el UE interpretará que el valor del campo *granularityOneQuarterUs* está dentro del intervalo *granularityOneQuarterUs* ± 2us.

Tabla 22: Tipo de bloque 16 de información del sistema propuesto

[1166] El mensaje de información de referencia de tiempo en la señalización de RRC también puede usarse para transmitir la hora GPS al UE.

[1167] Existen ciertos problemas. Por ejemplo, según el estado de la técnica, un UE solo puede sincronizarse con un reloj que sea admitido por el BS (p. ej., eNB) al que está conectado. El problema principal aquí es que el reloj utilizado para proporcionar una referencia de tiempo a través de la radio 3GPP

puede ser diferente al reloj de trabajo (reloj GM arbitrario) utilizado para proporcionar una referencia de tiempo a un dominio de TSN. En la actualidad, no existe tal mecanismo para proporcionar un reloj de tiempo de dominio de TSN que no esté sincronizado con un reloj que se utilice para la transmisión de referencia de tiempo de BS a UE.

[1168] Además, otro problema es que si el UE se usa como una puerta de enlace TSN-Celular, podría ser posible además que un grandmaster de reloj independiente esté presente en el lado del UE de la red celular. Luego, la aplicación de TSN se conecta a la fuente de sincronización de tiempo en lugar del BS para que funcione la red TSN. En este escenario también, en la actualidad no hay forma de que el UE pueda transferir esta información de tiempo a otros pares dentro de la red celular.

[1169] Ciertos aspectos de la presente divulgación y sus realizaciones pueden proporcionar soluciones a estos u otros desafíos. Por ejemplo, según determinadas realizaciones, se proporciona un método para permitir el establecimiento de múltiples dominios de tiempo en ambos lados, BS o UE, según una sincronización precisa de la red celular. De este modo, la red celular es capaz de admitir, por ejemplo, dos o más dominios de tiempo diferentes (p. ej., un reloj global y un reloj de trabajo) hacia una aplicación de TSN que reside en un UE, es decir, una aplicación que se basa en la recepción de información de sincronización horaria de un BS. Además, la presente invención proporciona un método mediante el cual, en una red celular, el UE puede señalar una hora a la BS si un reloj de trabajo GM está presente en el lado del UE y por el cual podría ser necesario que el UE se conecte (es decir, que proporcione información de sincronización de red celular precisa) a otros equipos de TSN ubicados en el mismo dominio de TSN.

[1170] Ciertas realizaciones pueden proporcionar una o más de las siguientes ventajas técnicas. Por ejemplo, una ventaja técnica puede ser que ciertas realizaciones permiten la sincronización de tiempo de extremo a extremo

con múltiples dominios de tiempo según una única señalización de referencia de tiempo precisa por aire. Los esfuerzos para admitir los dominios de tiempo adicionales se reducen debido a los métodos propuestos en el presente documento.

[1171] En algunas realizaciones, puede usarse un término más general "nodo de red" y puede corresponder a cualquier tipo de nodo de red radioeléctrica o cualquier nodo de red, que se comunica con un UE (directamente o a través de otro nodo) y/o con otro nodo de red. Ejemplos de nodos de red son NodeB, MeNB, ENB, un nodo de red que pertenece al MCG o SCG, estación base (BS), nodo radioeléctrico de radiocomunicaciones multinorma (MSR) tal como MSR BS, eNodeB, gNodeB, controlador de red, controlador de red radioeléctrica (RNC), controlador de estación base (BSC), retransmisión, retransmisión de control del nodo donante, estación transceptora base (BTS), punto de acceso (AP), puntos de transmisión, nodos de transmisión, RRU, RRH, nodos en sistema de antena distribuida (DAS), nodo de red central (p. ej. MSC, MME, etc.), O&M, OSS, SON, nodo de posicionamiento (p. ej., E-SMLC), MDT, equipo de prueba (nodo físico o *software*), etc.

[1172] En algunas realizaciones, puede usarse el término no limitante equipo de usuario (UE) o dispositivo inalámbrico y puede referirse a cualquier tipo de dispositivo inalámbrico que se comunica con un nodo de red y/o con otro dispositivo de comunicación móvil o celular. Ejemplos de UE son dispositivo destino, UE tipo dispositivo a dispositivo (D2D), UE tipo máquina o UE capaz de comunicación máquina a máquina (M2M), PDA, PAD, tableta, terminales móviles, teléfono inteligente, equipo integrado en computadora portátil (LEE), equipo montado en computadora portátil (LME), llaves USB, UE categoría M1, UE categoría M2, UE de ProSe, UE de V2V, UE de V2X, etc.

[1173] Además, terminologías tales como estación base/gNodeB y UE deben considerarse no limitantes y en particular no implican de manera alguna una cierta relación jerárquica entre los dos; en general, "gNodeB" podría

considerarse como dispositivo 1 y “UE” podría considerarse como dispositivo 2 y estos dos dispositivos se comunican entre sí a través de algún canal radioeléctrico. Y en el siguiente el transmisor o receptor podría ser el gNB o el UE.

[1174] Según determinadas realizaciones, se proporciona un método mediante el cual un UE puede sincronizar con uno o varios relojes de trabajo del dominio TSN según una solución de sincronización horaria. Además, la solución se amplía para admitir un dispositivo (que está conectado a un dominio TSN a través de un enlace celular) que se sincroniza con un reloj de trabajo del dominio TSN en ejecución detrás del UE (en este caso el UE actúa como un punto de acceso TSN). Asimismo, en caso de que se implemente un reloj GM relevante en el lado del UE, el UE podría ser capaz de señalizar esta señal de reloj a la red celular tal como, por ejemplo, una estación base (BS). La red celular podría reenviar esta información a un extremo de TSN o red a la que esté conectada.

[1175] En el presente documento, se supone que existe un mecanismo para sincronizar los UE con una BS en una red celular con una precisión suficiente. En el caso de una sincronización de extremo a extremo de TSN que requieren las características de TSN (p. ej., un programador de tráfico consciente del tiempo), este error puede ser del orden de 1 microsegundo. Por lo general, la sincronización en la red celular se basa en un reloj global común de una fuente confiable disponible tal como una señal de GPS.

[1176] En el presente documento se asume que el error para la señal de sincronización 5G es suficientemente pequeño para soportar las precisiones de reloj de trabajo deseadas para la comunicación TSN. La Figura 146 ilustra cómo una BS puede sincronizar un UE con un tiempo de referencia celular.

[1177] Según determinadas realizaciones, los métodos introducidos se ejemplifican mediante tres escenarios descritos a continuación que se muestran en las Figuras 147-149. Se supone que los dispositivos (Dev x) son extremos de

TSN, los GM son extremos de TSN que actúan como un reloj GM para la red TSN.

[1178] Específicamente, la Figura 147 ilustra un escenario en el que se supone que un dispositivo (Dev 1) está conectado a través de un enlace celular a un dominio TSN. Este dominio TSN puede tener su reloj de trabajo (GM). La red celular proporciona información de referencia horaria al UE a través de señalización RRC dedicada o con bloque SIB mejorado (como se explica en las secciones anteriores), según, por ejemplo, el GPS. Según determinadas realizaciones, se propone un método mediante el cual Dev 1 obtiene información sobre un reloj de trabajo TSN que se basa en la referencia horaria que ya es proporcionada por la red celular y según, por ejemplo, el GPS.

[1179] La Figura 148 es un escenario de planta de producción que asume un dominio TSN que está conectado a un controlador virtual (Dev 2) a través de un enlace celular. Aquí el desafío es cómo se puede sincronizar Dev 2 con el reloj de trabajo (GM) del dominio TSN conectado a través del UE. Proponemos un método que permite al UE poder comunicar este reloj de trabajo local del GM a la BS y Dev 2 respectivamente.

[1180] La Figura 149 ilustra el tercer escenario, donde se asumen dos redes TSN conectadas a través de un enlace celular. La primera parte de la red se considera como la red troncal de la red celular y la otra parte se asume como una planta de producción. El reloj GM puede estar en la red troncal o en el lado de la planta de producción de la red. Se trata de una combinación genérica de los escenarios a) y b).

[1181] Para abordar los desafíos ejemplificados en los tres escenarios anteriores, esta invención define dos métodos como realizaciones:

[1182] Método 1: un método en BS para medir el desplazamiento y las desviaciones de temporización entre una señal de temporización de referencia celular común (p. ej., según GPS) y varias otras señales de temporización (como, p. ej., relojes de trabajo de una TSN GM). Este desplazamiento podría asignarse

a un dominio TSN. El desplazamiento puede transmitirse a un UE a través de señalización RRC dedicada o puede difundirse con elementos de información de bloques SIB (en caso de difusión a través de SIB, el valor de desplazamiento debe mapearse con el parámetro de identificación de dominio TSN). Un UE utilizará este desplazamiento para restablecer la señal temporal original según la hora de referencia celular común. Entonces, el UE podría proporcionar esta hora a una aplicación TSN. La Figura 150 ilustra el procedimiento del método 1.

[1183] Método 2: un método de UE para medir el desplazamiento y las desviaciones de temporización entre una señal de temporización de referencia celular común (p. ej., según GPS) que está recibiendo de una red celular y varias otras señales de temporización como diferentes relojes de trabajo que está recibiendo de diferentes dominios TSN o de un solo dominio TSN del que forma parte. Aquí, el UE actúa como un punto de acceso entre una red TSN (incluido un gran maestro de reloj TSN) y la red celular. El UE transmitirá este desplazamiento a una BS, p. ej., a través de señalización RRC. La BS usa este desplazamiento para restablecer la señal temporal original (es decir, correspondiente a la red TSN de la que forma parte el UE) según la hora de referencia celular común. Entonces, la BS podría proporcionar esta señal temporal adicional a las aplicaciones que operan con el mismo dominio TSN. La Figura 151 ilustra el procedimiento del método 2, según determinadas realizaciones.

[1184] Ambos métodos consideran una señalización periódica de desplazamientos horarios para comunicarse con el otro lado de la red celular respecto de los desplazamientos de temporización para poder admitir varios dominios de tiempo.

[1185] El método uno se describirá ahora con más detalle. La suposición base del procedimiento del método 1 es que la época del reloj de trabajo y la referencia horaria 5G son las mismas o se negocian entre el UE y la BS de antemano, o la época de las señales temporales adicionales son arbitrarias.

Además, los relojes utilizados en el UE y la BS poseen suficiente precisión para admitir las señales temporales. Asimismo, el UE está suficientemente sincronizado con la BS con la hora de referencia celular común. Tanto el UE como la BS pueden estar equipados con varios relojes y funcionalidad relevante para admitir diferentes señales temporales en paralelo.

[1186] La Figura 152 ilustra el flujo de secuencia para el método 1, según determinadas realizaciones. La secuencia para el método 1 también se proporciona de la siguiente manera:

- Un reloj GM (de la red TSN) proporciona una referencia horaria local a una BS en la red celular.
- La BS en la red celular calcula el desplazamiento al comparar la referencia horaria local recibida de GM con la hora de referencia celular (p. ej., una hora de referencia celular según el GPS global) que se transmite periódicamente a los UE.
- El desplazamiento calculado junto con otra información necesaria (p. ej., época, número de dominio TSN, identificador de dominio de tiempo) se entrega a uno o varios UE a través de, p. ej., una señal RRC dedicada.
- Los UE decodifican el desplazamiento y ajustan la referencia horaria local según el desplazamiento indicado antes de proporcionarlo a, p. ej., un dispositivo TSN, un puente o un extremo de TSN.

[1187] Según determinadas realizaciones, la realización del método 1 permite la definición de varios dominios de tiempo para los UE celulares. Como tal, una hora de referencia celular (p. ej., según GPS) se difunde a todos los UE.

[1188] Además, las horas de trabajo específicas del dominio TSN se establecen entre las BS y los UE mediante la transmisión de desplazamientos horarios a UE individuales. Los desplazamientos se calcularán en la BS según la hora de referencia celular difundida común.

[1189] Según una realización particular, la BS transmite por difusión o unidifusión los desplazamientos junto con los identificadores de dominio TSN a

los UE en el dominio dado. Los UE identifican su dominio TSN requerido (o están configurados para usar un dominio TSN específico) y, por lo tanto, consideran el desplazamiento horario correspondiente a ese dominio TSN para sintonizar sus relojes con la hora de trabajo del dominio TSN específico/hora de referencia local, es decir, considerando la hora de referencia celular más el desplazamiento horario específico.

[1190] En la Figura 150, se explica el método 1, asumiendo una red celular 5G y una señal temporal adicional de un dominio TSN en la red troncal. Según determinadas realizaciones, la BS difunde la hora de referencia celular (10:00, 10:10, 10:20…) en puntos definidos en el tiempo a todos los UE; además, la BS también transmitirá un reloj de trabajo específico de dominio TSN a UE1 mediante la señalización del desplazamiento a la hora de referencia celular. En comparación con el método de sincronización de hora de referencia celular inicial entre la BS y el UE, se reducen los requisitos para la transmisión de los desplazamientos ya que no es necesario un cálculo de las horas de transmisión y procesamiento. Aun así, los desplazamientos deben comunicarse con suficiente periodicidad y con una indicación de la incertidumbre/precisión.

[1191] La Figura 153 ilustra el flujo de secuencia para el método 2, según determinadas realizaciones. Los pasos para el método 2 también se proporcionan de la siguiente manera:

- Un UE recibe una referencia horaria del reloj de trabajo directamente de la red TSN a la que está conectado, luego el UE compara esta referencia horaria con la referencia horaria celular recibida de la BS para calcular un desplazamiento individual.
- El UE además entrega a la BS el desplazamiento calculado, p. ej., mediante señalización RRC. La BS recibe el mensaje de desplazamiento del UE y ajusta una referencia horaria según el desplazamiento recibido del UE. Posteriormente, la BS envía la referencia horaria modificada a un dispositivo de TSN en la red celular como se describe en el escenario 2. De esta manera, el

dispositivo TSN en el lado de la red se sintoniza con la hora de trabajo de TSN en lugar de la hora de referencia celular.

[1192] El método 2 se basa en los mismos supuestos que el método 1.

[1193] En la Figura 151, se explica el método 2, asumiendo una red celular 5G y una señal temporal adicional de un dominio TSN en el lado del UE. En una realización particular, el método 2 podría incluir la necesidad de tener múltiples relojes en la BS o una función de red central que use los desplazamientos para calcular los relojes de trabajo para las redes TSN según la hora de referencia celular que admite varios relojes en paralelo.

[1194] Según algunas otras realizaciones, se puede realizar el cálculo de desplazamiento del lado del receptor mediante marcas temporales. Específicamente, la solución descrita puede usarse, por ejemplo, para transmitir una información horaria PTP desde un gran maestro externo entre el UE y el gNB de una manera consciente del tiempo. Por lo tanto, se usa una hora de referencia común para evaluar el tiempo variable t_d que tomó transmitir el paquete desde una capa en uno de ambos nodos, a otra capa en el otro nodo.

[1195] La hora de referencia común entre el UE y el gNB se usa para calcular t_d. Como ya se explicó anteriormente, PTP suele utilizarse en el contexto industrial para sincronizar sistemas. Este mecanismo, por supuesto, también funciona al revés cuando el UE está sincronizado con un gran maestro de PTP. Esta transmisión de paquetes ptp podría realizarse de forma transparente a los dispositivos PTP externos o al dejar que el UE y el gNB actúen conjuntamente como un reloj de límite. Es importante mencionar que la marca temporal en este caso no se requiere de manera de ida y vuelta como se hace en PTP para calcular el retraso de ida y vuelta; puede ocurrir en una capa superior y solo se requiere el retraso de ida t_d ya que tanto el UE como el gNB ya tienen una sincronización suficiente como línea de base.

[1196] Esto se ilustra en la Figura 154 para una sincronización de del gNB al UE.

[1197] En vista de la explicación detallada que se acaba de proporcionar, se apreciará que la Figura 155 representa un método 2600 realizado por un dispositivo inalámbrico para reducir las desviaciones entre una señal de temporización de referencia celular común, según determinadas realizaciones. El método comienza en el paso 2602 cuando el dispositivo inalámbrico recibe una primera señal de temporización de una red celular. En el paso 2604, el dispositivo inalámbrico recibe una segunda señal de temporización de al menos una TSN a la que está conectado el dispositivo inalámbrico. La primera señal de temporización se compara con la segunda señal de temporización para determinar un desplazamiento, en el paso 2606. En el paso 2608, el dispositivo inalámbrico transmite el desplazamiento a un nodo de red.

[1198] La Figura 156 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un aparato virtual 2700 en una red inalámbrica. El aparato puede implementarse en un dispositivo inalámbrico o en un nodo de red. El aparato 2700 es operable para realizar el método de ejemplo descrito con referencia a la Figura 155 y posiblemente cualquier otro proceso o método que se divulga en el presente documento. También se debe entender que el método de la Figura 155 no se realiza exclusiva y necesariamente por el aparato 2700. Al menos algunas operaciones del método pueden ser realizadas por una o más entidades.

[1199] El aparato virtual 2700 puede comprender circuitería de procesamiento, que puede incluir uno o más microprocesadores o microcontroladores, así como otro *hardware* digital que puede incluir el procesador de señal digital (DSP), lógica digital de propósito especial y similares. La circuitería de procesamiento puede configurarse para que ejecute el código del programa almacenado en la memoria, que puede incluir uno o varios tipos de memoria tal como memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio, memoria caché, dispositivos de memoria flash, dispositivos de almacenamiento óptico, etc. El código del programa almacenado en la memoria incluye instrucciones de programa para ejecutar una o más telecomunicaciones y/o

protocolos de comunicaciones de datos, así como instrucciones para llevar a cabo una o más técnicas descritas en el presente documento, en varias realizaciones. En algunas implementaciones, la circuitería de procesamiento se puede usar para hacer que el primer módulo de recepción 2710, el segundo módulo de recepción 2720, el módulo de comparación 2730, el módulo de transmisión 2740 y cualquier otra unidad adecuada del aparato 2700 realicen las funciones correspondientes según una o más realizaciones de la presente divulgación.

[1200] Según determinadas realizaciones, el primer módulo de recepción 2710 puede realizar algunas de las funciones de recepción del aparato 2700. Por ejemplo, el primer módulo de recepción 2710 puede recibir una primera señal de temporización de una red celular.

[1201] Según determinadas realizaciones, el segundo módulo de recepción 2720 puede realizar otras funciones de recepción del aparato 2700. Por ejemplo, el segundo módulo de recepción 2720 puede recibir una segunda señal de temporización desde al menos una TSN a la que está conectado el dispositivo inalámbrico.

[1202] Según determinadas realizaciones, el módulo de comparación 2730 puede realizar algunas de las funciones de comparación del aparato 2700. Por ejemplo, el módulo de comparación 2730 puede comparar la primera señal de temporización con la segunda señal de temporización para determinar un desplazamiento.

[1203] Según determinadas realizaciones, el módulo de transmisión 2740 puede realizar algunas de las funciones de transmisión del aparato 2700. Por ejemplo, el módulo de transmisión 2740 puede transmitir el desplazamiento a un nodo de red.

[1204] El término unidad puede tener un significado convencional en el campo de la electrónica, los dispositivos eléctricos y/o dispositivos electrónicos; y puede incluir, por ejemplo, circuitería eléctrica y/o electrónicos, dispositivos,

módulos, procesadores, memorias, dispositivos lógicos de estado sólido y/o aparte, programas informáticos o instrucciones para llevar a cabo las respectivas tareas, procedimientos, cómputos, emisiones y/o muestra de funciones y así sucesivamente, tal como los descritos en el presente documento.

[1205] La Figura 157 representa un método de un nodo de red tal como, por ejemplo, una estación base para reducir las desviaciones entre una señal de temporización de referencia celular común, según determinadas realizaciones. El método comienza en el paso 2802 cuando el nodo de red transmite, a un dispositivo inalámbrico, una primera señal de temporización para una red celular. En 2804, el nodo de red recibe, desde el dispositivo inalámbrico, un desplazamiento medido por el dispositivo inalámbrico. El desplazamiento se basa en una diferencia entre la primera señal de temporización para la red celular y una segunda señal de temporización asociada con al menos una red sensible al tiempo (TSN) a la que está conectado el dispositivo inalámbrico. Según el desplazamiento recibido del dispositivo inalámbrico, en el paso 2806 se determina una tercera señal de temporización para la red celular. La tercera señal de temporización es una señal temporal ajustada de la primera señal de temporización. En el paso 2808, el nodo de red transmite, al dispositivo inalámbrico, el tercer nodo de red de señal de temporización.

[1206] La Figura 158 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un aparato virtual 2900 en una red inalámbrica. El aparato puede implementarse en un dispositivo inalámbrico o en un nodo de red. El aparato 2900 es operable para realizar el método de ejemplo descrito con referencia a la Figura 157 y posiblemente cualquier otro proceso o método que se divulga en el presente documento. También se debe entender que el método de la Figura 157 no se realiza exclusiva y necesariamente por el aparato 2900. Al menos algunas operaciones del método pueden ser realizadas por una o más entidades.

[1207] El aparato virtual 2900 puede comprender circuitería de procesamiento, que puede incluir uno o más microprocesadores o

microcontroladores, así como otro *hardware* digital que puede incluir el procesador de señal digital (DSP), lógica digital de propósito especial y similares. La circuitería de procesamiento puede configurarse para que ejecute el código del programa almacenado en la memoria, que puede incluir uno o varios tipos de memoria tal como memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio, memoria caché, dispositivos de memoria flash, dispositivos de almacenamiento óptico, etc. El código del programa almacenado en la memoria incluye instrucciones de programa para ejecutar una o más telecomunicaciones y/o protocolos de comunicaciones de datos, así como instrucciones para llevar a cabo una o más técnicas descritas en el presente documento, en varias realizaciones. En algunas implementaciones, la circuitería de procesamiento se puede usar para hacer que el primer módulo de transmisión 2910, el módulo de recepción 2920, el módulo de determinación 2930, el segundo módulo de transmisión 2940 y cualquier otra unidad adecuada del aparato 2900 realicen las funciones correspondientes según una o más realizaciones de la presente divulgación.

[1208] Según determinadas realizaciones, el primer módulo de transmisión 2910 puede realizar algunas de las funciones de transmisión del aparato 2900. Por ejemplo, el primer módulo de transmisión 2910 puede transmitir, a un dispositivo inalámbrico, una primera señal de temporización para una red celular.

[1209] Según determinadas realizaciones, el módulo de recepción 2920 puede realizar algunas de las funciones de recepción del aparato 2900. Por ejemplo, el módulo de recepción 2920 puede recibir, desde el dispositivo inalámbrico, un desplazamiento medido por el dispositivo inalámbrico. El desplazamiento se basa en una diferencia entre la primera señal de temporización para la red celular y una segunda señal de temporización asociada con al menos una red sensible al tiempo (TSN) a la que está conectado el dispositivo inalámbrico.

[1210] Según determinadas realizaciones, el módulo de determinación 2930 puede realizar algunas de las funciones de determinación del aparato 2900. Por ejemplo, el módulo de determinación 2930 puede determinar una tercera señal de temporización para la red celular según el desplazamiento recibido desde el dispositivo inalámbrico.

[1211] Según determinadas realizaciones, el segundo módulo de transmisión 2940 puede realizar otras funciones de transmisión del aparato 2900. Por ejemplo, el segundo módulo de transmisión 2940 puede transmitir, al dispositivo inalámbrico, el tercer nodo de red de señal de temporización.

[1212] El término unidad puede tener un significado convencional en el campo de la electrónica, los dispositivos eléctricos y/o dispositivos electrónicos; y puede incluir, por ejemplo, circuitería eléctrica y/o electrónicos, dispositivos, módulos, procesadores, memorias, dispositivos lógicos de estado sólido y/o aparte, programas informáticos o instrucciones para llevar a cabo las respectivas tareas, procedimientos, cómputos, emisiones y/o muestra de funciones y así sucesivamente, tal como los descritos en el presente documento.

[1213] La Figura 159 representa un método 3000 realizado por un dispositivo inalámbrico para reducir las desviaciones entre una señal de temporización de referencia celular común, según determinadas realizaciones. El método comienza en el paso 3002 cuando el dispositivo inalámbrico recibe una primera señal de temporización de una red celular. En el paso 3004, el dispositivo inalámbrico recibe una segunda señal de temporización desde al menos una red sensible al tiempo (TSN). En el paso 3006, el dispositivo inalámbrico recibe, desde un nodo de red asociado con la red celular, un desplazamiento medido por el nodo de red. El desplazamiento se basa en una diferencia entre la primera señal de temporización para la red celular y la segunda señal de temporización desde al menos una TSN. El desplazamiento

se usa para reducir una desviación entre la primera señal temporal y la segunda señal temporal, en el paso 3008.

[1214] La Figura 160 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un aparato virtual 3170 en una red inalámbrica. El aparato puede implementarse en un dispositivo inalámbrico o en un nodo de red. El aparato 3100 es operable para realizar el método de ejemplo descrito con referencia a la Figura 159 y posiblemente cualquier otro proceso o método que se divulga en el presente documento. También se debe entender que el método de la Figura 159 no se realiza exclusiva y necesariamente por el aparato 3100. Al menos algunas operaciones del método pueden ser realizadas por una o más entidades.

[1215] El aparato virtual 3100 puede comprender circuitería de procesamiento, que puede incluir uno o más microprocesadores o microcontroladores, así como otro *hardware* digital que puede incluir el procesador de señal digital (DSP), lógica digital de propósito especial y similares. La circuitería de procesamiento puede configurarse para que ejecute el código del programa almacenado en la memoria, que puede incluir uno o varios tipos de memoria tal como memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio, memoria caché, dispositivos de memoria flash, dispositivos de almacenamiento óptico, etc. El código del programa almacenado en la memoria incluye instrucciones de programa para ejecutar una o más telecomunicaciones y/o protocolos de comunicaciones de datos, así como instrucciones para llevar a cabo una o más técnicas descritas en el presente documento, en varias realizaciones. En algunas implementaciones, la circuitería de procesamiento se puede usar para hacer que el primer módulo de recepción 3110, el segundo módulo de recepción 3120, el tercer módulo de recepción 3130, el módulo de utilización 3140 y cualquier otra unidad adecuada del aparato 3100 realicen las funciones correspondientes según una o más realizaciones de la presente divulgación.

[1216] Según determinadas realizaciones, el primer módulo de recepción 3110 puede realizar algunas de las funciones de recepción del aparato 3100. Por ejemplo, el primer módulo de recepción 3110 puede recibir una primera señal de temporización de una red celular.

[1217] Según determinadas realizaciones, el segundo módulo de recepción 3120 puede realizar otras funciones de recepción del aparato 3100. Por ejemplo, el segundo módulo de recepción 3120 puede recibir una segunda señal de temporización desde al menos una red sensible al tiempo (TSN).

[1218] Según determinadas realizaciones, el tercer módulo de recepción 3130 puede realizar otras funciones de recepción del aparato 3100. Por ejemplo, el tercer módulo de recepción 3130 puede recibir, desde un nodo de red asociado con la red celular, un desplazamiento medido por el nodo de red. El desplazamiento se basa en una diferencia entre la primera señal de temporización para la red celular y la segunda señal de temporización desde la TSN.

[1219] Según determinadas realizaciones, el módulo de utilización 3140 puede realizar algunas de las funciones de utilización del aparato 3100. Por ejemplo, el módulo de utilización 3140 puede usar el desplazamiento para reducir una desviación entre la primera señal temporal y la segunda señal temporal.

[1220] El término unidad puede tener un significado convencional en el campo de la electrónica, los dispositivos eléctricos y/o dispositivos electrónicos; y puede incluir, por ejemplo, circuitería eléctrica y/o electrónicos, dispositivos, módulos, procesadores, memorias, dispositivos lógicos de estado sólido y/o aparte, programas informáticos o instrucciones para llevar a cabo las respectivas tareas, procedimientos, cómputos, emisiones y/o muestra de funciones y así sucesivamente, tal como los descritos en el presente documento.

[1221] La Figura 161 representa un método de un nodo de red tal como, por ejemplo, una estación base para reducir las desviaciones entre una señal de

temporización de referencia celular común, según determinadas realizaciones. El método comienza en el paso 3202 cuando el nodo de red recibe una segunda señal de temporización desde al menos una red sensible al tiempo (TSN). En el paso 3204, el nodo de red realiza una comparación de la segunda señal de temporización con una primera señal temporal para una red celular. Según la comparación, en el paso 3206 se determina un desplazamiento que comprende una diferencia entre la primera señal de temporización para la red celular y una segunda señal de temporización desde la TSN. En el paso 3208, el desplazamiento se transmite a un dispositivo inalámbrico conectado a la TSN.

[1222] La Figura 162 ilustra un diagrama de bloques esquemático de un aparato virtual 3300 en una red inalámbrica. El aparato puede implementarse en un dispositivo inalámbrico o en un nodo de red. El aparato 3300 es operable para realizar el método de ejemplo descrito con referencia a la Figura 161 y posiblemente cualquier otro proceso o método que se divulga en el presente documento. También se debe entender que el método de la Figura 161 no se realiza exclusiva y necesariamente por el aparato 3300. Al menos algunas operaciones del método pueden ser realizadas por una o más entidades.

[1223] El aparato virtual 3300 puede comprender circuitería de procesamiento, que puede incluir uno o más microprocesadores o microcontroladores, así como otro *hardware* digital que puede incluir el procesador de señal digital (DSP), lógica digital de propósito especial y similares. La circuitería de procesamiento puede configurarse para que ejecute el código del programa almacenado en la memoria, que puede incluir uno o varios tipos de memoria tal como memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio, memoria caché, dispositivos de memoria flash, dispositivos de almacenamiento óptico, etc. El código del programa almacenado en la memoria incluye instrucciones de programa para ejecutar una o más telecomunicaciones y/o protocolos de comunicaciones de datos, así como instrucciones para llevar a cabo una o más técnicas descritas en el presente documento, en varias

realizaciones. En algunas implementaciones, la circuitería de procesamiento se puede usar para hacer que el módulo de recepción 3310, el módulo de realización 3320, el módulo de determinación 3330, el módulo de transmisión 3340 y cualquier otra unidad adecuada del aparato 3300 realicen las funciones correspondientes según una o más realizaciones de la presente divulgación.

[1224] Según determinadas realizaciones, el módulo de recepción 3310 puede realizar algunas de las funciones de recepción del aparato 3300. Por ejemplo, el módulo de recepción 3310 puede recibir una segunda señal de temporización desde al menos una red sensible al tiempo (TSN).

[1225] Según determinadas realizaciones, el módulo de ejecución 3320 puede realizar algunas de las funciones de realización del aparato 3300. Por ejemplo, el módulo de ejecución 3320 puede realizar una comparación de la segunda señal de temporización con una primera señal temporal para una red celular.

[1226] Según determinadas realizaciones, el módulo de determinación 3330 puede realizar algunas de las funciones de determinación del aparato 3300. Por ejemplo, según la comparación, el módulo de determinación 3330 puede determinar un desplazamiento que comprende una diferencia entre la primera señal de temporización para la red celular y una segunda señal de temporización desde la TSN.

[1227] Según determinadas realizaciones, el módulo de transmisión 3340 puede realizar algunas de las funciones de transmisión del aparato 3300. Por ejemplo, el módulo de transmisión 3340 puede transmitir el desplazamiento a un dispositivo inalámbrico conectado a la TSN.

[1228] Combinación de detección de TSN y admisión de varios dominios de tiempo

[1229] Nuevamente, como se indicó más arriba, las diversas técnicas descritas en el presente documento pueden combinarse entre sí para proporcionar ventajas con respecto a la latencia, confiabilidad, etc. Por ejemplo, una combinación particular que resulta ventajosa es la combinación de las técnicas descritas anteriormente para detectar el soporte de TSN y las técnicas descritas anteriormente para admitir varios dominios de tiempo.

[1230] Así, por ejemplo, el método que se ilustra en la Figura 135 puede combinarse con el método que se muestra en la Figura 155, lo que da como resultado un método realizado por un dispositivo inalámbrico asociado con una red de comunicaciones inalámbricas. Este método incluye el paso de recibir información del sistema (SI) desde una estación base radioeléctrica (RBS) de una red de acceso radioeléctrico (RAN), siendo el SI indicativo de soporte para redes sensibles al tiempo (TSN) a través de RBS, como se muestra en el bloque 402 de la Figura 135, así como el paso de establecer al menos un flujo de TSN con la red de datos externa, a través del RBS, como se muestra en el bloque 404 de la Figura 135. El método incluye además los pasos de recepción de una primera señal de temporización desde la red de comunicaciones inalámbricas, a través de la RBS, como se muestra en el bloque 2602 de la Figura 155, y recepción de una segunda señal de temporización desde la red de datos TSN externa a la que está conectado el dispositivo inalámbrico, como se muestra en el bloque 2604 de la Figura 155. Como se muestra en los bloques 2606 y 2608 de la Figura 155, el método comprende además la comparación de la primera señal de temporización con la segunda señal de temporización para determinar un desplazamiento y la transmisión del desplazamiento a la red de comunicaciones inalámbricas.

[1231] En algunas de estas realizaciones, la SI está comprendida en uno o más bloques de información del sistema (SIB). En algunas realizaciones, la primera señal de temporización comprende una referencia horaria celular. En algunas realizaciones, la segunda señal de temporización comprende una

referencia horaria de reloj de trabajo. En algunas realizaciones, el desplazamiento es una medida de una diferencia en el tiempo entre la primera señal de temporización y la segunda señal de temporización. En algunas realizaciones, el desplazamiento se transmite a la red de comunicaciones inalámbricas mediante señalización RRC.

[1232] Algunas realizaciones pueden comprender además el paso de recepción, desde la RBS, de una tercera señal de temporización desde la red de comunicaciones inalámbricas, donde la tercera señal de temporización es una señal temporal ajustada de la primera señal de temporización.

[1233] En algunas realizaciones, el método comprende además el ajuste de una referencia horaria local según el desplazamiento. En algunas realizaciones, el método comprende además la transmisión del desplazamiento a la red de datos TSN externa. El método puede comprender además la transmisión de al menos una época, un número de dominio TSN, un identificador de dominio de tiempo a al menos una RBS y la red de datos de TSN externa.

[1234] Priorización de concesiones

[1235] El tráfico de enlace ascendente (UL) puede programarse con concesiones de UL dinámicas o concesiones de UL configuradas. En el caso de concesiones dinámicas, el gNB proporciona una concesión de UL al UE para cada transmisión de UL. Las concesiones configuradas se asignan previamente, es decir, se proporcionan una vez al UE, después de eso, la concesión de UL configurada es válida para su uso para transmisiones de UL según una periodicidad configurada. El UE no necesita transmitir relleno en esos recursos de UL si no hay datos de UL disponibles para la transmisión, es decir, puede omitir una transmisión de UL en dichas concesiones.

[1236] Un dispositivo NR-IoT típico gestionaría la comunicación para varios tipos de servicios, p. ej., mensajes periódicos de control de robot de tipo comunicación ultra confiable de baja latencia (URLLC), señales de alarma

ocasionales de tipo URLLC, para las que habría que configurar recursos periódicos, transmisión ocasional de datos de sensores, otro tráfico de tipo banda ancha móvil (MBB), tales como transmisiones ocasionales de video o actualizaciones de *software*. Esto llevaría a una mezcla de tráfico que debería ser multiplexada por el UE para las transmisiones de UL, es decir, en el control de acceso a medios (MAC) habría que configurar varios canales lógicos con diferentes prioridades.

[1237] El tráfico URLLC periódico debe entregarse dentro de una latencia determinista, es decir, deben garantizarse transmisiones robustas, lo cual es costoso en términos de uso de recursos. Por otro lado, también hay que atender el tráfico de tipo sensor/MBB, para el que hay que utilizar los recursos de la forma más eficiente posible, es decir, menos robusta. En la actualidad, no está claro cómo puede gestionarse de manera eficiente en el sistema NR la multiplexación del UE de ambos tipos de tráfico con sus diferentes requisitos.

[1238] En particular, según los estándares actuales, por ejemplo, las concesiones de UL dinámicas, p. ej., menos robustas y grandes para MBB u otras concesiones de UL, anulan las concesiones de UL configuradas, p. ej., muy robustas para las transmisiones de URLLC, ya sea al destruir el determinismo para las transmisiones de URLLC o al llevar a una alta complejidad para el gNB para evitar esas anulaciones, es decir, mediante la programación “alrededor” de las concesiones de UL configuradas, que en algunas situaciones de recursos pueden no ser factibles. Por lo tanto, esto puede dar como resultado un rendimiento reducido o limitado de la red de comunicaciones inalámbricas.

[1239] Según las realizaciones en el presente documento, un nodo de red radioeléctrica, tal como un gNB u otra estación base radioeléctrica (RBS) configura un UE con una concesión configurada y/o una concesión dinámica para transmisiones de UL. La decisión sobre si la concesión dinámica o configurada se utiliza para una transmisión de UL por parte del UE depende de si se han obtenido datos de UL para transmitir en los recursos de UL de concesión

configurados según la decisión de priorización del canal lógico, es decir, en particular, si se puede obtener una unidad de datos de protocolo (PDU) MAC de la entidad de multiplexación/ensamblaje MAC, es decir, si se omite la concesión de enlace ascendente debido a que no hay datos disponibles en los canales lógicos permitidos para transmitir en la concesión de UL configurada.

[1240] Se supone que según una condición de restricción de canales lógicos, que es configurable, no se permite la transmisión de datos de algunos canales lógicos en una concesión de UL configurada, es decir, para los canales lógicos no críticos de tipo MBB. De este modo, no se desperdician valiosos recursos robustos al enviar tráfico de tipo MBB que no requiere recursos robustos, sino que podría esperar/retrasarse algún tiempo más y transmitirse en recursos más eficientes y menos robustos programados de forma dinámica.

[1241] Más específicamente, según las realizaciones en el presente documento, para una concesión de UL configurada (con una asignación deseada, frecuente y robusta, pero pequeña, destinada a datos transmitidos de forma fiable, tal como datos URLLC):

- Priorice una concesión de UL dinámica recibida para una nueva transmisión, recibida en el canal de control de enlace descendente físico (PDCCH) para el identificador temporal de la red radioeléctrica celular (C-RNTI), p. ej., una concesión más grande con parámetros de transmisión eficientes (menos robustos), con la condición de que no haya transmisión de UL en la concesión configurada, previamente recibida en el PDCCH para la programación configurada (CS)-RNTI, en caso de que se priorice, es decir, que no hay datos UL disponibles para la transmisión en una concesión configurada, es decir, para el canal lógico de tipo URLLC para el que se permite la transmisión en la concesión configurada, que no hay datos UL disponibles. Tenga en cuenta que, según la norma actual, siempre se priorizará la concesión de UL dinámica recibida, independientemente de la disponibilidad de datos UL.

- Priorice la concesión de UL configurada cuando haya datos UL disponibles para la transmisión en la concesión de UL configurada para cualquier canal lógico para el que se permita la transmisión en la concesión de UL configurada según las restricciones de canal lógico configuradas. P. ej., datos del canal lógico (LCH) URLLC.
- Según una realización adicional, la concesión de UL configurada solo se prioriza si cumple las condiciones anteriores Y cuando para un canal lógico SOLO se permite la transmisión en la concesión configurada, es decir, estos datos del canal lógico no tenían de otro modo la posibilidad de ser transmitidos cuando se priorizaba la concesión dinámica.

[1242] Tenga en cuenta que las retransmisiones solicitadas pueden tener siempre prioridad, es decir, en otra realización, la retransmisión de una MAC PDU enviada en una concesión configurada anteriormente tiene prioridad sobre una concesión configurada posteriormente. Más detalladamente, si la concesión de UL dinámica es para una retransmisión de la concesión configurada, es decir, está codificada con CS-RNTI y un indicador de datos nuevos (NDI) en la información de solicitud de repetición automática híbrida (HARQ) recibida es 1, esta concesión dinámica anula la concesión de UL configurada, independientemente de si se ha obtenido o no una MAC PDU.

[1243] En otra realización, al priorizar la concesión de UL configurada según lo anterior, se considera la siguiente excepción: no priorice la concesión de UL configurada si un LCH que está restringido a ser transmitido solo sobre la concesión dinámica es de mayor prioridad que otro LCH, para el cual se configura la restricción de transmitir solo sobre la concesión de UL configurada.

[1244] En una realización, el gNB espera la transmisión en una concesión de UL dinámica o en una concesión de UL configurada, es decir, decodifica ciegamente ambas posibilidades.

[1245] El UE utiliza el UL configurado incluso si se recibe una concesión de UL dinámica para recursos superpuestos, con la condición de que los datos

UL se transmitan en los recursos de concesión configurados según un procedimiento de priorización de canal lógico.

[1246] Obsérvese que, en un escenario general, el término “nodo de red radioeléctrica” puede sustituirse por “punto de transmisión”. La distinción entre los puntos de transmisión (TP) puede basarse normalmente en los CRS o en las diferentes señales de sincronización transmitidas. Varios TP pueden estar conectados lógicamente al mismo nodo de red radioeléctrica, pero si están separados geográficamente, o apuntan en diferentes direcciones de propagación, los TP pueden estar sujetos a los mismos problemas de movilidad que los diferentes nodos de red radioeléctrica. En las secciones siguientes, los términos “nodo de red radioeléctrica” y “TP” pueden considerarse intercambiables.

[1247] La Figura 163 es un esquema de operaciones combinado y un esquema de señalización según las realizaciones en el presente documento. Las acciones ilustradas en el presente y descritas a continuación pueden realizarse en cualquier orden adecuado.

[1248] Acción 201: el nodo de red radioeléctrica 12 puede configurar el UE 10 para priorizar la transmisión de UL de la concesión de UL periódica configurada sobre la transmisión de UL de una concesión de UL dinámica con la condición de que haya datos UL para ser transmitidos en la concesión configurada según un procedimiento de priorización de canal lógico. La concesión de UL periódica configurada puede ser para un primer tipo de transmisiones, p. ej., transmisiones de datos críticos tales como transmisiones URLLC, y la concesión de UL dinámica puede ser para un segundo tipo de transmisiones, p. ej., transmisiones de datos no críticos, tales como transmisiones MBB.

[1249] Acción 202: el nodo de red radioeléctrica 12 puede programar el UE 10 con una concesión dinámica para transmisiones de UL del segundo tipo, p. ej., transmisiones de datos no críticos, tales como transmisiones no sensibles

a la latencia, p. ej., para un servicio de banda ancha o similar. Esto puede significar que el nodo de red radioeléctrica transmite una concesión de UL dinámica al UE 10. Por lo tanto, el UE 10 puede enviar una solicitud de programación para una transmisión de UL y, posteriormente, puede recibir una concesión de UL dinámica para la transmisión de UL.

[1250] Acción 203: el UE 10 prioriza la transmisión de UL de la concesión de UL periódica configurada sobre la transmisión de UL de la concesión de UL dinámica con la condición de que haya datos UL para ser transmitidos en la concesión de UL periódica configurada según un procedimiento de priorización de canal lógico. La concesión de UL periódica configurada puede ser para el primer tipo de transmisiones, tal como transmisión URLLC, y la concesión de UL dinámica puede ser para el segundo tipo de transmisiones, tal como transmisión MBB.

[1251] Acción 204: Cuando el UE 10 ha priorizado la concesión de UL periódica en la acción 203, el UE puede transmitir una transmisión del primer tipo de transmisiones, tal como transmisión URLLC.

[1252] Acción 205: Cuando el UE 10 ha priorizado la concesión de UL dinámica en la acción 203, el UE puede transmitir una transmisión del segundo tipo de transmisiones, tal como transmisión MBB.

[1253] La Figura 164 es un diagrama de bloques que representa el UE 10 para gestionar la configuración, p. ej., gestionar o habilitar la comunicación con el nodo de red radioeléctrica en la red de comunicación inalámbrica 1 según las realizaciones en el presente documento. El UE 10 puede comprender circuitería de procesamiento 801, p. ej., uno o más procesadores, configurada para realizar los métodos descritos en el presente documento. El UE 10 puede comprender una unidad de recepción 802, p. ej., un receptor o un transceptor. El UE 10, la circuitería de procesamiento 801 y/o la unidad de recepción 802 pueden estar configurados para recibir datos de configuración del nodo de red radioeléctrica 12. Los datos de configuración pueden definir que el UE priorice la

transmisión de UL de la concesión de UL periódica configurada sobre la transmisión de UL de una concesión de UL dinámica con la condición de que haya datos UL para ser transmitidos en la concesión configurada según un procedimiento de priorización de canal lógico. La concesión de UL periódica configurada puede ser para un primer tipo de transmisiones, tal como transmisión URLLC, y la concesión de UL dinámica puede ser para un segundo tipo de transmisiones, tal como transmisión MBB. El UE 10, la circuitería de procesamiento 801 y/o la unidad de recepción 802 están configurados para recibir una concesión de UL dinámica para una transmisión de UL.

[1254] El UE 10 puede comprender una unidad de priorización 803. El UE 10, la circuitería de procesamiento 801 y/o la unidad de priorización 803 pueden estar configurados para priorizar la transmisión de UL de la concesión de UL periódica configurada sobre la transmisión de UL de la concesión de UL dinámica con la condición de que haya datos UL para ser transmitidos en la concesión de UL periódica configurada según un procedimiento de priorización de canal lógico. El UE 10 puede comprender una unidad de transmisión 804, p. ej., un transmisor o un transceptor. El UE 10, la circuitería de procesamiento 801 y/o la unidad de transmisión 804 pueden estar configurados para priorizar la transmisión de UL de la concesión de UL periódica configurada sobre la transmisión de UL de la concesión de UL dinámica con la condición de que haya datos UL para ser transmitidos en la concesión de UL periódica configurada según un procedimiento de priorización de canal lógico. En algunos ejemplos, la unidad de priorización 803 realiza la priorización. Por lo tanto, en estos ejemplos, el UE 10, la circuitería de procesamiento 801 y/o la unidad de transmisión 804 pueden estar configurados para transmitir una transmisión del primer tipo o una transmisión del segundo tipo según la prioridad establecida por el UE 10, la circuitería de procesamiento 801 y/o la unidad de priorización 803.

[1255] El UE 10 comprende además una memoria 807. La memoria comprende una o más unidades que se utilizarán para almacenar datos, tales

como RS, fortalezas o cualidades, concesiones de UL, indicaciones, solicitudes, comandos, aplicaciones para realizar los métodos divulgados en el presente documento cuando se ejecutan, y similares. El UE 10 comprende una interfaz de comunicación que comprende una o más antenas.

[1256] Los métodos según las realizaciones descritas en el presente documento para el UE 10 se implementan respectivamente por medio de, p. ej., un producto de programa informático 805 o un programa informático que comprende instrucciones, es decir, porciones de código de *software*, que, cuando se ejecutan en al menos un procesador, hacen que al menos un procesador lleve a cabo las acciones descritas en el presente documento, tal como las realiza el UE 10. El producto de programa informático 805 puede almacenarse en un medio de almacenamiento legible por computadora 806, p. ej., una memoria de bus de serie universal (USB), un disco o similar. El medio de almacenamiento legible por computadora 806, que tiene almacenado en él el producto de programa informático, puede comprender las instrucciones que, cuando se ejecutan en al menos un procesador, hacen que al menos un procesador lleve a cabo las acciones descritas en el presente documento, tal como las realiza el UE 10. En algunas realizaciones, el medio de almacenamiento legible por computadora puede ser un medio de almacenamiento legible por computadora transitorio o no transitorio.

[1257] La Figura 165 es un diagrama de bloques que representa el nodo de red radioeléctrica 12 para gestionar, p. ej., facilitar, la configuración en la red de comunicación inalámbrica 1 según las realizaciones en el presente documento. El nodo de red radioeléctrica 12 puede comprender circuitería de procesamiento 1001, p. ej., uno o más procesadores, configurada para realizar los métodos descritos en el presente documento.

[1258] El nodo de red radioeléctrica 12 puede comprender una unidad de configuración 1002. El nodo de red radioeléctrica 12, la circuitería de procesamiento 1001 y/o la unidad de configuración 1002 están configurados

para configurar el UE 10 con una concesión de UL para la transmisión de UL a través de un canal lógico. El nodo de red radioeléctrica 12 puede comprender una unidad de programación 1003, tal como un programador. El nodo de red radioeléctrica 12, la circuitería de procesamiento 1001 y/o la unidad de programación 1003 pueden configurarse además para programar el UE 10 con una concesión dinámica para la transmisión de UL de un servicio de banda ancha o similar.

[1259] El nodo de red radioeléctrica 12 puede comprender una unidad de recepción 1004, p. ej., un receptor o transceptor. El nodo de red radioeléctrica 12, la circuitería de procesamiento 1001 y/o el módulo de recepción 1004 están configurados para recibir desde el UE 10 datos sobre un recurso radioeléctrico. El nodo de red radioeléctrica 12 comprende además una memoria 1005. La memoria comprende una o más unidades que se utilizarán para almacenar datos, tales como fortalezas o cualidades, concesiones, información de programación, aplicaciones para realizar los métodos descritos en el presente documento cuando se ejecutan, y similares. El nodo de red radioeléctrica 12 comprende una interfaz de comunicación que comprende un transmisor, receptor, transceptor y/o una o más antenas.

[1260] Los métodos según las realizaciones descritas en el presente documento para el nodo de red radioeléctrica 12 se implementan respectivamente por medio de, p. ej., un producto de programa informático 1006 o un producto de programa informático que comprende instrucciones, es decir, porciones de código de *software*, que, cuando se ejecutan en al menos un procesador, hacen que al menos un procesador lleve a cabo las acciones descritas en el presente documento, tal como las realiza el primer nodo de red radioeléctrica 12. El producto de programa informático 1006 puede almacenarse en un medio de almacenamiento legible por computadora 1007, p. ej., una memoria USB, un disco o similar. El medio de almacenamiento legible por computadora 1007, que tiene almacenado en él el producto de programa

informático, puede comprender las instrucciones que, cuando se ejecutan en al menos un procesador, hacen que al menos un procesador lleve a cabo las acciones descritas en el presente documento, tal como las realiza el nodo de red radioeléctrica 12. En algunas realizaciones, el medio de almacenamiento legible por computadora puede ser un medio de almacenamiento legible por computadora transitorio o no transitorio.

[1261] Combinación de detección de TSN y priorización de concesiones

[1262] Una vez más, como se indicó más arriba, las diversas técnicas descritas en el presente documento pueden combinarse entre sí para proporcionar ventajas con respecto a la latencia, confiabilidad, etc. Por ejemplo, una combinación particular que resulta ventajosa es la combinación de las técnicas descritas anteriormente para detectar el soporte de TSN y las técnicas descritas anteriormente para priorizar concesiones.

[1263] Así, por ejemplo, el método que se ilustra en la Figura 135 puede combinarse con el método que se muestra en la Figura 163, lo que da como resultado otro método realizado por un dispositivo inalámbrico asociado con una red de comunicaciones inalámbricas. Este método incluye el paso de recibir información del sistema (SI) desde una estación base radioeléctrica (RBS) de una red de acceso radioeléctrico (RAN), siendo el SI indicativo de soporte para redes sensibles al tiempo (TSN) a través de RBS, como se muestra en el bloque 402 de la Figura 135, así como el paso de establecer al menos un flujo de TSN con la red de datos externa, a través del RBS, como se muestra en el bloque 404 de la Figura 135. El método incluye además los pasos de información de configuración que configura concesiones periódicas de enlace ascendente que indican los recursos de enlace ascendente que se utilizarán para transmisiones de enlace ascendente a la red de comunicaciones inalámbricas, como se muestra en el paso 201 de la Figura 163, y recepción de una concesión dinámica de enlace ascendente para una transmisión de enlace ascendente a la red de

comunicaciones inalámbricas, como se muestra en el paso 202 de la Figura 163. Como se muestra en el paso 203 de la Figura 163, este método de ejemplo incluye además el paso de priorización de la transmisión de enlace ascendente mediante la concesión periódica de enlace ascendente configurada sobre la transmisión de enlace ascendente mediante la concesión dinámica de enlace ascendente, con la condición de que haya datos de enlace ascendente que se transmitan en la concesión periódica de enlace ascendente configurada según un procedimiento de priorización de canal lógico.

[1264] En algunas realizaciones, el SI está comprendido en uno o más bloques de información del sistema (SIB). En algunas realizaciones, el procedimiento de priorización de canal lógico evita la transmisión de algunos canales lógicos en la concesión periódica de enlace ascendente configurada. En algunas de estas últimas realizaciones, el procedimiento de priorización de canales lógicos puede restringir la transmisión mediante la concesión periódica de enlace ascendente configurada a mensajes de comunicación ultra confiable de baja latencia (URLLC). En algunas realizaciones, la concesión dinámica de enlace ascendente está destinada a una transmisión de banda ancha móvil (MBB).

[1265] Inscripción de dispositivos en un entorno de IoT

[1266] El Internet de las cosas (IoT) se conoce habitualmente como una red de dispositivos físicos, vehículos, electrodomésticos y/u otros elementos integrados con electrónica, *software*, sensores, actuadores y conectividad que por lo general permiten que los dispositivos se conecten e intercambien datos. Como se analiza en el presente documento, el IoT industrial es simplemente el IoT aplicado a un entorno industrial, tal como en una fábrica.

[1267] La adición de un nuevo dispositivo a un sistema de IoT o entorno de IoT (los términos pueden usarse indistintamente en esta divulgación), o la implementación de un sistema de IoT completo por primera vez generalmente

incluye: la instalación física de los dispositivos, es decir, sensores, actuadores, etc., en su respectiva ubicación física; la configuración de los dispositivos con identidad y otros atributos, tal como, p. ej., ubicación geográfica, propietario, finalidad, etc.; la configuración de parámetros de comunicación, p. ej., puntos de acceso a wifi y contraseñas, claves de cifrado y certificados; e inscripción de los dispositivos, con registro en los servicios (en la nube) que harán uso de ellos, y que ellos utilizarán.

[1268] Un ejemplo típico es la instalación de un nuevo sistema de vigilancia (ya sea residencial o comercial). Cada dispositivo está preconfigurado con su funcionalidad, pero usualmente requiere una configuración específica que puede variar según la situación, el contexto y/o el uso previsto, tal como la ubicación (p. ej., la sala de estar) y la comunicación (p. ej., cómo ponerse en contacto con el centro de comunicaciones del sistema de IoT). El centro de comunicaciones normalmente debe configurarse con los detalles de contacto del propietario, tal como el número de teléfono (para la comunicación GSM/GPRS) o la dirección de red (para la comunicación con base en IP) y la contraseña para los servicios. Por lo general, algunos de los parámetros pueden configurarse en masa (p. ej., durante la fabricación) y algunos de ellos deben configurarse después de la instalación.

[1269] Existen varias formas de gestionar la inscripción de los dispositivos. Las formas comunes generalmente incluyen:

- configuración de un dispositivo antes/directamente después de la instalación. Suele ser habitual permitir que los dispositivos sean “de confianza” cuando se inician por primera vez (conocido como TOFU, confianza en el primer uso). Esto permite al instalador u operador configurar fácilmente los dispositivos IoT ya sea sin usar ningún tipo de seguridad o por medio del uso credenciales de seguridad establecidas durante la fabricación, tal como una combinación de usuario o contraseña que son comunes para todos los dispositivos y que a menudo pueden encontrarse en Internet. Un inconveniente típico de este

enfoque es que es vulnerable a los ataques *man-in-the-middle* (hombre de por medio) y que la seguridad se ve fácilmente comprometida, ya que las contraseñas predeterminadas suelen no modificarse después de la configuración, lo que permite una mayor manipulación.

- puesta en marcha de los dispositivos haciéndolos “llamar a casa” a una dirección predeterminada para recibir los parámetros de configuración. Sin embargo, este enfoque requiere acceso a Internet o acceso a al menos una dirección predeterminada que normalmente utiliza comunicación con base en IP.

[1270] Por lo tanto, los enfoques convencionales para la inscripción de dispositivos en entornos de IoT suelen ser inseguros y/o inflexibles. Consecuentemente, existe la necesidad de proporcionar medios seguros y flexibles para la inscripción de dispositivos en los sistemas de IoT.

[1271] Como se acaba de mencionar, la adición de un nuevo dispositivo a un sistema o la implementación de un sistema de IoT por primera vez, generalmente incluye

- la instalación física de los dispositivos,
- su configuración con identidad y otros atributos,
- la configuración de parámetros de comunicación, y
- la inscripción de los dispositivos.

[1272] Un ejemplo típico es la adición de un nuevo controlador a un sistema de automatización de fábrica. El controlador normalmente necesita saber quién puede configurar/reconfigurar los bucles de control, y dónde y cómo enviar advertencias/errores. Además, normalmente requiere claves privadas para cifrar la comunicación, y normalmente requiere saber cómo comunicarse con otros dispositivos y servicios (es decir, recibir información sobre certificados, claves, etc.).

[1273] Sin embargo, como se mencionó anteriormente, los procesos de inscripción convencionales pueden conducir típicamente a sistemas inseguros, ya que la configuración de los dispositivos se puede realizar nuevamente con la

misma contraseña predeterminada, o la inscripción se ve inhibida por el hecho de que se requiere una conexión a Internet.

[1274] Se sabe que cualquier aplicación informática puede serializarse de alguna forma. La serialización por computadora suele ser el proceso de traducción de estructuras de datos o estados de objetos a un formato que se puede almacenar o transmitir y reconstruir más tarde (posiblemente en un entorno informático diferente). La operación contraria, la extracción de una estructura de datos de una serie de bytes, se conoce normalmente como deserialización. La serialización, sin embargo, puede ser compleja y detallada, y por lo tanto requerir más espacio de almacenamiento, a menos que el entorno en el que se ejecutará la aplicación tenga soporte para abstracciones de alto nivel de incluso una funcionalidad bastante compleja.

[1275] La serialización/deserialización que se describe en el presente documento puede realizarse según cualquier método adecuado para serializar/deserializar datos.

[1276] Según algunas realizaciones del presente documento, la aplicación puede ser una aplicación de inscripción que comprende información de inscripción para asistir/permitir la ejecución de la inscripción de un dispositivo en el entorno de IoT.

[1277] Por ejemplo, codificar la aplicación de inscripción con un formato limitado tal como códigos QR o códigos de barras agrega algunas restricciones al espacio disponible (incluso un formato de alta densidad tal como HCCB está limitado a aproximadamente 300 bytes/cm2).

[1278] Sin embargo, con la utilización de una descripción de alto nivel de la aplicación de inscripción, es posible codificar la aplicación, completa con el estado interno, parámetros, etc., como una cadena, código de barras o código QR con una cantidad limitada de espacio mediante serialización.

[1279] Según algunas realizaciones, este hecho puede utilizarse para proporcionar un proceso de inscripción codificado seguro que no requiere conexión a Internet.

[1280] Por ejemplo, según algunas realizaciones del presente documento, una aplicación de inscripción puede distribuirse entre varios dispositivos, o varias aplicaciones de inscripción pueden, en algunas realizaciones, ejecutarse en diferentes dispositivos donde un dispositivo puede usarse para asistir en la inscripción de otro dispositivo, y puede recuperar información sobre ubicación geográfica y organizativa, propiedad, claves de cifrado, parámetros de comunicación (p. ej., punto de acceso a wifi, credenciales de inicio de sesión y dirección al punto de acceso o servicio web, etc.) desde el dispositivo de asistencia, almacenándola de forma persistente en, p. ej., uno o más de los dispositivos que se están inscribiendo. Además, en el estado de la o las aplicaciones se puede incluir toda la información necesaria para suponer la propiedad del dispositivo del que se ha recuperado la información, tal como p. ej., claves de comunicación e identidad.

[1281] Luego, estas aplicaciones de inscripción se serializan y se suministran junto con uno o más dispositivos IoT, p. ej., por medio de una nota dentro del empaque, impresa en el lateral del dispositivo, generada e impresa en el recibo, descargada del sitio web del fabricante o distribuida de alguna otra forma.

[1282] La obtención del código, p. ej., por medio de un dispositivo de asistencia, p. ej., un teléfono móvil, o su recuperación por otros medios, y la posterior deserialización, p. ej., mediante el uso de una aplicación o función en el teléfono móvil proporciona una representación digital de la aplicación de inscripción, que luego puede implementarse en un sistema que consiste en al menos el dispositivo IoT y (por ejemplo) el teléfono móvil utilizado para la inscripción.

[1283] Cabe señalar que el dispositivo de asistencia no tiene que ser necesariamente un teléfono móvil, sino que también podría ser, en algunas realizaciones, otro dispositivo IoT u otro dispositivo adecuado para deserializar la información de inscripción.

[1284] La aplicación de inscripción puede distribuirse entre al menos dos dispositivos (el o los dispositivos IoT que se inscribirán y el teléfono móvil que asiste en la inscripción) y comienza a ejecutar un proceso de inscripción mediante el suministro de toda la información relevante al dispositivo IoT, así como al teléfono móvil.

[1285] La aplicación de inscripción también puede comprender información de inscripción perteneciente a los pasos de la inscripción que, en algunas realizaciones, pueden tener que ser realizada por uno o ambos dispositivos de asistencia (p. ej., el teléfono móvil) y el dispositivo IoT que se inscribirá.

[1286] El dispositivo IoT almacena la información de inscripción de forma persistente, finaliza la aplicación y luego reanuda su funcionamiento previsto.

[1287] El dispositivo IoT podría, opcionalmente, quemar un fusible o algo similar para evitar la manipulación o el cambio de datos, haciendo que la propiedad sea permanente. El teléfono móvil podría reenviar opcionalmente el resultado del registro a un servidor.

[1288] En un marco de IoT, con abstracciones de nivel bastante alto para describir la funcionalidad, es decir, la funcionalidad se describe en un nivel semánticamente alto mediante descripciones de alto nivel tal como “trigger alarm” (activar alarma) en lugar de comandos detallados y de bajo nivel tal como “set_pin (18, 0)”, es posible codificar incluso aplicaciones bastante grandes y complejas como códigos de barras o códigos QR que pueden interpretarse por, p. ej., un dispositivo móvil. La aplicación en sí puede ser una aplicación distribuida que abarque varios dispositivos o aplicaciones independientes que intercambien datos.

[1289] La aplicación codificada, p. ej., en algunas realizaciones, puede estar:

1) impresa en el dispositivo IoT

2) incluida en una nota en el empaque del dispositivo IoT

3) descargada en el lote desde un servicio web que utiliza identificadores únicos suministrados con el dispositivo IoT.

[1290] Por supuesto, son posibles otras opciones para suministrar la aplicación codificada.

[1291] El técnico u operador que instala el dispositivo IoT puede utilizar un dispositivo móvil como dispositivo de asistencia para obtener el código de barras/los códigos de barras (p. ej., mediante el escaneo del código) e implementar la aplicación o las aplicaciones. Luego, la aplicación (o partes de una aplicación) que se ejecuta en el teléfono móvil completa los datos de configuración tales como ubicación, propósito, propiedad, credenciales y otra información importante, mientras que la aplicación (o partes de una aplicación) en el dispositivo que se inscribirá almacena esta información de forma persistente.

[1292] Una vez completada la configuración/inscripción, la aplicación se elimina y el dispositivo IoT reanuda el funcionamiento normal, utilizando los datos de configuración/inscripción proporcionados.

[1293] Este enfoque permite el registro, la configuración y la inscripción automatizados y sencillos de, p. ej., dispositivos IoT, sin que los dispositivos necesiten acceso a Internet o cualquier otra conectividad que no sea un medio de comunicación con un dispositivo de registro (Bluetooth, NFC, wifi, etc.).

[1294] La Figura 168 ilustra un método de ejemplo 100 de un primer dispositivo según algunas realizaciones para iniciar un proceso de inscripción de un segundo dispositivo en un entorno de Internet de las cosas (IoT).

[1295] El primer dispositivo puede ser, p. ej., un dispositivo de comunicación inalámbrico tal como un teléfono móvil. El primer dispositivo puede

ser cualquier dispositivo capaz de deserializar abstracciones de alto nivel, tal como una computadora de mano, una computadora portátil o una plataforma de navegación. Aunque es preferible un dispositivo móvil, no se excluye que el primer dispositivo sea un dispositivo estacionario, tal como, p. ej., una computadora estacionaria.

[1296] El segundo dispositivo puede ser, p. ej., un robot, dispositivo físico, sensor, cámara o cualquier otro dispositivo adecuado para un sistema de IoT.

[1297] En algunas realizaciones, el segundo dispositivo es un dispositivo de Internet de las cosas (IoT). En algunas realizaciones, el primer dispositivo es un dispositivo de comunicación inalámbrica.

[1298] El método 100 comienza en 110 con la obtención 110 de una representación de una función de inscripción asociada con el segundo dispositivo, donde la función de inscripción está asociada con al menos una aplicación de inscripción serializada que comprende información de inscripción asociada con el primer y segundo dispositivo.

[1299] La representación de la función de inscripción puede obtenerse, p. ej., por medio del escaneo de la representación o la captura de otro modo de la representación con el uso de, p. ej., una cámara u otro sensor.

[1300] La representación de la función de inscripción puede ser un código QR impreso en el segundo dispositivo, suministrado en el empaque del segundo dispositivo o similar. La representación de la función de inscripción podría ser adicional o alternativamente, p. ej., un código de barras o un chip RF-ID capaz de almacenar analógica o digitalmente la función de inscripción serializada. Son posibles otras representaciones.

[1301] La información de inscripción asociada con el primer y segundo dispositivo comprendida en la aplicación de inscripción serializada puede, p. ej., comprender una o más de las instrucciones para establecer la comunicación entre el primer y el segundo dispositivo, una indicación de que se va a llevar a cabo un proceso de inscripción, pasos de un proceso de inscripción, información

asociada con una o más de una ubicación geográfica, ubicación organizacional, propiedad, claves de cifrado, parámetros de comunicación, claves de comunicación e identidad e información sobre qué parámetros deben intercambiarse entre los dispositivos, tales como credenciales, etc.

[1302] Por ejemplo, los parámetros anteriores pueden representar una combinación de información que fluye entre ambos dispositivos. Los datos adicionales, que se originan en el primer dispositivo, tal como, p. ej., la ubicación geográfica, la ubicación organizativa y la propiedad pueden ser datos enviados por el primer dispositivo al segundo dispositivo y almacenados por este último.

[1303] Las claves/parámetros de encriptación y comunicación pueden enviarse además en cualquier dirección (p. ej., durante el protocolo de enlace, negociación de medios de comunicación, etc.) durante la implementación de la aplicación de inscripción, es decir, durante el proceso de inscripción.

[1304] La identidad podría enviarse del segundo dispositivo al primer dispositivo (en el caso de que el número de serie o identificador único se haya establecido durante la fabricación) o del primer dispositivo al segundo dispositivo (en el caso de un nombre legible por humanos o un identificador dentro de la organización).

[1305] Luego, el método 100 continúa en el paso 120 con deserialización de la aplicación de inscripción de modo que la información de inscripción asociada con el primer dispositivo se separe de la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo.

[1306] Por lo tanto, es posible que el primer y el segundo dispositivo no reciban necesariamente la misma información de inscripción. La información de inscripción asociada con el primer dispositivo puede, p. ej., comprender instrucciones sobre qué parámetros debe suministrar el primer dispositivo al segundo dispositivo. Del mismo modo, la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo puede comprender instrucciones de que debe realizarse una inscripción, y directivas sobre qué parámetros y/o información

asociada con el segundo dispositivo debe suministrar el segundo dispositivo al primero.

[1307] Cabe señalar que los parámetros pueden comprender los mismos datos que la información, es decir, los parámetros pueden ser la información o viceversa, por lo tanto, en esta divulgación, el término parámetro puede reemplazarse por el término información si no se indica explícitamente lo contrario.

[1308] En algunas realizaciones, el método 100 puede comprender opcionalmente el paso de conectar 130 al segundo dispositivo para permitir la comunicación entre el primer y el segundo dispositivo.

[1309] La conexión puede establecerse por medio de, p. ej., BlueTooth, wifi, NFC y conexión física o cable entre los dispositivos. Sin embargo, este paso también puede integrarse en el siguiente paso de transmisión 140 de la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo para iniciar la ejecución por parte del segundo dispositivo del proceso de inscripción del segundo dispositivo mediante la configuración del segundo dispositivo según la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo.

[1310] Por consiguiente, la información de inscripción deserializada asociada con el segundo dispositivo se transmite desde el primer dispositivo al segundo dispositivo, con el fin de iniciar el proceso de inscripción y permitir que el segundo dispositivo ejecute el proceso de inscripción según lo indicado por la información de inscripción asociada (con el segundo dispositivo).

[1311] Según algunas realizaciones, la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo es desconocida para este último. Por lo tanto, la inscripción no puede llevarse a cabo a menos que el primer dispositivo suministre al segundo dispositivo la información de inscripción comprendida en la aplicación de inscripción deserializada asociada con el segundo dispositivo.

[1312] Además, en algunas realizaciones, la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo comprende al menos una de las claves de

cifrado públicas para comunicarse con el sistema de IoT, los sistemas de *software*, las capacidades y las funciones del entorno de IoT.

[1313] Luego, el método continúa con la recepción 150 de la información de configuración del segundo dispositivo asociada con el segundo dispositivo.

[1314] Como se explicó anteriormente, la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo puede comprender instrucciones de que el segundo dispositivo debe suministrar al primer dispositivo cierta información/parámetros de configuración asociados con el segundo dispositivo que son desconocidos para el primer dispositivo.

[1315] Dicha información de configuración asociada con el segundo dispositivo puede ser, p. ej., la identidad física del segundo dispositivo y las claves de cifrado públicas para la comunicación con el segundo dispositivo. La información asociada con el segundo dispositivo también puede comprender, en algunas realizaciones, un reconocimiento de la inscripción exitosa del segundo dispositivo.

[1316] El primer dispositivo puede, p. ej., almacenar la información de configuración recibida y, en algunas realizaciones, retransmitirla al sistema de IoT para permitir la conexión del segundo dispositivo al sistema de IoT.

[1317] Por ejemplo, según algunas realizaciones, para los sistemas de IoT que dependen de un servicio de nube central, los detalles de comunicación necesarios (tales como claves públicas e identidad) pueden enviarse al servicio de nube para permitir la comunicación (segura).

[1318] En algunas realizaciones, la función de inscripción puede comprender o representar al menos dos aplicaciones de inscripción serializadas. En tal caso, una aplicación puede estar destinada al primer dispositivo y una aplicación puede estar destinada al segundo dispositivo.

[1319] Por ello, en algunas realizaciones, el método puede comprender además la deserialización de al menos dos aplicaciones de inscripción serializadas en al menos una aplicación de inscripción que comprende

información de inscripción asociada con el primer dispositivo y al menos una aplicación de inscripción que comprende información de inscripción asociada con el segundo dispositivo. Entonces, el primer dispositivo puede transmitir al menos una aplicación de inscripción asociada con el segundo dispositivo al segundo dispositivo.

[1320] Por lo tanto, según algunas realizaciones, la función de inscripción puede contener una aplicación (es decir, una aplicación dividida para ambos dispositivos, o solo una para el segundo dispositivo) o dos aplicaciones (una para el primer dispositivo y otra para el segundo dispositivo) y también puede comprender, en algunas realizaciones, datos de configuración específicos (dirección, etc., que podrían no formar parte de ninguna de las aplicaciones).

[1321] En algunas realizaciones, el método puede comprender además la determinación de que el segundo dispositivo se ha inscrito con éxito y la terminación 160 de al menos una aplicación de inscripción en el primer dispositivo.

[1322] La determinación de que el segundo dispositivo se ha inscrito con éxito puede basarse en, p. ej., una indicación recibida del segundo dispositivo de que se ha inscrito con éxito. En algunas realizaciones, la indicación de inscripción exitosa puede estar comprendida en la información recibida de, y asociada con, el segundo dispositivo.

[1323] Por lo tanto, el método 100 describe pasos para iniciar y asistir a, p. ej., un dispositivo IoT a inscribirse en un sistema de IoT según algunas realizaciones.

[1324] Además, la Figura 169 ilustra un método de ejemplo 200 de un segundo dispositivo para ejecutar un proceso de inscripción en un entorno de Internet de las cosas (IoT) iniciado y asistido por un primer dispositivo.

[1325] El primer y segundo dispositivo pueden ser, p. ej., el primer y segundo dispositivo como se describe conjuntamente con la Figura 168.

[1326] El método 200 comienza en 210 con la recepción 210, desde el primer dispositivo, de información de inscripción asociada con el segundo dispositivo (compárese con el paso 140 del método 100). La información de inscripción puede provenir de al menos una aplicación de inscripción deserializada, cuya solicitud de inscripción puede haber sido deserializada por el primer dispositivo según el método 100.

[1327] En algunas realizaciones, el método 200 puede comprender además la determinación 220 de que la información de inscripción es para ejecutar el proceso de inscripción.

[1328] El segundo dispositivo puede comprender, p. ej., diferentes funciones y procesos que pueden iniciarse cuando se reciben instrucciones o señales específicas. El segundo dispositivo puede comprender, p. ej., una función de inscripción que se utiliza solo cuando se recibe la información de inscripción correcta para ejecutar el proceso de inscripción.

[1329] Sin embargo, este paso también puede realizarse automáticamente cuando el segundo dispositivo recibe la información de inscripción, es decir, la recepción de la información de inscripción puede desencadenar automáticamente el proceso de inscripción y, por lo tanto, el paso 220 puede considerarse implícito en el método 200.

[1330] El método 200 continúa con la ejecución 230 del proceso de inscripción mediante la configuración del segundo dispositivo según la información de inscripción.

[1331] Es posible que el segundo dispositivo ya tenga acceso, p. ej., al menos en parte, al proceso de inscripción, pero puede carecer de cierta información o parámetros que pueden ser proporcionados por el primer dispositivo. El segundo dispositivo puede haber sido configurado, p. ej., como se mencionó anteriormente, en la fabricación con una función para la inscripción, esta función puede comprender algunos pasos que el dispositivo debería realizar

durante la inscripción, pero puede carecer de información sobre ciertos parámetros o pasos necesarios.

[1332] Por lo tanto, la información de inscripción puede comprender información desconocida para el segundo dispositivo hasta que se implementa el proceso de inscripción. Dicha información puede pertenecer, p. ej., a la información que se origina en el primer dispositivo, tal como, p. ej., ubicación geográfica, ubicación organizativa, credenciales de punto de acceso y claves de cifrado (públicas) para la comunicación con el sistema de IoT y propiedad que pueden enviarse desde el primer dispositivo al segundo dispositivo y almacenarse por este último.

[1333] En algunas realizaciones, la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo comprende al menos una de las claves de cifrado públicas, sistemas de *software*, capacidades y funciones del entorno de IoT.

[1334] En algunas realizaciones, la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo es desconocida para el segundo dispositivo. Por ello, la inscripción no puede tener lugar a menos que la inicie el primer dispositivo.

[1335] El método 200 puede continuar con la transmisión 240 de información de configuración asociada con el segundo dispositivo al primer dispositivo (compárese con el paso 150 del método 100).

[1336] La información de configuración asociada con el segundo dispositivo transmitida al primer dispositivo puede ser, p. ej., una o más identidades físicas del segundo dispositivo y claves de cifrado públicas para la comunicación con el segundo dispositivo. La información de configuración asociada con el segundo dispositivo también puede comprender, en algunas realizaciones, un reconocimiento de la inscripción exitosa del segundo dispositivo.

[1337] En algunas realizaciones, el método 200 puede comprender además la determinación de que la inscripción es exitosa y posiblemente la

terminación 250 de la solicitud de inscripción, p. ej., mediante la eliminación de la información de inscripción del segundo dispositivo.

[1338] Con el fin de fortalecer aún más la seguridad del proceso de inscripción y obstaculizar la futura manipulación de los datos, el segundo dispositivo puede, p. ej., quemar un fusible o, de otra manera, eliminar la posibilidad de reconfigurarlo.

[1339] Además, la información asociada con el segundo dispositivo transmitida al primer dispositivo también puede comprender, en algunas realizaciones, un reconocimiento de la inscripción exitosa del segundo dispositivo.

[1340] La Figura 170 ilustra esquemáticamente la ejecución de los métodos 100 y 200 según algunas realizaciones.

[1341] Una representación de una función de inscripción 330 comprende al menos una aplicación de inscripción serializada 300 que a su vez comprende información de inscripción 301, 302 asociada con un primer dispositivo 310 y un segundo dispositivo 320 respectivamente. El primer y el segundo dispositivo pueden, p. ej., ser el primer y segundo dispositivo como se describe conjuntamente con cualquiera de las Figuras 169 y 170.

[1342] En este ejemplo, la representación de la función de inscripción es un código QR. Pero son posibles otras representaciones, tales como códigos de barras, secuencias numéricas, chips RF-ID, etc.

[1343] El primer dispositivo obtiene la representación de la función de inscripción, p. ej., mediante el escaneo con un escáner o cámara, u otros medios para detectar, adquirir o capturar la representación.

[1344] Entonces, el primer dispositivo 310 puede deserializar la aplicación de inscripción de modo que la información de inscripción 301 asociada con el primer dispositivo 310 se separe de la información de inscripción 302 asociada con el segundo dispositivo 320 (compárese con el paso 120 del método 100).

[1345] En algunas realizaciones, el primer dispositivo puede obtener información de configuración adicional perteneciente al segundo dispositivo desde una base de datos externa 311, y en algunas realizaciones más, la aplicación de inscripción puede solicitarle que obtenga dichos datos de configuración adicionales de dicha base de datos de almacenamiento externo 311.

[1346] El primer dispositivo mantiene la información de inscripción 301 asociada con el primer dispositivo y transmite la información de inscripción 302 asociada con el segundo dispositivo 320 al segundo dispositivo 320 (compárese con los pasos 140 y 210 de los métodos 100 y 200 respectivamente).

[1347] Cabe señalar que la función de inscripción puede comprender más de una aplicación serializada. En el caso de más de una aplicación serializada, el primer dispositivo y el segundo dispositivo pueden estar asociados con una aplicación cada uno, y el primer dispositivo puede deserializar las aplicaciones en una aplicación para el primer dispositivo y una aplicación para el segundo dispositivo.

[1348] En el caso de una sola aplicación serializada, el primer dispositivo puede deserializarla en información perteneciente al primer dispositivo y en información perteneciente al segundo dispositivo, es decir, dividir la aplicación en los dos dispositivos. En algunas realizaciones, en el caso de una aplicación serializada, la aplicación individual puede estar destinada únicamente al segundo dispositivo.

[1349] El segundo dispositivo, a su vez, puede comprender una serie de funciones que pueden estar asociadas con diferentes procesos. En este ejemplo, el segundo dispositivo puede comprender la función n.º 1 a n.º 4, 321, 322, 323 y 324 respectivamente. Estas funciones pueden haber sido configuradas/agregadas al segundo dispositivo durante la fabricación.

[1350] En este ejemplo particular, la representación de la información de la función de inscripción 330 corresponde a la función n.º 3, 223. Por lo tanto,

cuando el segundo dispositivo reciba la información deserializada, determinará que se iniciará la función n.º 3. En este caso, la función n.º 3 es el proceso de inscripción (compárese con el paso 220 del método 200).

[1351] La función n.º 3 puede comprender algunos pasos de inscripción, pero puede carecer de información que puede proporcionarse en la información de inscripción obtenida de la aplicación de inscripción deserializada y recibida por el segundo dispositivo 320; compárese, p. ej., con los métodos 100 y 200.

[1352] Entonces, el segundo dispositivo puede realizar la inscripción según la información de inscripción recibida. En algunas realizaciones, el primer dispositivo también puede usar la información de inscripción asociada con el primer dispositivo así como la información recibida de y asociada con el segundo dispositivo para configurarse a sí mismo.

[1353] Cabe señalar que las otras funciones del segundo dispositivo también pueden utilizarse para la inscripción. Por lo tanto, debe entenderse que la función de inscripción no comprende una función única (p. ej., la función n.º 3), sino que también pueden ser instrucciones que involucren una o más de las otras funciones en el segundo dispositivo. P. ej., la información de inscripción puede comprender, p. ej., instrucciones que indiquen al segundo dispositivo que ejecute la función n.º 1 con los parámetros a, b y que ejecute la función n.º 4 con los parámetros x, y, etc., siendo las funciones n.º 1 y n.º 4 funciones preexistentes.

[1354] Se debe tener en cuenta que los métodos 100 y 200 están estrechamente relacionados ya que son realizados respectivamente por un primer dispositivo y un segundo dispositivo para permitir la inscripción del segundo dispositivo. Por lo tanto, en algunas realizaciones, los métodos 100 y 200 pueden combinarse en un método 400 como se ilustra en la Figura 171.

[1355] En la Figura 171, un primer dispositivo (DEV 1) 401 y un segundo dispositivo (DEV 2) 402 pueden comunicarse entre sí. El primer dispositivo 401 y el segundo dispositivo 402 pueden ser, p. ej., el primer y segundo dispositivo como se describe respectivamente junto con cualquiera de las Figuras 1-3. Del

mismo modo, el método 400 puede ser una combinación de los métodos 100 y 200 como se describió anteriormente.

[1356] El método 400 comienza en 410 donde el primer dispositivo 401 obtiene una representación de una función de inscripción asociada con el segundo dispositivo 402 (compárese con el paso 110 del método 100). La representación puede ser, p. ej., uno o más de un código QR, código de barras o similar. La representación puede obtenerse, p. ej., mediante escaneo o lector NFC, o por otros medios adecuados.

[1357] La representación de la función de inscripción comprende o está asociada con al menos una aplicación de inscripción serializada, cuya aplicación de inscripción puede comprender información de inscripción asociada con el primer dispositivo y con el segundo dispositivo respectivamente. La serialización permite almacenar grandes cantidades de datos en la representación mediante un espacio limitado.

[1358] En algunas realizaciones, la representación puede almacenarse en el segundo dispositivo. El código de barras puede imprimirse, p. ej., en la carcasa del segundo dispositivo, o podría suministrarse, p. ej., en un trozo de papel y formar parte del empaque del segundo dispositivo. También puede ser posible en algunas realizaciones recuperar la representación de, p. ej., Internet.

[1359] Cuando el primer dispositivo ha obtenido la representación de la función de inscripción, el método continúa en 411 donde el primer dispositivo deserializa la aplicación de inscripción serializada para extraer la representación digital de la información así como separar la información de inscripción que está asociada con el primer dispositivo a partir de la información de inscripción que está asociada con el segundo dispositivo (compárese con el paso 120 del método 100).

[1360] En algunas realizaciones, la función de inscripción puede comprender una única aplicación de inscripción serializada que se deserializa en diferentes bloques de información pertenecientes al primer o segundo

dispositivo. En algunas realizaciones, la función de inscripción puede comprender más de una aplicación de inscripción serializada, que puede deserializarse en una o más aplicaciones destinadas al primer dispositivo y una o más aplicaciones destinadas al segundo dispositivo.

[1361] En algunas realizaciones, en el caso de una sola aplicación, esta última puede estar destinada en su totalidad a uno de los dispositivos.

[1362] Después de la obtención, el método 400 puede comprender el establecimiento de una conexión entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo para la comunicación (como se indica por la flecha discontinua entre el primer y el segundo dispositivo; compárese con el paso 130 del método 100). La conexión puede establecerse, p. ej., a través de una conexión Bluetooth, NFC, wifi o por cable y no requiere necesariamente acceso a Internet o red.

[1363] La conexión puede iniciarse como un paso separado del método, o puede realizarse o activarse automáticamente después de haber obtenido la representación. Por lo tanto, puede integrarse como una acción implícita en el siguiente paso 412 de transmisión de la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo extraída de la aplicación de inscripción deserializada al segundo dispositivo (compárese con el paso 140 del método 100).

[1364] La información de inscripción incluida en la aplicación de inscripción puede, hasta cierto punto, ser desconocida para los dispositivos antes de la implementación del proceso de inscripción. Por consiguiente, la representación de la función de inscripción puede comprender información de inscripción asociada con, p. ej., el segundo dispositivo, de la cual el segundo dispositivo no tiene conocimiento ya que no se ha configurado previamente con la información.

[1365] Dicha información de inscripción puede ser, p. ej., credenciales asociadas con, p. ej., el primer dispositivo o el sistema de IoT en el que se inscribirá el segundo dispositivo. Tal como, p. ej., las credenciales necesarias para comunicarse con otros dispositivos o los servicios del sistema de IoT, así

como la propiedad, la ubicación (p. ej., coordenadas GPS o dirección), un nombre legible por humanos del segundo dispositivo u otra información desconocida antes del momento de la inscripción Otra información de este tipo puede ser, p. ej., la ubicación geográfica del segundo dispositivo, la ubicación organizativa y la propiedad.

[1366] En el paso 420 del método 400, el segundo dispositivo recibe la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo comprendida en la aplicación de inscripción deserializada (compárese con el paso 210 del método 200). Esta recepción puede hacer que el segundo dispositivo inicie un proceso de inscripción (compárese, p. ej., con la Figura 169 y los pasos 220 a 230 del método 200).

[1367] Por lo tanto, en el paso 421 del método 400, el segundo dispositivo ejecuta el proceso de inscripción según la información de inscripción recibida (compárese con el paso 230 del método 200).

[1368] Durante el proceso de inscripción se pueden intercambiar datos adicionales entre el primer y el segundo dispositivo, dichos datos pueden ser, p. ej., claves de cifrado, credenciales, identidad de los dispositivos, etc.

[1369] El segundo dispositivo puede transmitir, p. ej., en el paso 422 información asociada con el segundo dispositivo al primer dispositivo (compárese con el paso 240 del método 200). Dicha información puede ser, p. ej., claves de cifrado públicas, versiones de *software*, capacidades y funciones asociadas con el segundo dispositivo, etc.

[1370] El segundo dispositivo también puede transmitir una indicación o reconocimiento al primer dispositivo de que la inscripción se ha realizado con éxito.

[1371] En el paso 413 del método 400, el primer dispositivo recibe del segundo dispositivo la información asociada con el segundo dispositivo (compárese con el paso 150 del método 100). El primer dispositivo puede, p. ej.,

almacenar esta información y retransmitirla al sistema de IoT para permitir la conexión del segundo dispositivo al sistema de IoT.

[1372] Luego, después de la inscripción exitosa, en los pasos 414 y 423, el primer y segundo dispositivo pueden terminar la aplicación de inscripción en su propio extremo respectivamente (compárese con los pasos 160 y 250 de los métodos 100 y 200 respectivamente). Para fortalecer aún más la seguridad una vez que se ha completado la inscripción, el segundo dispositivo puede, p. ej., quemar un fusible que impida una mayor manipulación de los datos o eliminar por completo la función de inscripción.

[1373] Se contempla que la información de inscripción puede comprender instrucciones para el segundo dispositivo sobre qué acciones deben realizarse cuando se completa la inscripción, o es posible que el segundo dispositivo ya esté preconfigurado con estos pasos.

[1374] También se contempla que el primer dispositivo pueda configurarse durante el proceso de inscripción del segundo dispositivo. Este puede ser el caso cuando el primer dispositivo es parte del sistema de IoT y debe mantener el conocimiento del segundo dispositivo. En tal caso, el primer dispositivo puede configurarse a sí mismo según la información de inscripción comprendida en la aplicación de inscripción serializada y la información recibida del segundo dispositivo durante la ejecución del proceso de inscripción. Este sería el caso cuando, por ejemplo, el primer dispositivo actúa como un punto de acceso que el segundo dispositivo utiliza para comunicarse con el sistema de IoT.

[1375] El primer y segundo dispositivos descritos en el presente documento son típicamente dispositivos físicos, sin embargo, en algunas realizaciones, el primer dispositivo comprende más recursos informáticos que el segundo. No obstante, debe tenerse en cuenta que tanto el primer como el segundo dispositivo pueden ser dispositivos IoT.

[1376] La Figura 172 ilustra una disposición de ejemplo 500 de un primer dispositivo para iniciar y asistir a un proceso de inscripción de un segundo dispositivo en un entorno de Internet de las cosas (IoT) según algunas realizaciones.

[1377] Hay que tener en cuenta que en esta divulgación, el término disposición debe interpretarse como un sistema de componentes agregados tal como, p. ej., una placa de circuito con componentes integrados o fijados de forma removible. El término disposición puede sustituirse, p. ej., por el término sistema.

[1378] El primer dispositivo puede ser, p. ej., el primer dispositivo como se describe conjuntamente con cualquiera de las Figuras 168 a 171. El segundo dispositivo puede ser, p. ej., el segundo dispositivo como se describe conjuntamente con cualquiera de las Figuras 168 a 171.

[1379] La disposición 500 puede configurarse además para llevar a cabo los métodos descritos junto con cualquiera de las Figuras 168-171.

[1380] La disposición 500 comprende una circuitería de control (CNTR; p. ej., un controlador) 520 y una circuitería de transceptor (RX/TX; p. ej., un transceptor) 510. En algunas realizaciones, la circuitería de control puede comprender además una circuitería de obtención (OB; módulo de obtención) 523, una circuitería de deserialización (DESER; p. ej., un deserializador) 522 y una circuitería de determinación (DET; p. ej., un determinador) 521.

[1381] La circuitería de transceptor 510 puede, en algunas realizaciones, ser un transmisor separado y un receptor separado.

[1382] La circuitería de control 520 puede configurarse para provocar la obtención, p. ej., provocando la circuitería de obtención 523, de una representación de una función de inscripción asociada con el segundo dispositivo, donde la función de inscripción está asociada con al menos una aplicación de inscripción serializada que comprende información de inscripción asociada con el primer y segundo dispositivo (comparar con el paso 110 del método 100).

[1383] La circuitería de obtención puede, p. ej., comprender una cámara, suministrada en un teléfono móvil. En algunas realizaciones, la circuitería de obtención 523 puede ser cualquier circuito/medio adecuado para obtener o capturar información comprendida en una imagen o en un chip o similar.

[1384] La circuitería de control 520 puede configurarse además para provocar la deserialización, p. ej., provocando la circuitería de deserialización 522 de la información de la función de inscripción de modo que la información de inscripción asociada con el primer dispositivo esté separada de la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo (comparar con el paso 120 del método 100).

[1385] La circuitería de control 520 puede configurarse además para provocar la conexión, p. ej., haciendo que la circuitería de transceptor envíe una señal al segundo dispositivo, de modo que se habilite la comunicación entre el primer y el segundo dispositivo (comparar con el paso 130 del método 100).

[1386] La circuitería de control 520 puede configurarse además para provocar la transmisión, p. ej., haciendo que el circuitería de transceptor 510 envíe una señal al segundo dispositivo, de la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo al segundo dispositivo para iniciar la ejecución por parte del segundo dispositivo del proceso de inscripción del segundo dispositivo mediante la configuración del segundo dispositivo en función de la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo (comparar con el paso 140 del método 100).

[1387] Durante y/o después de la ejecución del proceso de inscripción, la circuitería de control puede configurarse además para provocar, p. ej., haciendo que las circuiterías de transceptor reciban, la recepción del segundo dispositivo de información de configuración asociada con el segundo dispositivo (comparar con el paso 150 del método 100).

[1388] En algunas realizaciones, la circuitería de control 520 puede configurarse además para provocar la determinación, p. ej., haciendo que el

circuito de determinación 521, de que el proceso de inscripción se esté ejecutando o se haya completado, p. ej., según la recepción de la información del segundo dispositivo. La circuitería de control puede configurarse entonces para provocar el almacenamiento (p. ej., en una memoria que no se muestra en la Figura 5) de la información recibida del segundo dispositivo y la retransmisión de la información al sistema de IoT.

[1389] En algunas realizaciones, la circuitería de control 520 puede configurarse además para provocar la terminación de la aplicación de inscripción, p. ej., cuando se ha determinado que la inscripción del segundo dispositivo se ha completado y/o cuando el primer dispositivo ha realizado una configuración de sí mismo según la aplicación de inscripción deserializada que comprende la información de inscripción asociada con el primer dispositivo (comparar con el paso 160 del método 100).

[1390] La disposición 500 puede, p. ej., estar comprendida en un dispositivo de comunicación inalámbrica. Un dispositivo de comunicación inalámbrica puede ser, p. ej., un teléfono móvil, un teléfono inteligente, una plataforma de surf, una computadora portátil, una computadora de mano o similar. En algunas realizaciones, la disposición 500 también puede estar comprendida en un dispositivo de IoT tal como una cámara, un robot, un sensor, etc.

[1391] La Figura 173 ilustra una disposición 600 de un segundo dispositivo para ejecutar un proceso de inscripción en un entorno de Internet de las cosas (IoT) y asistido por un primer dispositivo.

[1392] El primer y segundo dispositivos pueden ser, p. ej., el primer y segundo dispositivos descritos respectivamente junto con cualquiera de las Figuras 168-172.

[1393] Cabe señalar que la disposición 600 puede además combinarse con o comprender características iguales o similares a las descritas junto con la Figura 172 y la disposición 500.

[1394] La disposición 600 puede configurarse, p. ej., para llevar a cabo los métodos descritos junto con cualquiera de las Figuras 168-171.

[1395] La disposición 600 puede comprender una circuitería de control (CNTR; p. ej., un controlador) 620 y una circuitería de transceptor (RX/TX; p. ej., un transceptor) 610. La circuitería de transceptor 610 puede, en algunas realizaciones, ser un transmisor separado y un receptor separado y/o comprender varias antenas.

[1396] En algunas realizaciones, la circuitería de control 620 puede comprender además una circuitería de funcionalidad (FUNC; p. ej., un módulo de funcionalidad) 622 y una circuitería de determinación (DET; p. ej., un determinante) 621.

[1397] En algunas realizaciones, la circuitería de control 620 puede estar configurada para provocar la recepción, p. ej., haciendo que la circuitería de transceptor 610, desde el primer dispositivo, proporcione información de registro asociada con el segundo dispositivo (comparar con el paso 210 del método 200).

[1398] En algunas realizaciones, la circuitería de control 620 puede configurarse además para provocar la determinación, p. ej., haciendo que el circuito de determinación 621, de que la información de inscripción sea para ejecutar el proceso de inscripción (comparar con el paso 220 del método 200).

[1399] En algunas realizaciones, la circuitería de control 620 puede configurarse además para provocar la ejecución, p. ej., provocando el circuito de funcionalidad 622, del proceso de inscripción configurando el segundo dispositivo según la información de inscripción (comparar con el paso 230 del método 200) y provocar la transmisión de la información de configuración asociada con el segundo dispositivo al primer dispositivo, p. ej., haciendo que el circuitería de transceptor 610 transmita al primer dispositivo (comparar con el paso 240 del método 200).

[1400] En algunas realizaciones, la circuitería de control 620 puede configurarse además para terminar la aplicación de inscripción cuando se haya

completado la inscripción/configuración (comparar con el paso 250 del método 200).

[1401] En algunas realizaciones, la disposición 600 puede estar comprendida en un dispositivo de Internet de las cosas (IoT). Tal dispositivo puede ser, p. ej., un robot, aparato de cocina, cámara, sensor, semáforo, máquina, etc.

[1402] Una ventaja de las realizaciones descritas en el presente documento es que una aplicación ejecutable está codificada, p. ej., como un código QR y se distribuye junto con un dispositivo de IoT. Al registrar el dispositivo de IoT, la aplicación se decodifica y se implementa como una aplicación distribuida en el dispositivo de IoT, así como en otro dispositivo, p. ej., un teléfono móvil utilizado para la inscripción del dispositivo de IoT. Por lo tanto, las realizaciones descritas en el presente documento no se basan en un servidor/repositorio central para el *software*.

[1403] Además, las realizaciones del presente documento permiten el registro, la configuración y la inscripción automatizados y directos de los dispositivos sin requerir acceso a, p. ej., Internet o cualquier otra conectividad que no sea un medio de comunicación con un dispositivo de registro (tales como, p. ej., Bluetooth, NFC, wifi, etc.).

[1404] Además, dado que el dispositivo que se va a inscribir no está preconfigurado con toda la información necesaria para la inscripción, se mejora la seguridad.

[1405] Las realizaciones descritas y sus equivalentes pueden realizarse en *software* o *hardware* o una combinación de estos. Pueden realizarse mediante circuitos de uso general asociados o integrados a un dispositivo de comunicación, tales como procesadores de señales digitales (DSP), unidades de procesamiento central (CPU), unidades de coprocesador, matrices de puertas programables en el campo (FPGA) u otro *hardware* programable, o mediante circuitos especializados tales como, por ejemplo, circuitos integrados específicos

de la aplicación (ASIC). Se contempla que todas estas formas estén dentro del alcance de esta divulgación.

[1406] Las realizaciones pueden aparecer dentro de un aparato electrónico (tal como un dispositivo de comunicación inalámbrica) que comprende circuitería/lógica o métodos de ejecución según cualquiera de las realizaciones. El aparato electrónico puede ser, p. ej., un equipo de radiocomunicación móvil portátil o de mano, un terminal de radio móvil, un teléfono móvil, una estación base, un controlador de estación base, un buscapersonas, un comunicador, un organizador electrónico, un teléfono inteligente, una computadora, una computadora portátil, una memoria USB, una tarjeta *plug-in*, una unidad integrada o una consola de juegos móvil.

[1407] Operación segura de dispositivos mediante módulos de código transferido

[1408] Para hacer uso de las funciones de un dispositivo, ya sea localmente o en la red, un usuario normalmente debe autenticarse con ese dispositivo. Una vez autenticado, el usuario puede utilizar el dispositivo para realizar una o más funciones.

[1409] La autenticación por lo general se realiza proporcionando ciertas credenciales reconocidas por el dispositivo. Por ejemplo, un usuario puede proporcionar una contraseña o una aplicación puede proporcionar una clave digital. Si alguien roba o falsifica la contraseña o la clave, la seguridad del dispositivo puede verse comprometida. Una vez que dicho dispositivo se ve comprometido, se pueden explotar varias de sus funciones. En general, la creciente sofisticación de los usuarios malintencionados ha generado una presión continua sobre los desarrolladores para que ideen nuevas y mejores técnicas para proteger los dispositivos.

[1410] Las realizaciones de la presente divulgación invocan funciones de dispositivos de manera diferente a los enfoques tradicionales. Por ejemplo, un

bloqueo inteligente ejecuta un entorno de tiempo de ejecución que admite una función de desbloqueo. Para acceder a la función de desbloqueo, otro dispositivo (p. ej., el teléfono inteligente de un usuario) obtiene autorización para transferir un módulo del código al bloqueo inteligente. El módulo del código se configura para ejecutarse dentro del entorno de tiempo de ejecución del bloqueo inteligente y exponer la función de desbloqueo al teléfono inteligente del usuario (p. ej., mediante comunicación inalámbrica). Una vez que la función de desbloqueo se expone al dispositivo del usuario, una aplicación que se ejecuta dentro del entorno de tiempo de ejecución en el dispositivo del usuario puede invocar la función de desbloqueo a través del módulo del código.

[1411] Según realizaciones particulares, tal sistema es resistente a la intrusión. Por ejemplo, incluso si el bloqueo inteligente analizado anteriormente se ve comprometida de alguna manera, sin el módulo del código, es posible que no haya forma de invocar fácilmente la función de desbloqueo. Adicional o alternativamente, es posible que los agentes de *software* malintencionado descargados en el dispositivo del usuario no puedan interceptar las credenciales intercambiadas entre el bloqueo inteligente y los entornos de tiempo de ejecución del dispositivo del usuario. Otras ventajas se analizarán a continuación, o resultarán evidentes para los expertos en las técnicas relevantes, junto con otras realizaciones en las que un primer dispositivo hace uso de un segundo dispositivo.

[1412] Las realizaciones de la presente divulgación incluyen un módulo del código que expone una función de un dispositivo a otro dispositivo. El módulo del código se transfiere de forma segura a través de la comunicación inalámbrica entre entornos de tiempo de ejecución para que la función se pueda invocar de forma remota. Esta transferencia puede ser activada por los dispositivos que se acercan entre sí. La autorización para transferir el módulo del código se maneja entre los entornos de tiempo de ejecución, de modo que la aplicación remota no necesita admitir ningún esquema de seguridad particular utilizado por los

dispositivos. La función puede ser inaccesible a través de la invocación remota sin el módulo del código, y el módulo del código puede eliminarse o devolverse después de que se haya invocado la función y/o una vez que los dispositivos ya no estén cerca, p. ej., para evitar que otros dispositivos invoquen la función sin autorización.

[1413] En algunas realizaciones, los dispositivos forman parte de un sistema distribuido de Internet de las cosas (IoT). Un ejemplo de tal sistema puede basarse en el entorno de aplicación Calvin. En tal sistema con base en Calvin, las aplicaciones pueden construirse a partir de bloques funcionales (a veces denominados actores) que se ejecutan en tiempos de ejecución que están vinculados a dispositivos. Según las realizaciones, los actores pueden moverse entre tiempos de ejecución según sea necesario para ejecutar su funcionalidad en dispositivos particulares.

[1414] La Figura 174 ilustra un entorno de red de ejemplo 100 que incluye un primer dispositivo 110 y un segundo dispositivo 115. El primer dispositivo 110 y el segundo dispositivo 115 están ambos conectados comunicativamente e intercambian señales entre sí (p. ej., de forma inalámbrica, a través de una conexión punto a punto). En algunas realizaciones, el primer dispositivo 110 y/o los segundos dispositivos 115 están conectados a una red 105 y configurados para comunicarse a través de la red 105 con un dispositivo remoto 145 y/o entre sí. En consecuencia, el primer y segundo dispositivo 110, 115 pueden admitir comunicaciones cableadas y/o inalámbricas a través de una o más tecnologías compatibles, p. ej., comunicación de campo cercano (NFC), wifi, BLUETOOTH, ZIGBEE, Long-Term Evolution (LTE), radio nueva (NR), Ethernet y similares.

[1415] El primero y segundo dispositivo 110, 115 ejecutan el primer y segundo entornos de tiempo de ejecución 120, 125, respectivamente. El primer entorno de tiempo de ejecución 120 del primer dispositivo 110 está configurado para transferir un módulo del código 140 al segundo entorno de tiempo de ejecución 125 del segundo dispositivo 115, p. ej., controlando un transmisor

inalámbrico del primer dispositivo 110. Correspondientemente, el segundo dispositivo 115 está configurado para transferir el módulo del código 140 desde el primer entorno de tiempo de ejecución 120 al segundo entorno de tiempo de ejecución 125, p. ej., controlando activamente un receptor inalámbrico del segundo dispositivo 115, o permitiendo pasivamente que el primer dispositivo 110 escriba una memoria del segundo dispositivo 115 (p. ej., usando un circuito que convierte transmisiones de RF desde el primer dispositivo 110 en instrucciones de escritura en memoria; tal circuito es alimentado, en algunas realizaciones, por la energía de RF de esas transmisiones).

[1416] El módulo del código 140 está configurado para ejecutarse dentro del segundo entorno de tiempo de ejecución 125 y exponer una función del segundo dispositivo 115, admitido por el segundo entorno de tiempo de ejecución 125, al primer dispositivo 110. Como se analizará más adelante, una aplicación 130 que se ejecuta dentro del primer entorno de tiempo de ejecución 120 del primer dispositivo 110 invoca la función del segundo dispositivo 115 a través del módulo del código transferido 140 y el segundo entorno de tiempo de ejecución 125.

[1417] Los ejemplos típicos del primer dispositivo 110 incluyen (a mero título enunciativo) un dispositivo móvil, tal como un teléfono inteligente, un equipo de usuario, una computadora portátil y/o una computadora corporal. Los ejemplos típicos del segundo dispositivo 115 incluyen (a mero título enunciativo) una computadora y/o un dispositivo inteligente. Otros ejemplos del primer y segundo dispositivo 110, 115 incluyen otros tipos de dispositivos informáticos.

[1418] La red 105 incluye uno o más dispositivos físicos y/o medios de señalización capaces de intercambiar señales de comunicación con el primer y/o segundo dispositivo 110, 115. Los ejemplos de dicha red 105 incluyen (a mero título enunciativo) uno o más de los siguientes: Internet (o una parte de este); una o más redes de área local; una o más redes inalámbricas; una o más redes celulares; una o más redes con base en protocolo de Internet; una o más redes

Ethernet; una o más redes ópticas; y/o una o más redes de circuitos conmutados. Tal red 105 puede comprender cualquier número de dispositivos de red tales como enrutadores, puertas de enlace, conmutadores, concentradores, cortafuegos y similares (no mostrados) que admiten el intercambio de tales señales de comunicación.

[1419] El dispositivo remoto 145 puede ser cualquier dispositivo informático acoplado comunicativamente al primer y/o segundo dispositivo 110, 115 a través de la red 105. El dispositivo remoto 145 puede, por ejemplo, actuar como un primer dispositivo 110 excepto en una capacidad diferente. Por ejemplo, el dispositivo remoto 145 puede ser una estación de trabajo de administrador que tiene acceso seguro al segundo dispositivo 115 a través de la red 105, p. ej., a través de una conexión de red físicamente segura o cifrada al segundo dispositivo 115. En consecuencia, un usuario del dispositivo remoto 145 puede invocar las mismas y/o diferentes funciones del segundo dispositivo 115 transfiriendo también un módulo del código 140 al segundo dispositivo e invocando funciones particulares, p. ej., para asistir a un usuario del primer dispositivo 110. Un ejemplo típico del dispositivo remoto 145 incluye (a mero título enunciativo) una estación de trabajo, computadora personal y/o computadora portátil.

[1420] La Figura 175 ilustra un flujo de llamadas de ejemplo entre un dispositivo móvil 210 y un bloqueo inteligente 215, según los aspectos analizados anteriormente. En el ejemplo de la Figura 175, el dispositivo móvil 210 es un ejemplo de un primer dispositivo 110 y el bloqueo inteligente 215 es un ejemplo de un segundo dispositivo 115. Aunque la Figura 175 ilustra un ejemplo particular en el que interactúan un dispositivo móvil 210 y un bloqueo inteligente 215, las realizaciones alternativas pueden incluir otros dispositivos que actúan como el primer y/o segundo dispositivo 110, 115 para acceder de forma segura a otras funciones distintas de las descritas a continuación.

[1421] Según el análisis general de la Figura 174, el dispositivo móvil 210 ilustrado en la Figura 175 ejecuta un entorno de tiempo de ejecución móvil 220. El *software* de control de bloqueo 230 se ejecuta dentro del entorno de tiempo de ejecución móvil 220, p. ej., como un servicio o en respuesta al lanzamiento por parte de un usuario del dispositivo móvil 210. El bloqueo inteligente 215 ejecuta un tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225. El tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 admite operaciones de control del bloqueo, p. ej., bloquear y desbloquear el bloqueo inteligente 215. Sin embargo, el tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 no permite la invocación remota de estas operaciones sin el módulo del código 140, que en este ejemplo es proporcionado por el dispositivo móvil 210.

[1422] Según el ejemplo ilustrado en la Figura 175, cada uno de los entornos de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente y móvil 220, 225 se detectan entre sí, p. ej., detectando energía de radiofrecuencia (RF) producida por el otro dispositivo (paso 250). En algunas realizaciones, uno o ambos dispositivos 210, 215 pueden detectarse entre sí usando tecnología de detección de proximidad adicional o alternativa, p. ej., detección óptica y/o auditiva mediante sensores y/o receptores correspondientes.

[1423] En respuesta a detectarse el uno al otro, los entornos de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente y móvil 220, 225 participan en un procedimiento de autenticación (paso 252). Este procedimiento de autenticación puede incluir el intercambio de una o más credenciales mediante las cuales el entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 puede determinar si el dispositivo móvil 210 puede utilizar ciertas funciones protegidas del bloqueo inteligente 215 (p. ej., la función de desbloqueo). En particular, mediante la realización de este procedimiento de autenticación se puede establecer una relación de confianza entre los entornos de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente y móvil 220, 225.

[1424] Después de una autenticación satisfactoria, el entorno de tiempo de ejecución móvil 220 transfiere un módulo del código 140 al entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 (paso 254). El módulo del código 140 está configurado para ejecutarse dentro del entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 y exponer la función de desbloqueo del bloqueo inteligente 215 al dispositivo móvil 210.

[1425] El *software* de control de bloqueo 230 invoca entonces la función de desbloqueo del bloqueo inteligente 215 a través del módulo del código transferido 140, p. ej., usando una llamada de función apropiada a una Interfaz de programación de aplicaciones (API) del módulo del código 140, como se representa en la Figura 175 mediante la llamada de función “module.unlock()” (paso 256). En particular, el *software* de control de bloqueo 230 es capaz de aprovechar la relación de confianza establecida entre los entornos de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente y móvil 220, 225 para invocar la función de desbloqueo, requiriendo las credenciales en función de las que se estableció la relación de confianza. Esto puede resultar ventajoso, p. ej., para evitar proporcionar credenciales confidenciales para determinadas aplicaciones. En particular, las realizaciones pueden permitir a un usuario descargar y utilizar libremente aplicaciones de terceros y/o no confiables para invocar funciones sin preocuparse de que las aplicaciones puedan obtener las credenciales de cualquiera de los dispositivos 210, 215.

[1426] El módulo del código 140 se ejecuta dentro del entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 para manejar la llamada de función “module.unlock()” invocando correspondientemente una API admitida por el entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente, representado en la Figura 175 por la llamada de función “runtime.unlock()” (paso 258). Por lo tanto, según la realización ilustrada en la Figura 175, el módulo del código 140 puede, entre otras cosas, servir como una capa de traducción entre el *software* de control de bloqueo 230 en el dispositivo móvil 210 y el entorno de tiempo de ejecución de

bloqueo inteligente 225 que controla la función de desbloqueo del bloqueo inteligente 215. En respuesta a la llamada de función de desbloqueo desde el módulo del código 140, el entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 responde controlando el bloqueo inteligente 215 en consecuencia, es decir, desbloqueando el bloqueo inteligente 215 (paso 260).

[1427] Después de que se ha realizado el desbloqueo, el entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 detecta que se cumplieron uno o más criterios para eliminar el módulo del código 140 (paso 266). En este ejemplo particular, no se permite que el módulo del código 140 permanezca cargado en el bloqueo inteligente 215 indefinidamente. Por consiguiente, el entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente tiene uno o más criterios para determinar cuándo debe eliminarse el módulo del código 140. Los criterios para eliminar el módulo del código 140 pueden incluir si el dispositivo móvil 210 puede detectarse o no y/o si ha pasado o no un periodo de tiempo umbral desde que se transfirió el módulo del código 140.

[1428] Por ejemplo, mientras el módulo del código 140 existe en el bloqueo inteligente 215, el bloqueo inteligente 215 puede ser vulnerable a algún otro dispositivo (no mostrado) que invoca funciones protegidas del bloqueo inteligente 215 a través del módulo del código 140, p. ej., sin autenticarse y/o falsificando las características del dispositivo móvil 210. En consecuencia, después de que ha pasado un periodo de tiempo umbral desde que se transfirió el módulo del código 140 y/o si el dispositivo móvil 210 ya no está cerca del bloqueo inteligente 215, el entorno de tiempo de ejecución del bloqueo inteligente 225 puede determinar que el módulo del código 140 debe eliminarse. En particular, el entorno de tiempo de ejecución del bloqueo inteligente 225 puede determinar que el dispositivo móvil 210 ha abandonado el área alrededor del bloqueo inteligente 215 al no detectar cierta energía de RF del dispositivo móvil 210.

[1429] Al haber detectado que se cumplieron ciertos criterios de eliminación de módulo, el entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 elimina el módulo del código 140 (paso 268). En algunas realizaciones, el entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 también transfiere el módulo del código 140 de vuelta al dispositivo móvil 210 (p. ej., al entorno de tiempo de ejecución móvil 220). Por lo tanto, en algunas realizaciones, el módulo del código 140 puede actuar como un *token* que limita cómo se usa el *software* de control de bloqueo 230. Es decir, mientras el módulo del código 140 se transfiere al bloqueo inteligente 215, se puede evitar que el *software* de control de bloqueo 230 envíe un comando module.unlock() a un dispositivo diferente, por ejemplo.

[1430] En algunas realizaciones, el entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 admite otras funciones que no requieren el módulo del código 140. Tales funciones pueden ser, por ejemplo, funciones públicas y/o de solo lectura que pueden invocarse sin necesidad de autorización. Por consiguiente, en algunas realizaciones, el entorno de tiempo de ejecución móvil 220 y/o el *software* de control de bloqueo 230 pueden invocar funciones del bloqueo inteligente 215 comunicándose directamente con el entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225. En el ejemplo de la Figura 175, esto se ilustra mediante el entorno de tiempo de ejecución móvil 220 y el *software* de control de bloqueo 230, invocando cada uno una llamada de función “runtime.info()” del entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 (pasos 262, 264). Tal llamada de función puede, por ejemplo, devolver información de estado del dispositivo sobre el bloqueo inteligente 215. Tal información puede incluir la identidad del dispositivo, la identidad del propietario, la información de contacto de un administrador, si la cerradura está bloqueada o desbloqueada y/u otra información relacionada con el bloqueo inteligente 215.

[1431] Por ejemplo, un usuario del dispositivo móvil 210 puede tener dificultades al intentar desbloquear el bloqueo inteligente 215. En tal escenario,

el usuario puede usar el *software* de control de bloqueo 230 para obtener información sobre cómo comunicarse con un administrador que puede usar un dispositivo remoto 145 para transferir un módulo del código 140 al entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 y desbloquear el bloqueo inteligente 215 ellos mismos, o permitir que lo haga el usuario del dispositivo móvil 210 con su *software* de control de bloqueo 230. Un ejemplo de tal administrador puede ser el gerente de un hotel, que puede ayudar a los huéspedes que tienen problemas para usar el sistema a ingresar a sus habitaciones de forma remota, aunque existen innumerables realizaciones que pueden incluir otros dispositivos, contextos y/o roles de usuario.

[1432] Cabe señalar además que, aunque las acciones realizadas en los pasos 254, 256, 258, 262 y 264 y 268 se ilustran como acciones unidireccionales, uno o más de estos pasos pueden desencadenar una respuesta correspondiente en la que se devuelve un valor, p. ej., para indicar un resultado de la acción ilustrada. Por ejemplo, el entorno de tiempo de ejecución de bloqueo inteligente 225 puede responder a la llamada de función runtime.unlock() con un valor igual a cero o distinto de cero según si el bloqueo inteligente se ha desbloqueado con éxito o no.

[1433] Según lo anterior, las realizaciones de la presente divulgación incluyen un método 300 de uso de un segundo dispositivo 115 implementado por un primer dispositivo 110, tal como el método 300 ilustrado en la Figura 176. El método 300 comprende usar un primer entorno de tiempo de ejecución 120 que se ejecuta en el primer dispositivo 110 para transferir un módulo del código 140 a un segundo entorno de tiempo de ejecución 125 que se ejecuta en el segundo dispositivo 115 (bloque 310). El módulo del código 140 está configurado para ejecutarse dentro del segundo entorno de tiempo de ejecución 125 y exponer una función del segundo dispositivo 115, admitido por el segundo entorno de tiempo de ejecución 125, al primer dispositivo 110. El método 300 comprende además ejecutar una aplicación 130 dentro del primer entorno de tiempo de

ejecución 120 (bloque 320). La aplicación invoca de forma remota la función del segundo dispositivo 115 a través del módulo del código transferido 140 y el segundo entorno de tiempo de ejecución 125.

[1434] Otras realizaciones incluyen un método 400 para proporcionar un primer dispositivo 110 con acceso a una función del segundo dispositivo 115 implementado por el segundo dispositivo 115, como se muestra en la Figura 177. El método 400 comprende transferir un módulo del código 140, desde un primer entorno de tiempo de ejecución 120 que se ejecuta en el primer dispositivo 110, a un segundo entorno de tiempo de ejecución 125 que se ejecuta en el segundo dispositivo 115 para exponer una función del segundo dispositivo 115 admitida por el segundo entorno de tiempo de ejecución 125 al primer dispositivo 110 (bloque 410). El método 400 comprende además usar el segundo entorno de tiempo de ejecución 125 para controlar el rendimiento de la función del segundo dispositivo 115 en respuesta a una invocación remota de la función recibida a través del módulo del código 140 desde una aplicación 130 que se ejecuta dentro del primer entorno de tiempo de ejecución 120 (bloque 420).

[1435] La Figura 178 ilustra *hardware* 500 adecuado para implementar y/o admitir el primer y/o segundo dispositivo 110, 115, de conformidad con una o más realizaciones. Como se muestra, el *hardware* 500 incluye circuitería de procesamiento 510 y circuitería de radio 520. La circuitería de radio 520 puede configurarse para transmitir y/o recibir a través de una o más antenas (no mostradas) que son parte del *hardware* 500 o están acopladas a este. La circuitería de procesamiento 510 está configurada para llevar a cabo el procesamiento descrito anteriormente, p. ej., en las Figuras 175 y/o 176, tal como al ejecutar instrucciones almacenadas en la memoria 530. Como se analizará a continuación, la circuitería de procesamiento 510 a este respecto puede comprender una o más unidades físicas. Adicional o alternativamente, las instrucciones almacenadas en la memoria 530 pueden estar comprendidas en uno o más módulos de *software*.

[1436] La Figura 179 a este respecto ilustra detalles adicionales de un primer dispositivo 110 de conformidad con realizaciones particulares. Específicamente, el primer dispositivo 110 puede incluir una unidad de transferencia o un módulo 605 y una unidad de ejecución o un módulo 610. La unidad de transferencia o el módulo 605 puede estar configurado para usar un primer entorno de tiempo de ejecución 120 que se ejecuta en el primer dispositivo 110 para transferir un módulo del código 140 a un segundo entorno de tiempo de ejecución 125 que se ejecuta en el segundo dispositivo 115. El módulo del código 140 está configurado para ejecutarse dentro del segundo entorno de tiempo de ejecución 125 y exponer una función del segundo dispositivo 115, admitido por el segundo entorno de tiempo de ejecución 125, al primer dispositivo 110.

[1437] La Figura 180 ilustra detalles adicionales de un segundo dispositivo 115 de conformidad con realizaciones particulares. Específicamente, el segundo dispositivo 115 puede incluir una unidad de transferencia o un módulo 705 y una unidad de control o un módulo 710. La unidad o el módulo de transferencia puede estar configurado para transferir un módulo del código 140, desde un primer entorno de tiempo de ejecución 120 que se ejecuta en el primer dispositivo 110, a un segundo entorno de tiempo de ejecución 125 que se ejecuta en el segundo dispositivo 115 para exponer una función del segundo dispositivo 115 admitida por el segundo entorno de tiempo de ejecución 125 al primer dispositivo 110. La unidad de control o el módulo 710 puede estar configurado para usar el segundo entorno de tiempo de ejecución 125 para controlar el rendimiento de la función del segundo dispositivo 115 en respuesta a una invocación remota de la función recibida a través del módulo del código 140 desde una aplicación 130 que se ejecuta dentro del primer entorno de tiempo de ejecución 120.

[1438] Combinación de inscripción de dispositivos y operación segura de dispositivos mediante módulos de código transferido

[1439] Una vez más, como se indicó anteriormente, las diversas técnicas descritas en el presente documento pueden combinarse entre sí, para proporcionar ventajas con fiabilidad, seguridad, etc. Por ejemplo, una combinación particular que es ventajosa es la combinación de las técnicas descritas anteriormente para el registro de dispositivos en un entorno de IoT y un funcionamiento seguro del dispositivo mediante módulos transferidos.

[1440] Así, por ejemplo, el método ilustrado en la Figura 168 se puede combinar con el método que se muestra en la Figura 176, para obtener un método de un primer dispositivo para asistir en la inscripción de un segundo dispositivo en un entorno de Internet de las cosas (IoT) y usar el segundo dispositivo. Este método de ejemplo comprende, como se muestra en los bloques 110, 120 y 140 de la Figura 168, los pasos de obtener una representación de una función de inscripción asociada con el segundo dispositivo, donde la función de inscripción está asociada con al menos una aplicación de inscripción serializada que comprende información de inscripción asociada con el primer y segundo dispositivo, deserializar la aplicación de inscripción de modo que la información de inscripción asociada con el primer dispositivo se separe de la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo, y transmitir la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo al segundo dispositivo para iniciar la ejecución por parte del segundo dispositivo del proceso de inscripción del segundo dispositivo configurando el segundo dispositivo según la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo. El método comprende además, como se muestra en el bloque 150 de la Figura 168, recibir desde el segundo dispositivo información de configuración asociada con el segundo dispositivo.

[1441] Este ejemplo comprende además, como se muestra en el bloque 310 de la Figura 176, el paso de usar un primer entorno de tiempo de ejecución

que se ejecuta en el primer dispositivo para transferir un módulo del código a un segundo entorno de tiempo de ejecución que se ejecuta en el segundo dispositivo, donde el módulo del código está configurado para ejecutarse dentro del segundo entorno de tiempo de ejecución y exponer una función del segundo dispositivo, admitido por el segundo entorno de tiempo de ejecución, al primer dispositivo. Finalmente, este método de ejemplo comprende el paso de ejecutar una aplicación dentro del primer entorno de tiempo de ejecución, la aplicación invocando de forma remota la función del segundo dispositivo a través del módulo del código transferido y el segundo entorno de tiempo de ejecución.

[1442] El segundo dispositivo puede ser un dispositivo de Internet de las cosas (IoT), en algunas realizaciones, y el primer dispositivo puede ser un dispositivo de comunicación inalámbrica. La representación de la función de inscripción puede ser una o más de un código QR, un código de barras y un chip RF-ID, por ejemplo. La información de inscripción asociada con el segundo dispositivo puede comprender al menos una de las claves de cifrado públicas, sistemas de *software*, capacidades, pasos pertenecientes al proceso de inscripción y funciones del entorno de IoT, en algunas realizaciones. La información de inscripción puede comprender información asociada con una o más de los siguientes: ubicación geográfica, ubicación organizativa, propiedad, claves de cifrado, parámetros de comunicación, claves de comunicación e identidad, en algunas realizaciones.

[1443] En algunas realizaciones, la función de inscripción comprende al menos dos aplicaciones de inscripción serializadas, y el método comprende además deserializar al menos dos aplicaciones de inscripción serializadas en al menos una aplicación de inscripción que comprende información de inscripción asociada con el primer dispositivo y al menos una aplicación de inscripción que comprende información de inscripción asociada con el segundo dispositivo, y transmitir al menos una aplicación de inscripción asociada con el segundo dispositivo al segundo dispositivo.

[1444] En algunas realizaciones, el método comprende además determinar que el segundo dispositivo se ha registrado satisfactoriamente y finalizar al menos una aplicación de registro en el primer dispositivo.

[1445] En algunas realizaciones, el método comprende además autenticar el primer entorno de tiempo de ejecución con el segundo entorno de tiempo de ejecución para obtener autorización para transferir el módulo del código al segundo entorno de tiempo de ejecución para su ejecución dentro del segundo entorno de tiempo de ejecución y/o comunicarse directamente con el segundo entorno de tiempo de ejecución para invocar una función diferente del segundo dispositivo.

[1446] En algunas realizaciones, la transferencia del módulo del código al segundo entorno de tiempo de ejecución se realiza a través de una conexión inalámbrica punto a punto entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo. El segundo dispositivo puede ser un bloqueo electrónico, por ejemplo, donde la función admitida por el segundo entorno de tiempo de ejecución bloquea o desbloquea el bloqueo electrónico.

[1447] De manera similar, el método que se muestra en la Figura 169 se puede combinar con el método que se muestra en la Figura 177, para obtener un método de un segundo dispositivo para ejecutar un proceso de inscripción en un entorno de Internet de las cosas (IoT) asistido por un primer dispositivo y que proporciona el dispositivo con acceso a una función del segundo dispositivo. Este método de ejemplo incluye, como se muestra en los bloques 210, 230 y 240 de la Figura 169, los pasos de recibir, desde el primer dispositivo, información de inscripción asociada con el segundo dispositivo, ejecutando el proceso de inscripción configurando el segundo dispositivo según la información de inscripción, y transmitiendo la información de configuración asociada con el segundo dispositivo al primer dispositivo. El método incluye además, como se muestra en los bloques 410 y 420 de la Figura 177, los pasos de recibir un módulo del código de un primer entorno de tiempo de ejecución que se ejecuta

en el primer dispositivo, a un segundo entorno de tiempo de ejecución que se ejecuta en el segundo dispositivo, para exponer una función del segundo dispositivo admitido por el segundo entorno de tiempo de ejecución al primer dispositivo, y usar el segundo entorno de tiempo de ejecución para controlar el desempeño de la función del segundo dispositivo en respuesta a una invocación remota de la función recibida a través del módulo del código desde una aplicación que se ejecuta dentro del primer entorno de tiempo de ejecución.

[1448] En algunas realizaciones, el método comprende además determinar que la inscripción es exitosa y eliminar la información de inscripción del segundo dispositivo. En algunas realizaciones, la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo comprende al menos una de las claves de cifrado públicas, sistemas de *software*, capacidades, pasos pertenecientes al proceso de inscripción y funciones del entorno de IoT.

[1449] En algunas realizaciones, el método comprende además autenticar el primer entorno de tiempo de ejecución con el segundo entorno de tiempo de ejecución para autorizar la transferencia del módulo del código al segundo entorno de tiempo de ejecución para su ejecución dentro del segundo entorno de tiempo de ejecución. En algunas realizaciones, el método comprende además usar el segundo entorno de tiempo de ejecución para controlar el rendimiento de una función diferente del segundo dispositivo en respuesta a una comunicación directa desde el primer dispositivo al segundo entorno de tiempo de ejecución.

[1450] La transferencia del módulo del código del primer entorno de tiempo de ejecución se puede realizar a través de una conexión inalámbrica punto a punto entre el primer dispositivo y el segundo dispositivo, en algunas realizaciones. El segundo dispositivo puede ser un bloqueo electrónico, por ejemplo, donde la función admitida por el primer entorno de tiempo de ejecución bloquea o desbloquea el bloqueo electrónico.

[1451] Consultas de bases de datos federadas de conformidad con las restricciones de privacidad jurisdiccionales

[1452] A las empresas y organizaciones de muchos sectores comerciales, tales como la atención médica, el comercio electrónico, el gobierno y el comercio minorista, se les confía información identificable (p. ej., información personal, información privada, información confidencial o similares) que hace que la preservación de la privacidad de esta información sea una prioridad para estas entidades. Generalmente, estas entidades especifican y definen cómo se preservará la privacidad de esta información.

[1453] Los autores de un informe oficial titulado “Hippocratic Database: A Privacy-Aware Database” propuso una arquitectura de base de datos que utiliza metadatos que consisten en políticas de privacidad y autorizaciones de privacidad almacenadas en una tabla de políticas de privacidad y una tabla de autorización de privacidad respectivas. N. Ghani, Z. Sidek, Hippocratic Database: A Privacy-Aware Database, Int’l J. Computer Info. Engineering, vol. 2, No. 6 (2008). Los autores describen un marco en el que la base de datos realiza una verificación de privacidad durante el procesamiento de consultas. Por ejemplo, la base de datos verifica si el usuario que emitió la consulta está autorizado para acceder a la base de datos. También verifica si la consulta accedió solo a los atributos que se enumeran explícitamente en la tabla de autorización de privacidad. Además, la base de datos solo permite el acceso a la información en la base de datos cuyo atributo de propósito incluye el propósito de la consulta. En consecuencia, solo los usuarios autorizados para un fin previsto pueden acceder a la información de la base de datos. Sin embargo, esta base de datos consciente de la privacidad no considera las restricciones de privacidad de la jurisdicción en la que se encuentra. Además, esta base de datos no protege la información identificable que se puede inferir de las respuestas a una consulta de varias bases de datos.

[1454] Un sistema de base de datos federada es un sistema de gestión de metadatos que mapea las bases de datos que lo conforman en una sola base de datos federada. Como tal, una base de datos federada es una base de datos virtual compuesta por las bases de datos que representa. Se percibe que el sistema de base de datos federada es un sistema de base de datos enviando una consulta a cada base de datos que la conforma y luego combinando las respuestas a la consulta recibidas de cada base de datos que la conforma. Además, cada base de datos puede ser una base de datos autónoma con la capacidad de comunicarse de forma independiente con otras bases de datos, ejecutar y controlar sus operaciones o asociarse (o separarse) con otras bases de datos. Sin embargo, los sistemas actuales de bases de datos federadas no consideran las restricciones de privacidad de las jurisdicciones que representan y no protegen la información identificable que se puede inferir de las respuestas a una consulta de varias bases de datos en la misma jurisdicción o en una jurisdicción diferente.

[1455] Como se analizó anteriormente, las bases de datos actuales conscientes de la privacidad y los sistemas de bases de datos federadas no consideran las restricciones de privacidad de las jurisdicciones que representan. Sin embargo, los usuarios de bases de datos normalmente desean combinar respuestas a una consulta de bases de datos en la misma o en diferentes jurisdicciones. Al hacerlo, la información identificable contenida o inferida por las respuestas puede no estar protegida de conformidad con las leyes de privacidad de la jurisdicción de cada base de datos a la que se accedió. En un ejemplo, una consulta relacionada con el recuento de la cantidad de personas que tienen un ingreso en un intervalo específico y un cierto nivel de educación de dos bases de datos diferentes requiere combinar las respuestas a la consulta según la información de identificación personal (p. ej., nombre, número de seguridad social, dirección o similar), que puede violar las restricciones de privacidad en la jurisdicción de cada base de datos. En otro ejemplo, una consulta relacionada

con una lista de personas (p. ej., identificador de usuario) en una primera base de datos y un registro de páginas web visitadas indexadas por visitantes (p. ej., identificador de usuario) no se pueden combinar en violación de las restricciones de privacidad de la jurisdicción de cada base de datos (p. ej., un ciudadano de la EU cuyos hábitos de navegación se almacenan en una base de datos de EE. UU.). En otro ejemplo, una consulta relacionada con vincular la expectativa de vida con los hábitos alimenticios puede combinar una primera respuesta de una base de datos con recibos de compras de comestibles de cadenas de tiendas de comestibles, una segunda respuesta de una base de datos con recibos de restaurantes de compañías de tarjetas de crédito y una tercera respuesta de una base de datos con tiempo de vida de las oficinas de impuestos del gobierno según la información identificable en las respuestas en violación de las restricciones de privacidad de la jurisdicción de cada base de datos.

[1456] Por consiguiente, existe la necesidad de mejorar las técnicas para consultar una base de datos federada de conformidad con las restricciones de privacidad jurisdiccionales. Además, otras características deseables de la presente divulgación resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada y las realizaciones, tomadas junto con las figuras adjuntas y el campo de la técnica y los antecedentes mencionados anteriormente

[1457] Esta divulgación incluye la descripción de sistemas y métodos para consultar una base de datos federada de conformidad con las restricciones de privacidad jurisdiccionales. Además, esta divulgación describe técnicas novedosas para componer o combinar respuestas a una consulta recibida de bases de datos ubicadas en la misma o en diferentes jurisdicciones, respetando la integridad de los datos personales almacenados en estas bases de datos. Por ejemplo, la Figura 181 es un diagrama de flujo de una realización de un sistema 100 para consultar una base de datos federada de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. En la Figura 181, el sistema 100 incluye un nodo de cliente 101 (p. ej., un teléfono inteligente), un

nodo de red 121 (p. ej., un servidor de computadora) que tiene una base de datos federada y un nodo de red 141 (p. ej., un servidor de computadora) que tiene una base de datos autónoma (p. ej., registros personales en el Servicio de Impuestos Internos). La base de datos federada representa directa o indirectamente, a través de una base de datos subfederada, una o más bases de datos autónomas que se encuentran en una determinada jurisdicción (p. ej., Estados Unidos).

[1458] En la Figura 181, en una realización, el dispositivo de cliente 101 envía una consulta (p. ej., identificando el número de personas que tienen un cierto margen de ingresos) que está relacionada con información identificable almacenada en la base de datos autónoma o que se puede determinar a partir de una combinación de respuestas a la consulta 161 recibida de la base de datos autónoma y otra base de datos autónoma que se encuentra en la misma jurisdicción, como se representa en la referencia 161. El nodo de red federada 221 recibe la consulta y la adapta para la base de datos autónoma según una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción de esa base de datos autónoma, como se representa en el bloque 123. El nodo de red federada 121 envía entonces la consulta adaptada al nodo de red autónoma 141, como se representa en la referencia 163. El nodo de red autónoma 141 recibe la consulta adaptada y obtiene una respuesta 167 a la consulta adaptada de la base de datos autónoma, como se representa en el bloque 143. El nodo de red autónoma 141 envía entonces la respuesta al nodo de red federada 221, como se representa en la referencia 165. El nodo de red federada 121 compone una respuesta adaptada a la consulta según la respuesta recibida, como se representa en el bloque 127. Además, el nodo de red federada 121 envía la respuesta adaptada al nodo de cliente 101, como se representa en la referencia 171.

[1459] El nodo de cliente 101 puede ser un equipo de usuario, una estación móvil (MS), un terminal, un teléfono celular, un asistente digital personal

(PDA), un teléfono inteligente, un teléfono inalámbrico, un organizador, una computadora de mano, una computadora de escritorio, una computadora portátil, un decodificador, un televisor, un electrodoméstico, una consola de juego, un dispositivo médico, un dispositivo de visualización, un dispositivo de medición o similar. Cada nodo de red 121, 141 puede ser un nodo implementado por computadora que es un punto de redistribución de comunicación o un punto final de comunicación en una red tal como un servidor de computadora, una estación base, un nodo de red central, una computadora de mano, una computadora de escritorio, una computadora portátil, un decodificador, un televisor, un electrodoméstico, un dispositivo médico o alguna otra terminología similar.

[1460] La información identificable puede ser cualquier información que esté asociada con una persona, lugar o cosa en particular. Además, la información identificable puede incluir información personal asociada con una persona, empresa, organización, entidad gubernamental o similar. La información identificable también puede incluir información secreta o confidencial. La información confidencial incluye información que se comparte con la expectativa de que no se divulgue a terceros no autorizados. Una jurisdicción puede representar la autoridad otorgada a un organismo en particular para administrar ciertas restricciones de privacidad dentro de un campo definido de responsabilidad (p. ej., la ley federal de los EE. UU., la ley fiscal de Michigan, el Servicio de Revisión Interna, la Agencia de Protección Ambiental y similares). Además, una jurisdicción puede estar asociada con un territorio en particular, tal como una federación (p. ej., EU), país, estado, provincia, ciudad, condado, distrito, municipio y similares). Las restricciones de privacidad están asociadas con las leyes, reglas o regulaciones de una jurisdicción. Por ejemplo, las restricciones de privacidad pueden restringir o limitar la capacidad de compartir información personal tal como nombre, dirección, número de teléfono, registro financiero, registro médico, ubicación, atributo personal o similares.

[1461] La Figura 182 es un diagrama de flujo de una realización de un sistema 200 para consultar una base de datos federada de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. En la Figura 182, el sistema 200 incluye un nodo de cliente 201, un nodo de red 221 que tiene una base de datos federada, un nodo de red 241a que tiene una primera base de datos autónoma (p. ej., registros personales en el Servicio de Impuestos Internos) y un nodo de red 241b que tiene una segunda base de datos autónoma (p. ej., registros personales en la Oficina del Censo de EE. UU.). La base de datos federada representa directa o indirectamente, a través de una base de datos subfederada, la primera y segunda base de datos que se encuentra en una misma o diferente jurisdicción (p. ej., Estados Unidos).

[1462] En la Figura 182, en una realización, el dispositivo de cliente 201 envía una consulta relacionada con la información identificable almacenada en la primera o segunda base de datos autónoma o que se puede determinar a partir de una combinación de respuestas a la consulta recibida de la primera y segunda bases de datos, como se representa en la referencia 261. El nodo de red federada 221 recibe la consulta e identifica uno o más campos de datos de la consulta que corresponden a la información identificable según una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción de la base de datos autónoma correspondiente, como se representa en el bloque 223. En respuesta a la identificación de que uno o más campos de la consulta corresponden a información identificable, el nodo de red federada 221 determina una sal aleatoria para la consulta, como se representa en el bloque 225. El nodo de red federada 221 envía entonces la consulta y la sal al nodo de red autónoma 241a, como se representa en la referencia 263a.

[1463] En esta realización, el nodo de red autónoma 241a recibe la consulta y la sal y obtiene una respuesta a la consulta de la primera base de datos autónoma, como se representa en el bloque 243a. El nodo de red autónoma 241a luego anonimiza la información identificable de la respuesta

según la sal, como se representa en el bloque 245a. En un ejemplo, la información identificable y la sal se procesan con una función hash criptográfica para obtener la información anónima. El nodo de red autónoma 241a envía la respuesta que tiene la información anónima al nodo de red federada 221, como se representa en la referencia 265a. El nodo de red federada 221 compone una respuesta adaptada a la consulta según la respuesta y su información anónima, como se representa en el bloque 227. Además, el nodo de red federada 221 envía la respuesta adaptada al nodo de cliente 201, como se representa en la referencia 271.

[1464] En otra realización, el nodo de red federada 221 envía la misma consulta y sal a cada nodo de red autónoma 241a, 241b, como se representa en las referencias 263a, 263b. Los nodos de red autónoma 241a, 241b pueden estar en la misma jurisdicción o en diferentes jurisdicciones. Cada nodo de red autónoma 241a, 241b recibe la consulta y la sal y obtiene una respuesta correspondiente a la consulta a través de su base de datos autónoma. Además, cada nodo de red autónoma 241a, 241b anonimiza la información identificable de la respuesta correspondiente según la sal. Cada nodo de red autónoma 241a, 241b envía la respuesta correspondiente que tiene la información anónima al nodo de red federada 221, como se representa en la referencia respectiva 265a, 265b. El nodo de red federada 221 luego combina las respuestas a las consultas de la primera y segunda bases de datos autónomas según la información anónima recibida en cada respuesta.

[1465] Nótese que los aparatos descritos anteriormente pueden llevar a cabo los métodos en el presente documento y cualquier otro procesamiento al implementar cualquier medio, módulos, unidades o circuitería funcionales. En una realización, por ejemplo, los aparatos comprenden respectivos circuitos o circuitería configurados para llevar a cabo los pasos mostrados en las figuras del método. A este respecto, los circuitos o circuitería pueden comprender circuitos dedicados para llevar a cabo cierto procesamiento funcional y/o uno o más

microprocesadores en conjunto con la memoria. Por ejemplo, la circuitería puede incluir uno o más microprocesadores o microcontroladores, así como otro *hardware* digital que puede incluir el procesador de señal digital (DSP), lógica digital de propósito especial y similares. La circuitería de procesamiento puede configurarse para ejecutar código del programa almacenado en la memoria, que puede incluir uno o varios tipos de memoria, tal como memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio, memoria caché, dispositivos de memoria flash, dispositivos de almacenamiento óptico, etc. El código de programa almacenado en la memoria puede incluir instrucciones de programa para ejecutar uno o más protocolos de telecomunicaciones y/o de comunicaciones de datos, así como instrucciones para llevar a cabo una o más técnicas descritas en el presente documento, en varias realizaciones. En realizaciones que emplean memoria, la memoria almacena código de programa que, cuando es ejecutado por los uno o más procesadores, lleva a cabo las técnicas descritas en el presente documento.

[1466] La Figura 183 ilustra una realización de un nodo de red 300 que tiene una base de datos federada de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. Como se muestra, el nodo de red 300 incluye circuitería de procesamiento 310 y circuitería de comunicación 330. La circuitería de comunicación 330 está configurada para transmitir y/o recibir información a y/o desde uno o más de otros nodos, p. ej., a través de cualquier tecnología de comunicación. La circuitería de procesamiento 310 está configurada para llevar a cabo el procesamiento descrito anteriormente, tal como al ejecutar instrucciones almacenadas en la memoria 320. A este respecto, la circuitería de procesamiento 310 puede implementar ciertos medios, unidades o módulos funcionales.

[1467] La Figura 184 ilustra otra realización de un nodo de red 400 que tiene una base de datos federada de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. Como se muestra, el nodo de red 400

implementa diversos medios, unidades o módulos funcionales (p. ej., a través de la circuitería de procesamiento 310 en la Figura 183, a través del código de *software*) o circuitos. En una realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales (p. ej., para implementar el método o los métodos del presente documento) pueden incluir, por ejemplo: una unidad de obtención 413 para obtener una consulta relacionada con información identificable almacenada en al menos una base de datos autónoma o que se puede determinar a partir de una combinación de respuestas a la consulta recibidas de al menos dos bases de datos autónomas o subfederadas; una unidad de adaptación 415 para adaptar la consulta para cada base de datos autónoma o subfederada según una o más restricciones de privacidad 431 para la jurisdicción de esa base de datos autónoma o subfederada; una unidad de envío 421 para enviar, a cada base de datos autónoma o subfederada, la consulta adaptada para esa base de datos; una unidad de recepción 411 para recibir, desde cada base de datos autónoma o subfederada, una respuesta a la consulta adaptada correspondiente; y una unidad componente 423 para componer una respuesta adaptada a la consulta según la respuesta a la consulta adaptada correspondiente recibida de cada base de datos autónoma o subfederada de modo que la respuesta adaptada cumpla con una o más restricciones de privacidad 431 para la jurisdicción de cada base de datos autónoma o subfederada.

[1468] En otra realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales pueden incluir, por ejemplo: la unidad de obtención 413 para obtener una consulta relacionada con información identificable almacenada en al menos una base de datos autónoma o que se puede determinar a partir de una combinación de respuestas a la consulta recibidas de al menos dos bases de datos autónomas o subfederadas; una unidad de determinación de sal 419 para determinar una sal aleatoria para la consulta; una unidad de envío 421 para enviar, a cada base de datos autónoma o subfederada, la consulta adaptada para esa base de datos; una unidad de recepción 411 para recibir, desde cada

base de datos autónoma o subfederada, una respuesta a la consulta adaptada correspondiente; y una unidad combinante 425 para combinar las respuestas a la consulta adaptada de las bases de datos autónomas o subfederadas según la información anónima recibida en cada respuesta.

[1469] En otra realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales pueden incluir, por ejemplo, una unidad de identificación 417 para identificar uno o más campos de datos de la consulta que corresponden a la información identificable según una o más restricciones de privacidad 431 para la jurisdicción de esa base de datos.

[1470] En otra realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales pueden incluir, por ejemplo, la unidad de recepción 411 para recibir, de cada base de datos autónoma o subfederada, una clave de autorización 433 de esa base de datos que autoriza a la base de datos federada a consultar esa base de datos de conformidad con una o más restricciones de privacidad 431 para la jurisdicción de esa base de datos.

[1471] En otra realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales pueden incluir, por ejemplo, la unidad de recepción 411 para recibir, de cada base de datos autónoma o subfederada, una o más restricciones de privacidad 431 para una jurisdicción correspondiente de esa base de datos.

[1472] En otra realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales pueden incluir, por ejemplo, la unidad de envío 421 para enviar, a un dispositivo de cliente, la respuesta adaptada.

[1473] En otra realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales pueden incluir, por ejemplo, una unidad de eliminación 427 para eliminar la sal para la consulta en respuesta a la combinación de las respuestas, de modo que la capacidad de determinar la información identificable a partir de la información anónima únicamente ocurre entre la recepción de la información anónima de cada base de datos autónoma o subfederada y la eliminación de la sal.

[1474] En otra realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales pueden incluir, por ejemplo, una unidad de obtención de restricciones 431 para obtener una o más restricciones de privacidad para una jurisdicción.

[1475] La Figura 185 ilustra una realización de un método 500a realizado por un nodo de red que tiene una base de datos federada que representa una o más bases de datos autónomas o subfederadas que están ubicadas en una jurisdicción igual o diferente de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento. En la Figura 185, el método 500a puede comenzar, por ejemplo, en el bloque 501a, donde puede incluir recibir, de cada base de datos autónoma o subfederada, una clave de autorización de esa base de datos que autoriza a la base de datos federada a consultar esa base de datos de conformidad con una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción de esa base de datos. Además, el método 500a puede incluir recibir, de cada base de datos autónoma o subfederada, una o más restricciones de privacidad para una jurisdicción correspondiente de esa base de datos, como se muestra en el bloque 503a. En el bloque 505a, el método 500a incluye obtener (p. ej., recibir de un dispositivo de cliente) una consulta relacionada con información identificable almacenada en al menos una base de datos autónoma o que se puede determinar a partir de una combinación de respuestas a la consulta recibida de al menos dos bases de datos autónomas o subfederadas. Además, el método 500a puede incluir identificar uno o más campos de datos de la consulta que corresponden a la información identificable según una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción de esa base de datos, como se muestra en el bloque 507a.

[1476] En la Figura 185, en el bloque 509a, el método 500a incluye adaptar la consulta para cada base de datos autónoma o subfederada según una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción de esa base de datos autónoma o subfederada, que puede responder a la identificación de la

información identificable. En el bloque 511a, el método 500a incluye enviar, a cada base de datos autónoma o subfederada, la consulta adaptada para esa base de datos. En el bloque 513a, el método 500a incluye recibir, desde cada base de datos autónoma o subfederada, una respuesta a la consulta adaptada correspondiente. En el bloque 515a, el método 500a incluye componer una respuesta adaptada a la consulta según la respuesta a la consulta adaptada correspondiente recibida de cada base de datos autónoma o subfederada de modo que la respuesta adaptada cumpla con una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción de cada base de datos autónoma o subfederada. Además, el método 500a puede incluir enviar, a un dispositivo de cliente, la respuesta adaptada, representada en el bloque 517a.

[1477] La Figura 186 ilustra una realización de un método 500b realizado por un nodo de red que tiene una base de datos federada que representa una o más bases de datos autónomas o subfederadas que están ubicadas en una jurisdicción igual o diferente de conformidad con varios aspectos como se describe en el presente documento. En la Figura 186, el método 500b puede comenzar, por ejemplo, en el bloque 505b, donde puede incluir obtener una consulta relacionada con información identificable almacenada en al menos una base de datos autónoma o que se puede determinar a partir de una combinación de respuestas a la consulta recibida de al menos dos bases de datos autónomas o subfederadas. Además, el método 500b puede incluir identificar uno o más campos de datos de la consulta que corresponden a la información identificable según una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción de esa base de datos, como se representa en el bloque 507b. Una consulta adaptada para cada base de datos autónoma o subfederada incluye la consulta y una sal aleatoria para que cada base de datos autónoma o subfederada sea operable para anonimizar la información identificable en cada respuesta a la consulta según la sal. Por consiguiente, en el bloque 509b, el método 500b incluye determinar la sal para la consulta. En el bloque 511b, el método 500b incluye enviar, a cada

base de datos autónoma o subfederada, la consulta y la sal. En el bloque 513b, el método 500b incluye recibir, desde cada base de datos autónoma o subfederada, una respuesta a la consulta con la información identificable en cada respuesta anonimizada según la sal. En el bloque 515b, el método 500b incluye combinar las respuestas a la consulta adaptada de las bases de datos autónomas o subfederadas según la información anónima recibida en cada respuesta. Además, el método puede incluir eliminar la sal para la consulta en respuesta a la combinación de las respuestas, de modo que la capacidad de determinar la información identificable a partir de la información anónima únicamente ocurre entre la recepción de la información anónima de cada base de datos autónoma o subfederada y la eliminación de la sal, como se representa en el bloque 519b.

[1478] La Figura 187 ilustra una realización de un nodo de red 600 que tiene una base de datos autónoma 640 de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. Como se muestra, el nodo de red 600 incluye la circuitería de procesamiento 610, la circuitería de comunicación 620 y la base de datos autónoma 640. La circuitería de comunicación 620 está configurada para transmitir y/o recibir información a y/o desde uno o más de otros nodos, p. ej., a través de cualquier tecnología de comunicación. La circuitería de procesamiento 610 está configurada para llevar a cabo el procesamiento, tal como al ejecutar instrucciones almacenadas en la memoria 630. Además, la circuitería de procesamiento 610 está configurada para llevar a cabo el procesamiento asociado con la base de datos autónoma 640. A este respecto, la circuitería de procesamiento 610 puede implementar ciertos medios, unidades o módulos funcionales.

[1479] La Figura 188 ilustra otra realización de un nodo de red 700 que tiene una base de datos autónoma 735 de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. Como se muestra, el nodo de red 700 implementa diversos medios, unidades o módulos funcionales (p. ej., a

través de la circuitería de procesamiento 610 en la Figura 187 y/o a través del código de *software*) o circuitos. En una realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales (p. ej., para implementar el método o los métodos del presente documento) pueden incluir, por ejemplo: una unidad de recepción 711 para recibir, desde la base de datos federada o subfederada, una consulta y una sal aleatoria para la consulta; una unidad de obtención de respuesta 713 para obtener una respuesta a la consulta de la base de datos autónoma 735, donde la respuesta tiene la información identificable; una unidad de anonimización 715 para anonimizar la información identificable de la respuesta según la sal recibida; y una unidad de envío 717 para enviar, a la base de datos federada o subfederada, la respuesta que tiene la información anónima de modo que la respuesta cumpla con una o más restricciones de privacidad 731 para la jurisdicción de la base de datos autónoma.

[1480] En otra realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales pueden incluir, por ejemplo: una unidad de obtención de claves 721 para obtener una clave de autorización 733 que autoriza a la base de datos federada o subfederada a consultar la base de datos autónoma 735 de conformidad con una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción; la unidad de envío 717 para enviar, a la base de datos federada o subfederada, la clave de autorización 733; la unidad de recepción 711 para recibir, de la base de datos federada o subfederada, una consulta, una sal aleatoria para la consulta y una clave; una unidad de determinación de autorización 719 para determinar si la base de datos federada o subfederada está autorizada para consultar la base de datos autónoma 735 según la clave recibida y la clave de autorización 733.

[1481] En otra realización, estos medios, unidades, módulos o circuitos funcionales pueden incluir, por ejemplo: una unidad de obtención de restricciones 723 para obtener una o más restricciones de privacidad 731 para la jurisdicción de la base de datos autónoma 735; y la unidad de envío 717 para

enviar, a la base de datos federada o subfederada, una o más restricciones de privacidad 731 para la jurisdicción.

[1482] La Figura 189 ilustra una realización de un método 800a realizado por un nodo de red que tiene una base de datos autónoma, en una jurisdicción determinada, que está representada por una base de datos federada o subfederada de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. En la Figura 189, el método 800a puede comenzar, por ejemplo, en el bloque 801a, donde incluye recibir, desde la base de datos federada o subfederada, una consulta y una sal aleatoria para la consulta. Además, la consulta está relacionada con información identificable almacenada en la base de datos autónoma o que se puede determinar a partir de una combinación de respuestas a la consulta que son recibidas por la base de datos federada o subfederada de la base de datos autónoma y una o más de otras bases de datos autónomas o subfederadas que están representadas por la base de datos federada o subfederada. Además, el método 800a incluye obtener una respuesta a la consulta de la base de datos autónoma con la respuesta que tiene la información identificable, como se representa en el bloque 803a. Además, el método 800a incluye anonimizar la información identificable de la respuesta según la sal recibida, como se representa en el bloque 805a. Además, el método 800a incluye enviar, a la base de datos federada o subfederada, la respuesta que tiene la información anónima para que la respuesta cumpla con una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción de la base de datos autónoma, como se representa en el bloque 807a.

[1483] La Figura 190 ilustra una realización de un método 800b realizado por un nodo de red que tiene una base de datos autónoma, en una jurisdicción determinada, que está representada por una base de datos federada o subfederada de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. En la Figura 190, el método 800b puede comenzar, por ejemplo, en el bloque 801b donde incluye obtener una clave de autorización que

autoriza a la base de datos federada o subfederada a consultar la base de datos autónoma de conformidad con una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción. Además, el método 800b incluye enviar, a la base de datos federada o subfederada, la clave de autorización, como se representa en el bloque 803b. En el bloque 805b, el método 800b puede incluir la obtención de una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción de la base de datos autónoma. Además, el método 800b puede incluir enviar, a la base de datos federada o subfederada, una o más restricciones de privacidad para la jurisdicción, como se representa en el bloque 807b.

[1484] En la Figura 190, en el bloque 809b, el método 800b incluye recibir, de la base de datos federada o subfederada, una consulta, una sal aleatoria para la consulta y una clave. La consulta está relacionada con información identificable almacenada en la base de datos autónoma o que se puede determinar a partir de una combinación de respuestas a la consulta que son recibidas por la base de datos federada o subfederada de la base de datos autónoma y una o más de otras bases de datos autónomas o subfederadas que están representadas por la base de datos federada o subfederada. Además, el método 800b incluye determinar si la base de datos federada o subfederada está autorizada para consultar la base de datos autónoma según la clave recibida y la clave de autorización, como se representa en el bloque 811b. En respuesta a determinar que la base de datos federada o sub-federada está autorizada para consultar la base de datos autónoma, el método 800b incluye obtener una respuesta a la consulta, anonimizar la información identificable de la respuesta según la sal recibida y enviar la respuesta con la información anonimizada a la base de datos federada o subfederada, como se representa en el bloque 813b.

[1485] La Figura 191 ilustra otra realización de un sistema 900 para consultar una base de datos federada de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. En la Figura 191, el sistema 900 incluye un nodo de red 901 que tiene una base de datos federada y un nodo de

red 941a que tiene una base de datos autónoma que se encuentra en una determinada jurisdicción. El nodo de red federada 901 envía una consulta y una clave opcional al nodo de red autónoma 941a, como se representa en el bloque 903. Además, la clave se utiliza para autorizar a la base de datos federada o subfederada a consultar la base de datos autónoma de conformidad con las restricciones de privacidad para la jurisdicción de esa base de datos autónoma.

[1486] En la Figura 191, el nodo de red autónoma 941a recibe la consulta y la clave opcional, como se representa en el bloque 943a. El nodo de red autónoma 941a puede determinar si la consulta está autorizada según la clave recibida y una clave de autorización almacenada en el nodo de red autónoma 941a, como se representa en el bloque 945a. El nodo de red autónoma 941a obtiene una respuesta a la consulta de su base de datos autónoma, como se representa en el bloque 947a. Además, el nodo de red autónoma 941a envía la respuesta a la consulta al nodo de red federada 901, como se representa en el bloque 949a. El nodo de red federada 901 recibe la respuesta, compone una respuesta adaptada a la consulta según la respuesta recibida y envía la respuesta adaptada, por ejemplo, a un dispositivo de cliente, como se representa en los respectivos bloques 905, 909.

[1487] En otra realización, el nodo de red federada 901 envía la consulta y la clave opcional a los nodos de red autónoma 941a, 941b. Los nodos de red autónoma 941a, 941b pueden estar ubicados en la misma jurisdicción o en diferentes jurisdicciones. Cada nodo de red autónoma 941a, 941b recibe la consulta y la clave opcional y puede determinar si la consulta está autorizada según la clave recibida y una clave de autorización almacenada en ese nodo de red autónoma 941a, 941b. Cada nodo de red autónoma 941a, 941b obtiene una respuesta a la consulta de su base de datos autónoma y envía la respuesta al nodo de red federada 901. El nodo de red federada 901 recibe cada respuesta y combina las respuestas a la consulta, como se representa en los respectivos bloques 905, 909. El nodo de red federada 901 puede enviar entonces la

respuesta combinada, por ejemplo, a un dispositivo de cliente, como se representa en el bloque 909.

[1488] La Figura 192 ilustra otra realización de un sistema 1000 para consultar una base de datos federada de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. En la Figura 192, el sistema 1000 incluye un nodo de red 1001 que tiene una base de datos federada, un nodo de red 1021 que tiene una base de datos subfederada que está asociada con una jurisdicción determinada, y un nodo de red 1041 que tiene una base de datos autónoma que está asociada con esa jurisdicción determinada. El nodo de red federada 1001 envía una consulta y una clave opcional al nodo de red subfederada 1021, como se representa en el bloque 1003.

[1489] En la Figura 192, el nodo de red subfederada 1021 recibe la consulta y la clave opcional 1061, como se representa en el bloque 1023. El nodo de red subfederada 1021 puede determinar dividir o adaptar la consulta para cada base de datos autónoma según los campos de datos de la consulta y las restricciones de privacidad de esa base de datos para obtener una consulta adaptada para esa base de datos, como se representa en el bloque 1025. El nodo de red subfederada 1021 envía la consulta, o la consulta adaptada, y la clave opcional al nodo de red autónoma 1041, como se representa en el bloque 1025. El nodo de red autónoma 1041 recibe la consulta, o la consulta adaptada, y la clave opcional, como se representa en el bloque 1043. Además, el nodo de red autónoma 1041 puede determinar si la consulta, o la consulta adaptada, está autorizada según la clave recibida y una clave de autorización almacenada en el nodo de red 1041, como se representa en el bloque 1045. El nodo de red autónoma 1041 luego obtiene una respuesta a la consulta, o la consulta adaptada, de su base de datos autónoma, como se representa en el bloque 1047. El nodo de red autónoma 1041 envía entonces la respuesta al nodo de red subfederada 1021, como se representa en el bloque 1049.

[1490] Además, el nodo de red subfederada 1021 recibe la respuesta y compone una respuesta según la respuesta recibida (o combina las respuestas recibidas si procede de más de un nodo de red que tiene una base de datos autónoma), como se representa en el bloque 1029. El nodo de red subfederada 1021 puede realizar otras funciones permitidas por la jurisdicción, tales como actualizar otra base de datos, aplicar un modelo de base de datos relacional (p. ej., modelo de ML), enviar una indicación (p. ej., mensaje de texto, correo electrónico), o similar, como se representa en el bloque 1031. El nodo de red federada 1021 envía entonces la respuesta al nodo de red federada 1001, como se representa en el bloque 1033. El nodo de red federada 1001 recibe la respuesta 1063 y luego compone una respuesta según la respuesta recibida 1063 (o combina las respuestas recibidas si procede de más de un nodo de red que tiene una base de datos autónoma). El nodo de red federada 1001 puede enviar la respuesta compuesta (o la respuesta combinada).

[1491] La Figura 193 ilustra otra realización de un sistema 1100 para consultar una base de datos federada de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. En la Figura 193, el sistema 1100 incluye un nodo de red 1101 que tiene una base de datos federada o subfederada y un nodo de red 1141a que tiene una base de datos autónoma que se encuentra en una determinada jurisdicción. El nodo de red subfederada 1101 envía una consulta, una sal aleatoria para esa consulta, y una clave opcional 1161a al nodo de red autónoma 1141a, como se representa en el bloque 1103.

[1492] En la Figura 193, el nodo de red autónoma 1141a recibe la consulta, la sal aleatoria, y la clave opcional, como se representa en el bloque 1143a. El nodo de red autónoma 1141a puede determinar si la consulta está autorizada según la clave recibida y una clave de autorización almacenada en el nodo de red autónoma 1141a, como se representa en el bloque 1145a. El nodo de red autónoma 1141a obtiene una respuesta a la consulta de su base de datos autónoma, como se representa en el bloque 1147a. Además, el nodo de red

autónoma 1141a anonimiza la información identificable en la respuesta según la sal recibida, como se representa en el bloque 1149a. El nodo de red autónoma 1141a luego envía la respuesta que tiene la información anónima al nodo de red subfederada 1101, como se representa en el bloque 1151a. El nodo de red subfederada 1101 recibe la respuesta, como se representa en el bloque 1105. Además, el nodo de red subfederada 1101 compone una respuesta según la respuesta recibida y la información anónima, como se representa en el bloque 1109. El nodo de red subfederada 1101 puede enviar entonces la respuesta compuesta, como se representa en el bloque 1109.

[1493] En otra realización, el nodo de red federada 1101 envía la consulta, la sal aleatorizada y la clave opcional a los nodos 1141a, 1141b de red autónoma. Los nodos de red autónoma 1141a, 1141b pueden estar ubicados en la misma jurisdicción o en diferentes jurisdicciones. Cada nodo de red autónomo 1141a, 1141b recibe la consulta, la sal aleatoria y la clave opcional y puede determinar si la consulta está autorizada basándose en la clave recibida y la clave de autorización almacenada en ese nodo de red autónomo 1141a, 1141b. Cada nodo de red autónoma 1141a, 1141b obtiene la respuesta a la consulta de su base de datos autónoma. Además, cada nodo de red autónoma 1141a, 1141b anonimiza la información identificable de su respuesta según la sal recibida. Cada nodo de red autónoma 1141a, 1141b envía entonces la respuesta que tiene la información anónima al nodo de red federada 1101. El nodo de red federada 1101 recibe cada respuesta y combina las respuestas a la consulta, según la información anónima, como se representa en los respectivos bloques 1105, 1107. El nodo de red federada 1101 puede enviar entonces la respuesta combinada, por ejemplo, a un dispositivo de cliente, como se representa en el bloque 1109.

[1494] La Figura 194 ilustra otra realización de un sistema 1200 para consultar una base de datos federada de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. En la Figura 194, una base de

datos federada 1201 se encuentra en la jurisdicción 1203. La base de datos federada 1201 representa las bases de datos subfederadas 1211, 1221 ubicadas en las respectivas jurisdicciones 1213, 1223. Además, cada base de datos subfederada 1211, 1221 representa las respectivas bases de datos autónomas 1215-1217, 1225-1227 ubicadas en las respectivas jurisdicciones 1211, 1221. La base de datos federada 1201 también representa a través de las bases de datos subfederadas 1211, 1211 estas respectivas bases de datos autónomas.

[1495] En una realización, la base de datos federada 1201 representa una primera base de datos subfederada 1211 que tiene una o más primeras bases de datos autónomas 1215-1217 que están ubicadas en una primera jurisdicción 1213 con una o más primeras restricciones de privacidad.

[1496] Adicional o alternativamente, la base de datos federada 1201 representa una segunda base de datos subfederada 1223 que tiene una o más segundas bases de datos autónomas 1225-1227 que están ubicadas en una segunda jurisdicción 1223 con una o más segundas restricciones de privacidad.

[1497] En otra realización, la base de datos federada 1201 representa una única base de datos autónoma 1215 que está ubicada en una determinada jurisdicción 1213 con una o más restricciones de privacidad.

[1498] En otra realización, la base de datos federada 1201 representa una pluralidad de bases de datos autónomas 1215-1217 que están ubicadas en la misma jurisdicción 1213 con una o más restricciones de privacidad.

[1499] En otra realización, la base de datos federada 1201 representa una pluralidad de bases de datos autónomas 1215-1217, 1225-1227 que están ubicadas en diferentes jurisdicciones 1213, 1223 con una o más restricciones de privacidad diferentes.

[1500] La Figura 195 ilustra otra realización de un nodo de red de conformidad con diversos aspectos, como se describe en el presente documento. En algunos casos, el nodo de red 1300 puede denominarse servidor, una estación base, un nodo de red central, una computadora de mano,

una computadora de escritorio, una computadora portátil, un decodificador, un televisor, un electrodoméstico, un dispositivo médico o alguna otra terminología similar. En otros casos, el nodo de red 1300 puede ser un conjunto de componentes de *hardware*. En la Figura 195, el nodo de red 1300 puede configurarse para incluir un procesador 1301 que está acoplado operativamente a una interfaz de radiofrecuencia (RF) 1309, una interfaz de conexión de red 1311, una memoria 1315 que incluye una memoria de acceso aleatorio (RAM) 1317, una memoria de solo lectura (ROM) 1319, un medio de almacenamiento 1331 o similar, un subsistema de comunicación 1351, una fuente de alimentación 1333, otro componente o cualquier combinación de estos. La memoria 1315 puede usarse para almacenar una o más bases de datos. El medio de almacenamiento 1331 puede incluir un sistema operativo 1333, un programa de aplicación 1335, datos o base de datos 1337, o similares. Los dispositivos específicos pueden usar todos los componentes que se muestran en la Figura 13, o solo un subconjunto de los componentes, y los niveles de integración pueden variar de un dispositivo a otro. Además, los dispositivos específicos pueden contener varias instancias de un componente, tales como varios procesadores, memorias, transceptores, transmisores, receptores, etc. Por ejemplo, un dispositivo informático puede configurarse para incluir un procesador y una memoria.

[1501] En la Figura 195, el procesador 1301 se puede configurar para procesar instrucciones informáticos y datos. El procesador 1301 se puede configurar para implementar cualquier máquina de estado secuencial operativa para ejecutar instrucciones de máquinas almacenadas como programas informáticos de lectura mecánica en la memoria, tales como uno o más máquinas de estados implementadas por *hardware* (p. ej., en lógica discreta, FPGA, ASIC, etc.); lógica programable junto con el *firmware* adecuado; uno o más programas almacenados; procesadores de uso general, tales como un microprocesador o procesador digital de señal (DSP), junto con el *software* adecuado, o una

combinación de estos. Por ejemplo, el procesador 1301 puede incluir dos procesadores de computadora. En una definición, los datos son información en un formato adecuado para uso de una computadora. Cabe señalar que un experto en la materia reconocerá que el objeto de esta divulgación puede implementarse usando diferentes sistemas operativos o combinaciones de sistemas operativos.

[1502] En la Figura 195, la interfaz de RF 1309 se puede configurar para suministrar una interfaz de comunicación a componentes RF, tales como un transmisor, un receptor o una antena. La interfaz de conexión de red 1311 se puede configurar para suministrar una interfaz de comunicación a una red 1343a. La red 1343a puede comprender redes de comunicación cableada e inalámbrica, tales como una red de área local (LAN), una red de área amplia (WAN), una red informática, una red inalámbrica, una red de telecomunicaciones, otra red similar o una combinación de estas. Por ejemplo, la red 1343a pueden ser una red wifi. La interfaz de conexión de red 1311 se puede configurar para incluir una interfaz receptora o transmisora utilizada para comunicar con uno o más de otros nodos a lo largo de una red de comunicación según uno o más protocolos de comunicación conocidos en la técnica o que puedan desarrollarse, tales como Ethernet, TCP/IP, SONET, ATM, o similares. La interfaz de conexión de red 1311 puede implementar una funcionalidad receptora o transmisora adecuada a los enlaces de red de comunicación (p. ej., óptica, eléctrica y similares). Las funciones transmisoras y receptoras pueden compartir componentes de circuito, *software* o *firmware*, o alternativamente, se pueden implementar por separado.

[1503] En esta realización, la RAM 1317 se puede configurar a la interfaz mediante bus 1303 al procesador 1301 para suministrar almacenamiento o almacenamiento en caché de datos o instrucciones informática durante la ejecución de programas de *software*, tales como el sistema operativo, programas de aplicación y controladores de dispositivo. La ROM 1319 se puede configurar

para suministrar instrucciones informática o datos al procesador 1301. Por ejemplo, la ROM 1319 se puede configurar para ser código de sistema de nivel bajo invariable o datos para funciones básicas de sistema, tales como entradas y salidas básicas (I/O), inicio, o recepción de pulsaciones de un teclado almacenadas en una memoria no volátil. El medio de almacenamiento 1331 se pueden configurar para incluir memoria, tales como RAM, ROM, memoria de solo lectura programable (PROM), memoria de solo lectura programable y borrable (EPROM), memoria de solo lectura programable y borrable electrónicamente (EEPROM), discos magnéticos, discos ópticos, disquetes, discos rígidos, cartuchos removibles o memorias flash. En un ejemplo, el medio de almacenamiento 1331 se puede configurar para incluir un sistema operativo 1333, el programa de aplicación 1335, tal como una aplicación de navegador, un motor de widget o gadget u otra aplicación, y un archivo de datos 1337.

[1504] En la Figura 195, el procesador 1301 se puede configurar para comunicarse con la red 1343b usando el subsistema de comunicación 1351. La red 1343a y la red 1343b pueden ser la misma red o redes o una red o redes diferentes. El subsistema de comunicación 1351 se puede configurar para incluir uno o más transceptores utilizados para comunicar con la red 1343b. Uno o más transceptores se pueden usar para comunicarse con uno o más transceptores remotos de otro nodo de red o dispositivo de cliente según uno o más protocolos de comunicación conocidos en la técnica o que se puedan desarrollar, tales como IEEE 802.xx, CDMA, WCDMA, GSM, LTE, NR, NB IoT, UTRAN, WiMax o similares.

[1505] En otro ejemplo, el subsistema de comunicación 1351 puede configurarse para incluir uno o más transceptores usados para comunicarse con uno o más transceptores remotos de otro nodo de red o dispositivo de cliente según uno o más protocolos de comunicación conocidos en la técnica o que se puedan desarrollar, tales como IEEE 802.xx, CDMA, WCDMA, GSM, LTE, NR,

NB IoT, UTRAN, WiMax o similares. Cada transceptor puede incluir un transmisor 1353 o un receptor 1355 para implementar la funcionalidad emisora o receptora, respectivamente, adecuada a los enlaces RAN (p. ej., distribuciones de frecuencia y similares). Asimismo, el transmisor 1353 y el receptor 1355 de cada transceptor pueden compartir componentes de circuito, *software* o *firmware*, o alternativamente, se pueden implementar por separado.

[1506] En la realización actual, las funciones de comunicación del subsistema de comunicación 1351 pueden incluir comunicación de datos, comunicación de voz, comunicación multimedia, comunicaciones de corto alcance, tales como Bluetooth, comunicación de campo cercano, comunicación con base en la ubicación, tal como el uso de un sistema de posicionamiento global (GPS) para determinar una ubicación, otro tipo de función de comunicación o cualquier combinación de estos. Por ejemplo, el subsistema de comunicación 1351 puede incluir comunicación móvil, comunicación wifi, comunicación Bluetooth y comunicación GPS. La red 1343b puede comprender redes de comunicación cableada e inalámbrica, tales como una red de área local (LAN), una red de área amplia (WAN), una red informática, una red inalámbrica, una red de telecomunicaciones, otra red similar o una combinación de estas. Por ejemplo, la red 1343b puede ser una red móvil, una red wifi y una red de campo cercano. La fuente de alimentación 1313 se puede configurar para suministrar alimentación de corriente alternativa (AC) o corriente continua (DC) a componentes del nodo de red 1300.

[1507] En la Figura 195, el medio de almacenamiento 1331 se puede configurar para incluir un número de unidades de accionamiento físicas, tales como una matriz redundante de discos independientes (RAID), unidad de disquete, memoria flash, memoria flash USB, unidad de disco rígido externo, unidad de almacenamiento en miniatura, memoria USB (*pen drive*), llave USB *key drive*, disco digital versátil de alta densidad (HD-DVD) unidad de disco óptica, unidad de disco rígido interno, unidad de disco óptica Blu-Ray, almacenamiento

holográfico (HDDS) en unidad de disco óptico, módulo de memoria en línea con contactos duales externa (DIMM), memoria de acceso aleatorio dinámica sincrónica (SDRAM), DIMM SDRAM micro externa, memoria de tarjeta inteligente, tal como un módulo de identidad de suscriptor o módulo de usuario desmontable (SIM/RUIM) o una combinación de estos. El medio de almacenamiento 1331 puede permitir al nodo de red 1300 acceder a instrucciones ejecutables por computadora, programas de aplicación o similares, almacenados en medios de memoria transitorios o no transitorios, para descargar datos o cargar datos. Un producto de fabricación, tal como uno que utiliza un sistema de comunicación se puede materializar tangiblemente en el medio de almacenamiento 1331, el cual puede comprender un medio legible por computadora.

[1508] La funcionalidad de los métodos descritos en el presente documento puede implementarse en uno de los componentes del nodo de red 1300 o dividirse en varios componentes del nodo de red 1300. Además, la funcionalidad de los métodos que se describen en el presente documento se pueden implementar en cualquier combinación de *hardware*, *software* o *firmware*. En un ejemplo, el subsistema de comunicación 1351 se puede configurar para incluir cualquiera de los componentes que se describen en el presente documento. Asimismo, el procesador 1301 se puede configurar para comunicar con cualquiera de tales componentes mediante el bus 1303. En otro ejemplo, cualquiera de dichos componentes se puede representar mediante instrucciones de programa almacenadas en memoria, de modo tal que cuando sean ejecutadas por el procesador 1301 realiza las funciones correspondientes que se describen en el presente documento. En otro ejemplo, la funcionalidad de cualquiera de tales componentes se puede dividir entre el procesador 1301 y el subsistema de comunicación 1351. En otro ejemplo, las funciones de uso intenso que no sean del propio programa de cualquiera de tales componentes

se pueden implementar en el *software* o *firmware* y las funciones de uso intenso del propio programa se pueden implementar en el *hardware*.

[1509] Los expertos en la materia también apreciarán que realizaciones en el presente documento incluyen programas informáticos correspondientes. Un programa informático comprende instrucciones que, cuando se ejecutan en al menos un procesador de un aparato, causan que el aparato lleve a cabo cualquiera de los respectivos procesos descritos anteriormente. A este respecto, un programa informático puede comprender uno o más módulos de código correspondientes a los medios o unidades descritos anteriormente. Realizaciones incluyen además una portadora que contiene dicho programa informático. Esta portadora puede comprender uno de una señal electrónica, señal óptica, señal de radio, o medio de almacenamiento legible por computadora.

[1510] A este respecto, realizaciones en el presente documento también incluyen un producto de programa informático almacenado en un medio legible no transitorio (almacenable o grabable) y que comprende instrucciones que, cuando son ejecutadas por un procesador de un aparato, causan que el aparato funcione conforme se describe arriba. Realizaciones incluyen además un producto de programa informático que comprende porciones de código de programa para llevar a cabo los pasos de cualquiera de las realizaciones en el presente documento cuando el producto del programa informático es ejecutado por un dispositivo informático. Este programa informático puede almacenarse en un medio de grabación legible por computadora.

[1511] Ahora se describirán realizaciones adicionales. Al menos algunas de estas realizaciones pueden describirse como aplicables en ciertos contextos y/o tipos de red inalámbrica para fines ilustrativos, pero las realizaciones son igualmente aplicables en otros contextos y/o tipos de red inalámbrica no explícitamente descritos.

[1512] Como se mencionó anteriormente, las bases de datos federadas, subfederadas y autónomas actuales no consideran las leyes jurisdiccionales al realizar consultas. Por consiguiente, esta divulgación describe realizaciones para este problema, incluido el uso de diferentes métodos para realizar consultas estadísticas para cuando los datos deben combinarse según información de identificación personal entre sistemas de bases de datos dentro o entre jurisdicciones.

[1513] En una realización ejemplar, las consultas se envían a un sistema de base de datos federadas modificado que adapta las consultas y respuestas según regulaciones jurisdiccionales formalizadas, que incluyen cualquier otra adaptación necesaria para combinar los sistemas de base de datos. Las bases de datos autónomas anotan los datos con el tipo de información que contienen, por ejemplo, con etiquetas como “información de identificación”, “información confidencial”, “información general”, “restricción de exportación a la jurisdicción X”, “solo para uso no comercial”, “la resolución reducida se puede exportar” (p. ej., ubicación, imágenes, números como ingresos) y similares. Estas etiquetas formalizan el procesamiento/las transacciones de las bases de datos federadas o subfederadas para los datos asociados. En consecuencia, la base de datos federada o subfederada recibe estas etiquetas de las bases de datos autónomas para informar a la base de datos federada o subfederada cómo adaptar las consultas.

[1514] En otra realización, para consultas que requieren operaciones estadísticas dentro de un sistema de base de datos que tiene una base de datos federada o subfederada que representa una o más bases de datos autónomas que se encuentran en la misma o diferentes jurisdicciones y cada información de identificación está en una de las bases de datos autónomas, la base de datos federada o subfederada envía la consulta a cada base de datos autónoma. Además, la base de datos federada o subfederada recibe los resultados de cada base de datos autónoma y luego combina los resultados según una o más

operaciones estadísticas. Por ejemplo, para una consulta asociada con el recuento de visitas a una página web según datos de varias bases de datos autónomas (p. ej., con un registro de identidad, hora y página web), la base de datos federada o subfederada realiza el recuento en cada respuesta a la consulta y luego combina los recuentos. Estas operaciones estadísticas pueden asociarse con mediana, media, suma, filtros avanzados con varias bases de datos o similares. Además, estas operaciones estadísticas pueden asociarse con vectores, tablas, columnas o similares.

[1515] En otra realización, para una consulta que recibe respuestas de diferentes jurisdicciones, incluso de una jurisdicción que requiere combinar respuestas de bases de datos autónomas en esa jurisdicción y que permiten dicha combinación, se puede utilizar una jerarquía de base de datos que comprende una base de datos federada que tiene una o más bases de datos subfederadas en diferentes jurisdicciones, y cada base de datos subfederada representa una o más bases de datos autónomas en la misma jurisdicción. Por ejemplo, esta jerarquía puede usarse para contar las visitas a una página web de personas en diferentes jurisdicciones (p. ej., diferentes áreas rurales). Además, cada base de datos subfederada combina las respuestas a la consulta recibidas de cada base de datos autónoma que se encuentra en la misma jurisdicción. La base de datos federada luego combina las respuestas de cada base de datos subfederada.

[1516] En otra realización, la base de datos federada envía la consulta a cada base de datos subfederada. Cada base de datos subfederada divide la consulta para extraer cualquier información de identificación. Por ejemplo, para una consulta asociada con el recuento de visitas a una página web desde direcciones rurales según los datos de una base de datos subfederada que representa una primera base de datos autónoma con visitas a la página web, un registro de la identidad de cada visitante de la página web y la hora de cada visita a la página web, y una segunda base de datos autónoma, en la misma

jurisdicción que la primera base de datos autónoma, con la identidad de cada visitante de la página web, la dirección de cada visitante de la página web y una indicación de si cada dirección es una dirección rural, la base de datos subfederada dividirá la consulta para extraer la información de identificación de cada persona que haya visitado la página web. Como tal, la base de datos subfederada envía la consulta dividida a la segunda base de datos y recibe las identidades de las direcciones rurales. Además, la base de datos subfederada agrega los recuentos individuales de las direcciones rurales en un recuento subtotal, que se envía a la base de datos federada. La base de datos federada agrega los recuentos subtotales de cada base de datos subfederada para obtener un recuento total.

[1517] Adicional o alternativamente, para una base de datos federada que combina respuestas de bases de datos autónomas o subfederadas en diferentes jurisdicciones, las bases de datos autónomas o subfederadas pueden anonimizar las respuestas a las consultas antes de que la base de datos federada combine las respuestas. Se puede utilizar una función hash criptográfica unidireccional que utiliza una sal aleatoria, con el uso de una nueva sal para cada consulta para generar la información anónima. Además, todos y cada uno de los registros de la sal pueden destruirse al completar el procesamiento de cada consulta (una consulta puede contener, p. ej., varias declaraciones de SQL, no limitadas a una sola declaración) por parte de la base de datos federada o subfederada. En consecuencia, solo durante el procesamiento de la consulta es posible derivar la información identificable a partir de la información anónima. Además, dada la complejidad computacional de derivar la información identificable a partir de la información anónima, es poco probable que la información identificable pueda derivarse durante esta breve duración del procesamiento de la consulta.

[1518] Además, la base de datos federada crea la sal aleatoria y la envía con cada consulta o subconsulta a la base de datos autónoma o subfederada.

Además, la jerarquía de las bases de datos federadas, subfederadas y autónomas utiliza la misma función hash criptográfica unidireccional con la sal para anonimizar la información identificable que se envía con cada respuesta. De este modo, la base de datos federada recibe respuestas de las bases de datos autónomas o subfederadas que tienen la misma información anónima que corresponde a la misma información identificable, permitiendo, por ejemplo, contar las visitas a una página web por cada dirección rural según la información anónima de esa dirección rural.

[1519] En un ejemplo, una consulta relacionada con el recuento del número de visitas a una página web que dan como resultado una compra en esa página web es procesada por una base de datos federada. La base de datos federada representa una primera base de datos autónoma con registros de visitas a la página web, y la primera base de datos se encuentra en una jurisdicción donde no se permite exportar la información de identificación desde esa jurisdicción. Además, una segunda base de datos autónoma tiene información de tarjetas de crédito; la segunda base de datos está en una jurisdicción diferente de la primera base de datos, y no se permite exportar la información identificable desde esa jurisdicción. Además, la primera y la segunda bases de datos contienen la misma información identificable. La base de datos federada genera una sal aleatoria para una primera consulta y envía la primera consulta y la sal aleatoria a la primera base de datos. La primera base de datos recibe la primera consulta y sal, obtiene una respuesta a la primera consulta asociada con los registros de visitas a la página web, anonimiza la información identificable (p. ej., el nombre del visitante) de la respuesta con base en la sal aleatoria y una función hash criptográfica unidireccional y envía la respuesta con la información anónima a la base de datos federada.

[1520] Además, la base de datos federada envía una segunda consulta y la sal aleatoria a la segunda base de datos. La segunda base de datos recibe la segunda consulta y sal, obtiene una respuesta a la consulta asociada con la

información de tarjetas de crédito, anonimiza la información identificable (p. ej., titular de la tarjeta de crédito) de la respuesta con base en la sal aleatoria y una función hash criptográfica unidireccional y envía la respuesta con la información anónima a la base de datos federada. La base de datos federada combina las respuestas recibidas según la información anónima.

[1521] La función hash criptográfica unidireccional puede aplicarse a categorías de datos distintas de la información identificable, que también puede combinarse con la base de datos federada. Además, este proceso de combinación puede aplicarse a datos con base en categorías. Por ejemplo, los datos con base en categorías pueden incluir datos de diagnóstico médico, ubicación de resolución reducida, ciudad o similares. Además, el sistema de base de datos federado puede agrupar o combinar los datos con base en categorías para que el diagnóstico o la ciudad en particular no se puedan identificar a partir del grupo o la combinación.

[1522] En otra realización, los esquemas de cifrado homomórfico pueden usarse para otras funciones unidireccionales para información escalar sensible. Esto permite que la base de datos federada compare las respuestas con esta información escalar cifrada sensible (p. ej., mayor que, menor que, equivalente y similares). Esto requiere que las bases de datos autónomas utilicen los mismos esquemas y claves de cifrado homomórfico. El sistema de base de datos federada puede proporcionar una sal aleatoria a las bases de datos autónomas o subfederadas de la misma manera que se describió anteriormente.

[1523] Debe entenderse que una consulta incluye una consulta de lenguaje de consulta estructurado (SQL), consulta no SQL (NOSQL), consulta de base de datos de gráficos, consulta de base de datos relacional, consulta analítica (p. ej., Spark o Hadoop), consulta de aprendizaje automático, consulta de aprendizaje profundo, *front-end* con base en la web para consultas de información, y similares.

[1524] La anotación se puede realizar de forma manual o automática en función de los datos reales. Un ejemplo de lo último es que un nombre o una dirección pueden reconocerse automáticamente como información de identificación, los registros médicos o la información de ubicación pueden identificarse como información confidencial, las imágenes que muestran caras pueden registrarse solo para uso no comercial, etc.

[1525] Interfuncionamiento entre redes de comunicación inalámbrica y cableada

[1526] Como se mencionó anteriormente, un desafío de investigación en curso es el interfuncionamiento de 5G y TSN. Ambas tecnologías definen métodos propios para la gestión y configuración de redes y diferentes mecanismos para lograr el determinismo de la comunicación que de alguna manera deben organizarse para permitir la creación de redes deterministas de extremo a extremo para redes industriales.

[1527] Una forma de interfuncionamiento de 5G y TSN es permitir que el sistema 5G actúe como un puente de TSN. La red 5G debe ofrecer algunas interfaces de control hacia la red TSN dependiendo del modelo de configuración de TSN elegido, como se explicó anteriormente. En el modelo de configuración central, las entidades de control central CUC/CNC pueden ocurrir a ambos lados de la red 5G. Además, las redes TSN de diversas topologías podrían desplegarse a ambos lados en contraste con la Figura 5, donde solo se representa un único punto final detrás del UE. Si la red 5G actúa como un puente de TSN, se requiere que los dispositivos compatibles con TSN, p. ej., puentes y puntos finales, se desplieguen a ambos lados de la red 5G.

[1528] En 3GPP TS 23.501 sección 5.6.10.2, se explica el soporte de sesiones de unidad de datos de protocolo (PDU) de tipo Ethernet en una red 5G. En la interfaz de N6 entre la UPF de anclaje de sesión de PDU (PSA) y una red de datos (DN), se explican dos opciones potenciales para sesiones de PDU de

tipo Ethernet. Al principio, es posible tener un mapeo uno a uno entre una interfaz N6 y una sesión de PDU y, como segunda opción, un mapeo con base en direcciones MAC de varias sesiones de PDU a una interfaz N6. La solución explicada en el presente documento se puede aplicar a cualquier opción de configuración.

[1529] La Figura 196 ilustra la transición de protocolo en PSA UPF para sesiones de PDU de tipo Ethernet, como se explica en 3GPP TS 29.561, es decir, manejo de tramas de Ethernet en UPF.

[1530] No hay métodos disponibles para permitir una conexión de dispositivos que usan 5G, que no admiten o que admiten solo un conjunto limitado de funciones de TSN a una red TSN a través de una red 5G.

[1531] Cualquier tráfico puenteado a una red TSN sin estar registrado (como se explicó anteriormente) en el dominio de TSN como un flujo de TSN se manejará como tráfico de mejor esfuerzo sin garantías de calidad de servicio (QoS). De esta forma, es posible que no se garantice la calidad de servicio de extremo a extremo.

[1532] Por lo tanto, uno de los objetos de las realizaciones del presente documento es proporcionar un método para permitir la conectividad de extremo a extremo con QoS garantizada entre una red de comunicación inalámbrica, p. ej., una red 5G y una red de comunicación cableada, p. ej., una red TSN.

[1533] Según las realizaciones del presente documento, una solución define una función en el plano de usuario de 5G, que maneja ciertas características de TSN para dispositivos que se conectan a través de 5G a una red TSN. Por lo tanto, la solución permite un interfuncionamiento entre la red 5G y TSN con QoS garantizada de extremo a extremo. Esta función puede denominarse Punto final virtual (VEP). El VEP puede realizarse como oyente virtual y/o hablante virtual dependiendo de la función de un dispositivo de 5G, p. ej., un UE o una aplicación que se ejecuta en la parte superior, respectivamente.

[1534] El VEP se puede utilizar en cualquier modo de configuración de TSN, ya sea distribuido, centralizado o totalmente centralizado, como se mencionó anteriormente.

[1535] En el caso del modelo de configuración de TSN distribuido, el VEP puede comunicarse directamente con el conmutador más cercano en la red TSN. En el modelo totalmente centralizado puede ser un punto de referencia para CUC.

[1536] Se pueden implementar varias instancias de VEP en la red 5G. En TSN, un punto final puede comunicarse mediante varios flujos de TSN. Un VEP desde la perspectiva de TSN es un único punto final. En el escenario más común, un VEP también corresponde a un dispositivo de 5G con una sesión de PDU en la red 5G. El tráfico de un flujo de TSN se mapeará en el VEP a un flujo de QoS y viceversa. El tráfico de varios flujos de TSN se mapeará a varios flujos de QoS dentro de la misma sesión de PDU.

[1537] Se pueden lograr muchos beneficios al introducir la función de punto final virtual (VEP) en el plano de usuario de 5G:

- Permite conectar dispositivos que no son TSN a una red TSN con QoS de extremo a extremo garantizada.
- Permite conectar dispositivos que no son Ethernet a una red TSN con QoS de extremo a extremo garantizada.
- Las características de TSN se pueden implementar en la red 5G de forma centralizada, por ejemplo, para evitar una configuración a través de la interfaz aérea o en caso de que falte una característica en los puntos finales o puentes.
- TSN y tráfico de control de Ethernet, p. ej., el protocolo de descubrimiento de la capa de enlace (LLDP), la sincronización de tiempo, etc., no es necesario que se transmita a través de la interfaz de radio de 5G, sino que lo maneje el VEP.

[1538] Según las realizaciones del presente documento, una solución para conectar puntos finales de 5G a una red TSN es introducir una nueva característica de plano de usuario de 5G. La nueva característica de plano de usuario de 5G permite la conectividad de QoS garantizada de extremo a extremo en una red que comprende una parte de 5G y una de TSN. La función o característica introducida puede denominarse Punto final virtual (VEP).

[1539] En la Figura 197, se muestra un ejemplo genérico en el que se puede utilizar un VEP del dominio industrial, que muestra el interfuncionamiento de 5G y TSN en una configuración industrial. El punto final 5G allí puede ser un robot industrial conectado de forma inalámbrica a la red 5G. El robot puede estar en la zona de producción de la fábrica. El controlador de robot correspondiente, p. ej., un controlador lógico programable (PLC) está conectado a una red TSN, p. ej., en la sala de IT de la fábrica. Para que un robot pueda comunicarse con el controlador de una manera habilitada para QoS de extremo a extremo, es necesario que ambos pertenezcan al mismo dominio de TSN, como se explicó anteriormente. Un VEP implementa un conjunto completo o una parte de las características de TSN y el mapeo correspondiente a las funciones de QoS de 5G requeridas para el interfuncionamiento de TSN y 5G.

[1540] El VEP se implementa en el plano de usuario de 5G cerca o como parte de la función del plano de usuario (UPF). Es responsable de mapear QoS en la red 5G y en la red TSN y está involucrado en la configuración.

[1541] Se puede utilizar un VEP para sesiones de PDU de tipo Ethernet o IP. En el escenario más común, se puede usar un VEP para mapear el tráfico de un flujo de QoS a un flujo de TSN y viceversa. No obstante, también puede ser posible mapear el tráfico entre uno o más flujos de TSN y uno o más flujos de QoS utilizando una instancia de VEP. Esto significa usar una instancia de VEP para una sesión de PDU. Además, también puede ser posible combinar el tráfico de varias sesiones de PDU en un solo VEP.

[1542] Se pueden utilizar varias instancias de VEP dentro de una UPF. Si se usa una instancia de VEP para una sesión de PDU, entonces se pueden conectar varios flujos de TSN a ese VEP y, por ejemplo, mapearse uno a uno a varios flujos de QoS dentro de la sesión de PDU, como se explicó anteriormente.

[1543] La Figura 198 ilustra el flujo de control y el plano de usuario al introducir el VEP en caso de que todo el tráfico del plano de control de Ethernet y TSN se maneje en el VEP, por ejemplo, para una sesión de PDU de tipo IP, p. ej., un dispositivo que no es Ethernet ni TSN detrás del UE.

[1544] La Figura 199 ilustra cómo se puede implementar un VEP como parte de la UPF para sesiones de PDU de tipo IP o de tipo Ethernet. Otras funcionalidades de la UPF, como el filtrado de paquetes, no se muestran aquí, pero también se pueden utilizar junto con un VEP. Un VEP para sesiones de PDU que no son totalmente compatibles con TSN se puede utilizar dentro de una UPF en paralelo a sesiones de PDU de tipo Ethernet donde TSN es compatible de extremo a extremo entre dos puntos finales a través de la red 5G, como también se ilustra en la Figura 200.

[1545] Las principales funcionalidades de un VEP son:

- mapeo de la o las sesiones de la PDU a la o las secuencias de TSN: solo es relevante si la sesión de PDU es de tipo IP; de lo contrario, es una acción estándar realizada en la UPF.
- establecer o modificar flujos de TSN o sesiones de PDU o flujos de QoS y traducir los diferentes dominios de QoS correspondientemente.
- implementar y admitir ciertas características del plano de control y de usuario utilizadas en TSN, como la conformación de tráfico consciente del tiempo como se define en 802.1Qbv y la sincronización de tiempo como se define en 802.1AS-rev, utilizada para ese propósito.
- interfaz con CUC y/o el puente TSN más cercano en el dominio de TSN.

[1546] Un VEP mapea uno o más flujos de TSN a una o más sesiones de PDU o flujos de QoS como se explicó anteriormente. Por lo tanto, mantiene una tabla de mapeo internamente. Para fines de mapeo, el VEP puede usar el ID de flujo de TSN o el ID de sesión de PDU o los ID de flujo de QoS (QFI), respectivamente. En caso de mapeo uno a uno de, p. ej., un flujo de QoS a un flujo de TSN, este mapeo es, por supuesto, mucho más simple.

[1547] En caso de que se utilice una sesión de PDU de tipo IP, el VEP utilizará una dirección de control de acceso al medio (MAC) de un grupo de direcciones MAC locales o de otra fuente, p. ej., una dirección MAC asignada manualmente. El reenvío Ethernet de los paquetes de IP desde una sesión de IP PDU es posible entonces a una red Ethernet DN externa. Esta dirección MAC se anunciará en el DN y también se completará en las instancias de control de TSN.

[1548] Para fines de mapeo, además es necesario que el VEP también admita varias características de TSN como 802.1AS, 802.1Qbv, 802.1Qcc, etc.

[1549] Para poder crear o modificar sesiones de PDU, el VEP puede necesitar interconectar el SMF en la red 5G. Esta interfaz se puede realizar utilizando la interfaz N4 existente si se implementa un VEP como parte de la UPF. Además, a continuación se muestran los dos métodos de realización, que describen la secuencia de la comunicación entre un VEP y el punto final de 5G que actúa como Hablante, es decir, transmisor de datos, u Oyente, es decir, receptor de datos.

[1550] Procedimiento si el punto final de 5G es un hablante:

1. La aplicación en el punto final de 5G solicitará un enlace de comunicación de UE.

2. Solicitar una sesión de UE PDU o utilizar una existente para VEP/UPF.

3. VEP estima la QoS requerida para un flujo de TSN mediante una combinación de:

a. Mapeo de ID de flujo de QoS (QFI) seleccionado por UE a QoS de flujo de TSN;

b. QoS de aplicación dedicada específica para TSN proporcionada por el UE o la aplicación en la parte superior;

c. Ajustes de QoS preconfigurados dentro del VEP para la red TSN;

d. Verificación de la configuración de QoS con CUC en la red TSN para la red TSN;

4. Según la configuración de QoS, el VEP intentará establecer un flujo de TSN; o mapearlo a un flujo de TSN existente o iniciar una configuración de flujo de TSN hacia el CNC o CUC, según cómo esté configurada la red TSN, que el VEP deberá conocer mediante el uso de características de TSN, como se define, p. ej., en 802.1Qcc.

5. En caso de que la configuración del flujo de TSN sea satisfactoria, se inicia la comunicación en el plano de usuario; luego, el VEP mapeará los paquetes del plano de usuario de la sesión de PDU o el flujo de QoS específico, como se explicó anteriormente, al flujo de TSN establecido, además de realizar las acciones necesarias definidas por las características de TSN utilizadas en la red TSN.

[1551] Según una realización, al estimar la QoS requerida para el flujo de TSN en el paso 3), el VEP considera los parámetros de rendimiento de la comunicación interna dentro de la red 5G, es decir, entre el VEP y el dispositivo final. p. ej. latencia unidireccional o de ida y vuelta, índice de error de paquetes o indicador de fiabilidad, etc. Cuando el VEP comunica los requisitos de QoS a la red TSN, considera esos parámetros de rendimiento interno, ya que la red TSN “piensa” que el VEP y el punto final son el mismo. Por lo tanto, cuando se trata, por ejemplo, de un valor de latencia de extremo a extremo requerido para comunicarse a la red TSN, en lugar de indicar el requisito real de X ms, se indica un requisito más difícil de X ms-(VEP al retraso del dispositivo final). Para

conocer los parámetros de rendimiento de la comunicación interna, se pueden utilizar protocolos de comunicación dentro de la red 5G, tales como:

- VEP se comunica directamente o mediante una función central de 5G adicional con el gNB para obtener mediciones o estimaciones del UE-gNB, es decir, el rendimiento de comunicación de la interfaz de radio 5G. Por ejemplo, estimaciones o mediciones de latencia. El gNB puede usar mediciones para el propio UE, y también puede considerar su propio tráfico o situación de carga para estimar además qué tan bien o rápido puede servir al UE específico.
- Se pueden usar paquetes de sondeo entre el VEP y el UE, y viceversa, p. ej., para obtener la latencia entre VEP y UE.

[1552] Procedimiento si el punto final de 5G es un oyente:

1. La aplicación en el extremo de TSN solicitará un flujo de TSN o el CUC solicitará un flujo de TSN según el modelo de configuración.

2. Se recibirá una solicitud de flujo de TSN en el VEP.

3. El VEP también recibirá la QoS para la transmisión de TSN y la asignará a 5G QoS. El mapeo puede basarse en una configuración fija. Si el VEP analiza que la QoS no puede ser admitida por la red 5G, podría rechazar la solicitud de flujo de TSN.

4. Según la configuración de QoS, el VEP establecerá una nueva sesión de PDU o utilizará una sesión de PDU existente o modificará una sesión de PDU existente para cumplir con la QoS solicitada.

5. En caso de que el flujo de TSN y la configuración de la sesión de PDU sean satisfactorias, se inicia la comunicación en el plano de usuario. Luego, el VEP mapeará los paquetes del plano de usuario del flujo de TSN a la sesión de PDU correspondiente y al flujo de QoS, además de realizar las acciones requeridas definidas por las características de TSN utilizadas en la red TSN.

[1553] Según una realización, en el paso 3), para poder decidir si se puede cumplir con la QoS del flujo de TSN, el VEP considera mediciones o estimaciones del rendimiento de la comunicación interna de 5G entre el VEP y

el dispositivo final. Esas mediciones pueden obtenerse conforme se describe arriba para el paso 3) para el procedimiento del hablante.

[1554] Las características específicas que puede admitir un VEP son, por ejemplo, la sincronización de la hora con un reloj grandmaster externo, como se explica en IEEE 802.1AS-rev, para admitir, por ejemplo, la programación con base en el tiempo como se define en IEEE 802.1Qbv. El VEP participará en la configuración de una comunicación de TSN consciente del tiempo y reenviará paquetes hacia/desde un punto final de 5G que no es consciente del tiempo en consecuencia.

[1555] En el futuro, se prevé que la red 5G interactúe con TSN, lo que permitirá un caso de uso industrial. En tal situación, la implementación de características de TSN complejas en el lado del UE se convertirá en una tarea engorrosa. Las realizaciones del presente documento proponen una nueva característica para el plano de usuario de 5G denominada Punto final virtual (VEP), que permite el interfuncionamiento de las redes TSN y 5G. Además, también permite la conexión de dispositivos que no son de TSN y también dispositivos que no son de Ethernet a una red TSN usando 5G.

[1556] A continuación se describen ejemplos de realizaciones de métodos para permitir la conectividad de extremo a extremo entre una red de comunicación inalámbrica, p. ej., una red 5G y una red de comunicación cableada, p. ej., la red TSN.

[1557] Realización 1: Un método en una red de comunicación para permitir la conectividad de extremo a extremo entre una red de comunicación inalámbrica, p. ej., una red 5G y una red de comunicación cableada, p. ej., la red TSN. El método comprende:

- implementar un punto final virtual, VEP, en la red de comunicación inalámbrica;
- implementar en el VEP ciertas características de plano de control y de usuario utilizadas en la red de comunicación cableada;

- mapear el tráfico de datos, en el VEP, entre un dispositivo en la red de comunicación inalámbrica y un dispositivo en la red de comunicación cableada según la Calidad de Servicio, QoS;
- realizar las acciones requeridas definidas por las características utilizadas en la red de comunicación cableada.

[1558] Según algunas realizaciones, el VEP puede implementarse en el plano de usuario de la red 5G cerca o como parte de la función del plano de usuario, UPF.

[1559] Según algunas realizaciones, el mapeo del tráfico de datos entre un dispositivo en la red de comunicación inalámbrica y un dispositivo en la red de comunicación cableada según QoS puede comprender establecer o modificar flujos de TSN o Unidad de datos de protocolo, sesiones de PDU o flujos de QoS y traducir diferentes dominios de QoS correspondientemente.

[1560] Realización 2: Un método realizado en un punto final virtual, VEP, implementado en una red de comunicación inalámbrica para permitir la conectividad de extremo a extremo a una red de comunicación cableada. El método comprende:

- recibir una solicitud de comunicación desde un dispositivo en la red de comunicación inalámbrica o en la red de comunicación cableada;
- estimar una QoS requerida;
- mapear el tráfico de datos entre un dispositivo en la red de comunicación inalámbrica y un dispositivo en la red de comunicación cableada según la QoS requerida;
- realizar las acciones requeridas definidas por las características utilizadas en la red de comunicación cableada.

[1561] La red de comunicación inalámbrica puede ser una red de 5G de 5.ª generación y la red de comunicación cableada puede ser una red sensible al tiempo, TSN. La sesión de comunicación es una sesión de unidad de datos de protocolo, PDU, y el flujo de datos es un flujo de TSN.

[1562] Realización 3: Un método realizado en un punto final virtual, VEP, implementado en una red de comunicación inalámbrica para permitir la conectividad de extremo a extremo a una red de comunicación cableada. El punto final o dispositivo en la red de comunicación inalámbrica es un hablante; el método comprende:

- recibir una solicitud de sesión de comunicación desde un dispositivo en la red de comunicación inalámbrica;
- estimar una QoS requerida para un flujo de datos en la red de comunicación cableada;
- establecer un flujo de datos en la red de comunicación cableada según la QoS requerida;
- mapear paquetes del plano de usuario de la sesión de comunicación o un flujo de QoS específico al flujo de datos establecido;
- realizar las acciones requeridas definidas por las características utilizadas en la red de comunicación cableada.

[1563] La red de comunicación inalámbrica puede ser una red de 5G de 5.ª generación y la red de comunicación cableada puede ser una red sensible al tiempo, TSN. La sesión de comunicación puede ser una sesión de unidad de datos de protocolo, PDU, y el flujo de datos puede ser un flujo de TSN.

[1564] Según algunas realizaciones en el presente documento, establecer un flujo de datos basado en la QoS requerida que comprende el mapeo a un flujo de datos existente o iniciar una configuración de flujo de datos en la red de comunicación cableada.

[1565] Según algunas realizaciones en el presente documento, la estimación de una QoS requerida puede realizarse mediante uno o una combinación de:

- mapeo de ID de flujo de QoS (QFI) seleccionado por el dispositivo a una QoS de flujo de TSN;

- elegir una QoS de aplicación dedicada específica para la TSN proporcionada por el dispositivo;
- elegir entre los ajustes de QoS preconfigurados dentro del VEP para la red TSN;
- verificar la configuración de QoS con CUC en la red TSN para un flujo de TSN.

[1566] Realización 4: Un método realizado en un punto final virtual, VEP, implementado en una red de comunicación inalámbrica para permitir la conectividad de extremo a extremo a una red de comunicación cableada. El punto final o dispositivo en la red de comunicación inalámbrica es un oyente; el método comprende:

- recibir una solicitud de flujo de datos desde un dispositivo en la red de comunicación cableada;
- recibir una QoS para el flujo de datos;
- comprobar si la QoS de la red de comunicación inalámbrica cumple con la QoS del flujo de datos;
- comprobar si la QoS de la red de comunicación inalámbrica cumple con la QoS del flujo de datos;

a. establecer una sesión de comunicación en la red de comunicación inalámbrica con base en la QoS para el flujo de datos;

b. realizar las acciones requeridas definidas por las características utilizadas en la red de comunicación cableada.

[1567] Según algunas realizaciones del presente documento, establecer una sesión de comunicación con base en la QoS del flujo de datos que comprende establecer una nueva sesión de comunicación o usar una sesión de comunicación existente o modificar una sesión de comunicación existente para cumplir con la QoS del flujo de datos.

[1568] Realización de operaciones con base en datos almacenados distribuidos

[1569] En el almacenamiento de datos, los datos por lo general se replican en varios nodos, p. ej., para obtener una disponibilidad rápida de datos y/o evitar la corrupción/pérdida de datos. Por lo tanto, se pueden mantener varias representaciones de los mismos datos en diferentes entidades de almacenamiento. Por ejemplo, en los sistemas con base en la nube y en los sistemas informáticos de borde, el almacenamiento por lo general se distribuye en varios nodos (p. ej., computadoras, servidores, unidades de almacenamiento, etc.) y en varios niveles de rendimiento (p. ej., caché, memoria dinámica de acceso aleatorio, DRAM, disco flash, disco giratorio, etc.).

[1570] La realización de un conjunto de operaciones con base en datos almacenados como varias representaciones guardadas en diferentes entidades de almacenamiento puede llevar mucho tiempo, y la latencia hasta que se proporciona el resultado de la realización de las operaciones puede ser inaceptablemente alta en algunas situaciones.

[1571] Por lo tanto, existe la necesidad de enfoques alternativos para realizar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las respectivas de una pluralidad de entidades de almacenamiento. Preferentemente, tales enfoques proporcionan una reducción de la latencia desde el envío de una consulta de datos hasta que se proporciona el resultado de realizar el conjunto de operaciones.

[1572] El objetivo de algunas realizaciones es resolver o mitigar, aliviar o eliminar al menos algunas de las anteriores u otras desventajas.

[1573] Un primer aspecto es un método de un controlador para realizar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las respectivas de una pluralidad de entidades de almacenamiento.

[1574] El método comprende (para cada una de dos o más entidades de almacenamiento de la pluralidad de entidades de almacenamiento) enviar (a la entidad de almacenamiento) una consulta respectiva relacionada con los datos, y recibir (de la entidad de almacenamiento) una respuesta que comprende la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento.

[1575] El método también comprende (para cada una de al menos dos de las dos o más entidades de almacenamiento) iniciar una actividad de realizar el conjunto de operaciones según la representación de los datos comprendidos en la respuesta.

[1576] Además, el método comprende determinar (según las representaciones de los datos incluidos en las respuestas) una de las actividades iniciadas (una actividad concluyente) como con base en una representación concluyente de los datos, y que hace que se proporcione un resultado de la actividad concluyente como resultado de realizar el conjunto de operaciones con base en los datos.

[1577] En algunas realizaciones, las actividades de realizar el conjunto de operaciones se inician solo para las entidades de almacenamiento para las cuales la representación de los datos comprendidos en la respuesta difiere de las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas recibidas anteriormente.

[1578] En algunas realizaciones, el método comprende además determinar la representación concluyente de los datos tomando una decisión mayoritaria, o mayoritaria ponderada, entre las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas.

[1579] En algunas realizaciones, la determinación de la actividad concluyente se realiza antes de que se completen todas las actividades iniciadas.

[1580] En algunas realizaciones, las actividades se inician antes de la determinación de la actividad concluyente.

[1581] En algunas realizaciones, la representación concluyente coincide con la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento para al menos una de las dos o más entidades de almacenamiento.

[1582] En algunas realizaciones, en respuesta a la determinación de la actividad concluyente, el método también comprende cancelar las actividades iniciadas que no se basan en la representación concluyente.

[1583] En algunas realizaciones, en respuesta a la determinación de la actividad concluyente, el método también comprende cancelar todas las actividades iniciadas, excepto una que se basa en la representación concluyente.

[1584] En algunas realizaciones, antes de determinar la actividad concluyente, el método también comprende cancelar o pausar las actividades iniciadas para las cuales la probabilidad de basarse en la representación concluyente de los datos cae por debajo de un valor umbral de probabilidad.

[1585] En algunas realizaciones, al menos dos de las dos o más entidades de almacenamiento tienen un retraso de señalización diferente entre el controlador y la entidad de almacenamiento.

[1586] Tener un retraso de señalización diferente puede interpretarse como un retraso de señalización diferente según algunas realizaciones.

[1587] En algunas realizaciones, un cliente de almacenamiento comprende el controlador y una de las dos o más entidades de almacenamiento, y una entidad de almacenamiento mantiene una representación de los datos, que es una representación predeterminada o una última representación conocida.

[1588] Un segundo aspecto es un método de un controlador para la gestión de ejecutar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las que corresponden de una pluralidad de entidades de almacenamiento.

[1589] El método comprende (para cada una de dos o más entidades de almacenamiento de la pluralidad de entidades de almacenamiento) enviar —a la entidad de almacenamiento— una consulta respectiva relacionada con los datos, lo cual provoca el inicio de una actividad de ejecutar el conjunto de operaciones según la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento, y recibir —de la entidad de almacenamiento— una respuesta que comprende un indicador de la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento.

[1590] El método también comprende determinar (según los indicadores comprendidos en las respuestas) que una de las actividades iniciadas —una actividad concluyente— se basa en la representación de los datos correspondientes a un indicador concluyente, y que provoca un resultado de la actividad concluyente como resultado de ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos.

[1591] En algunas realizaciones, el método también comprende determinar el indicador concluyente tomando una decisión mayoritaria, o mayoritaria ponderada, entre los indicadores comprendidos en las respuestas.

[1592] En algunas realizaciones, la determinación de la actividad concluyente se realiza antes de que se completen todas las actividades iniciadas.

[1593] En algunas realizaciones, las actividades se inician antes de la determinación de la actividad concluyente.

[1594] En algunas realizaciones, la representación de los datos que corresponden al indicador concluyente coincide con la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento para al menos una de las dos o más entidades de almacenamiento.

[1595] En algunas realizaciones, en respuesta a la determinación de la actividad concluyente, el método también comprende cancelar las actividades iniciadas que no se basan en la representación de los datos que corresponden al indicador concluyente.

[1596] En algunas realizaciones, en respuesta a la determinación de la actividad concluyente, el método también comprende cancelar todas las actividades iniciadas, excepto una que se basa en la representación de los datos que corresponden al indicador concluyente.

[1597] En algunas realizaciones, antes de determinar la actividad concluyente, el método también comprende cancelar o pausar las actividades iniciadas para las cuales la probabilidad de basarse en la representación de los datos correspondientes al indicador concluyente cae por debajo de un valor umbral de probabilidad.

[1598] En algunas realizaciones, al menos dos de las dos o más entidades de almacenamiento tienen un retraso de señalización diferente entre el controlador y la entidad de almacenamiento.

[1599] Tener un retraso de señalización diferente puede interpretarse como un retraso de señalización diferente según algunas realizaciones.

[1600] En algunas realizaciones, un cliente de almacenamiento comprende el controlador y una de las dos o más entidades de almacenamiento, y donde una entidad de almacenamiento mantiene una representación de los datos, que es una representación predeterminada o una última representación conocida.

[1601] El primer y segundo aspecto pueden describirse como un método de un controlador para la gestión de ejecutar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las que corresponden de una pluralidad de entidades de almacenamiento.

[1602] El método comprende (para cada una de dos o más entidades de almacenamiento de la pluralidad de entidades de almacenamiento) enviar —a la entidad de almacenamiento— una consulta respectiva relacionada con los datos, y recibir —de la entidad de almacenamiento— una respuesta que comprende información relacionada con la representación de los datos guardados en la

entidad de almacenamiento (la información que comprende, p. ej., la representación o un indicador de la representación).

[1603] El método también comprende (para cada una de al menos dos de las dos o más entidades de almacenamiento) provocar el inicio de una actividad de ejecutar el conjunto de operaciones según la representación de los datos (donde el inicio puede producirse, p. ej., mediante el envío de la consulta o al realizar la iniciación).

[1604] Además, el método comprende determinar (según la información relacionada con las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas) que una de las actividades iniciadas —una actividad concluyente— se basa en la representación de los datos correspondientes a información concluyente relativa a la representación de los datos (donde la información concluyente puede ser, p. ej., una representación concluyente de los datos o un indicador concluyente), y que provoca un resultado de la actividad concluyente como resultado de la ejecución del conjunto de operaciones con base en los datos.

[1605] Generalmente, la actividad concluyente es una de las actividades iniciadas de ejecutar el conjunto de operaciones. Las actividades iniciadas para ejecutar el conjunto de operaciones también se denominan actividades especulativas más adelante en el presente documento. Por lo tanto, en esa terminología, la actividad concluyente es una de las actividades especulativas. En general, la actividad concluyente se elige entre las actividades iniciadas según una decisión de consistencia de los datos.

[1606] La decisión de consistencia de los datos puede, por ejemplo, determinar una de las representaciones de los datos como una representación concluyente, y la actividad concluyente puede elegirse como una actividad que se inició según la representación concluyente. Por ejemplo, una decisión mayoritaria entre las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas recibidas puede proporcionar la representación concluyente.

[1607] Alternativa o adicionalmente, la decisión de consistencia de los datos puede, por ejemplo, determinar uno de los indicadores de representaciones de los datos como indicador concluyente, y la actividad concluyente puede elegirse como una actividad que se inició según una representación de los datos que corresponde al indicador concluyente. Por ejemplo, una decisión mayoritaria entre los indicadores comprendidos en las respuestas recibidas puede proporcionar el indicador concluyente.

[1608] Un tercer aspecto es un producto de programa informático que comprende un medio no transitorio legible por computadora, que tiene sobre este un programa informático que comprende instrucciones de programa. El programa informático puede cargarse en una unidad de procesamiento de datos y configurarse para causar la ejecución del método según cualquiera de los primer y segundo aspectos cuando el programa informático es ejecutado por la unidad de procesamiento de datos.

[1609] Un cuarto aspecto es un aparato para un controlador y para la gestión de ejecutar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las que corresponden de una pluralidad de entidades de almacenamiento.

[1610] El aparato comprende circuitería de control configurada para provocar (para cada una de dos o más entidades de almacenamiento de la pluralidad de entidades de almacenamiento) el envío —a la entidad de almacenamiento— de una consulta respectiva relacionada con los datos, y la recepción —desde la entidad de almacenamiento— de un respuesta que comprende la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento.

[1611] La circuitería de control también está configurada para provocar (para cada una de al menos dos de las dos o más entidades de almacenamiento) el inicio de una actividad de ejecutar el conjunto de operaciones según la representación de los datos comprendidos en la respuesta.

[1612] Además, la circuitería de control está configurada para causar la determinación (con base en las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas) de que una de las actividades iniciadas —una actividad concluyente— se basa en una representación concluyente de los datos, y la provisión de un resultado de la actividad concluyente como resultado de la ejecución del conjunto de operaciones con base en los datos.

[1613] Un quinto aspecto es un aparato para un controlador y para la gestión de ejecutar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las que corresponden de una pluralidad de entidades de almacenamiento.

[1614] El aparato comprende circuitería de control configurados para provocar (para cada una de dos o más entidades de almacenamiento de la pluralidad de entidades de almacenamiento) el envío —a la entidad de almacenamiento— de una consulta respectiva relacionada con los datos, lo cual provoca el inicio de una actividad de ejecutar el conjunto de operaciones según la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento, y la recepción —de la entidad de almacenamiento— de una respuesta que comprende un indicador de la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento.

[1615] Además, la circuitería de control está configurado para causar la determinación (según los indicadores comprendidos en las respuestas) de que una de las actividades iniciadas —una actividad concluyente— se basa en la representación de los datos correspondientes a un indicador concluyente, y la provisión de un resultado de la actividad concluyente como resultado de ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos.

[1616] El quinto y cuarto aspecto pueden describirse como un aparato para un controlador y para la gestión de ejecutar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se

mantienen en las que corresponden de una pluralidad de entidades de almacenamiento.

[1617] El aparato comprende circuitería de control configurada para provocar las etapas del método de cualquiera de los aspectos primero y segundo, o del método que combina el primer y segundo aspecto.

[1618] Un sexto aspecto es un cliente de almacenamiento que comprende el aparato de cualquiera de los aspectos cuarto y quinto.

[1619] Un séptimo aspecto es un nodo de cliente que comprende el aparato de cualquiera de los aspectos cuarto y quinto y/o el cliente de almacenamiento del sexto aspecto.

[1620] En algunas realizaciones, cualquiera de los aspectos anteriores puede tener adicionalmente características idénticas o correspondientes a cualquiera de las diversas características que se explicaron anteriormente para cualquiera de los otros aspectos.

[1621] Una ventaja de algunas realizaciones es que se proporcionan enfoques alternativos para ejecutar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las que corresponden de una pluralidad de entidades de almacenamiento.

[1622] Otra ventaja de algunas realizaciones es que se puede lograr una reducción de la latencia, desde el envío de una consulta de datos hasta que se proporciona el resultado de ejecutar el conjunto de operaciones.

[1623] No obstante, una ventaja de algunas realizaciones es que se puede lograr un menor consumo de energía y/o una menor utilización de los recursos que ejecutan la operación.

[1624] Otra ventaja adicional es que el resultado de la ejecución del conjunto de operaciones corresponde al resultado logrado cuando se obtiene la consistencia de los datos antes de que se inicie cualquier actividad de ejecución del conjunto de operaciones.

[1625] Como se mencionó anteriormente, puede haber problemas de latencia al ejecutar un conjunto de operaciones con base en datos almacenados en varias representaciones, cada una mantenida por una entidad de almacenamiento respectiva.

[1626] Al ejecutar un conjunto de operaciones según los datos almacenados en varias representaciones, normalmente se obtienen dos o más de las representaciones y se toma una decisión de consistencia de los datos (p. ej., una decisión mayoritaria) para determinar qué representación de los datos utilizar cuando se ejecuta el conjunto de operaciones. La representación de los datos que se utiliza para ejecutar el conjunto de operaciones puede denominarse representación concluyente de los datos.

[1627] Por ejemplo, si hay siete representaciones de los datos, donde cuatro de las representaciones son idénticas (coinciden), esa representación se selecciona como la representación concluyente, si se aplica una decisión mayoritaria. Para ilustrar más este ejemplo, suponga que cuatro de las siete representaciones tienen un primer valor “a”, que dos de las siete representaciones tienen un segundo valor “b” y que una de las siete representaciones tiene un tercer valor “c”. Entonces, la representación concluyente tiene el primer valor “a” si se aplica una decisión mayoritaria, ya que las representaciones que tienen el primer valor “a” son mayoritarias entre las siete representaciones.

[1628] Normalmente, hay un retraso después de enviar una consulta de datos, antes de que se puedan obtener las representaciones de los datos. El retraso puede ser más prominente en algunos casos, p. ej., cuando existe una distancia geográfica relativamente grande entre el dispositivo que envía la consulta y la entidad de almacenamiento que mantiene la representación de los datos, y/o cuando la entidad de almacenamiento mantiene la representación de los datos es una entidad de almacenamiento de acceso lento. Además, el retraso puede ser diferente para entidades de almacenamiento distintas.

[1629] Por ejemplo, la primera respuesta (que comprende una representación de los datos) puede llegar relativamente rápido después de que se haya enviado la consulta; por ejemplo, si esa representación de los datos se mantiene localmente y, tal vez, incluso en una memoria/caché comprendida en el mismo aparato que la parte que realiza la consulta. Otras respuestas (que comprenden una representación de los datos) que se necesitan para obtener la consistencia de los datos pueden llegar varias órdenes de magnitud más tarde; p. ej., aproximadamente 100 milisegundos o más después de que se haya enviado la consulta para sistemas distribuidos geográficamente.

[1630] Por lo tanto, las representaciones de los datos pueden llegar con retrasos diferentes, en momentos diferentes. Estos problemas de demora posponen la decisión mayoritaria (y, por lo tanto, la ejecución de las operaciones con base en la representación concluyente de los datos y la provisión de un resultado de estas) hasta que se hayan obtenido todas las representaciones.

[1631] A continuación, se describirán realizaciones para la gestión de realizar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las que corresponden de una pluralidad de entidades de almacenamiento.

[1632] Un controlador (p. ej., una circuitería de control o una entidad/un módulo de control) puede gestionar la ejecución del conjunto de operaciones. El controlador puede, por ejemplo, estar incluido en un cliente de almacenamiento.

[1633] La pluralidad de representaciones de los datos proporciona varias fuentes de verdad para los datos. La pluralidad de representaciones de los datos puede ser, por ejemplo, para una o más de: manejo de consistencia, redundancia, confiabilidad, validez, protección contra errores, detección de errores, corrección de errores, etc.

[1634] Una o más de una pluralidad de representaciones de los datos pueden diferir de otras representaciones de los mismos datos. Por ejemplo, algunas representaciones pueden haberse actualizado mediante una operación

de escritura, mientras que otras representaciones aún no se han actualizado (p. ej., debido a un retraso en la señalización).

[1635] Los datos pueden tener cualquier forma adecuada, incluido (a mero título enunciativo) uno o más valores escalares o complejos, uno o más vectores, una o más matrices, una o más estructuras de datos, uno o más documentos, uno o más archivos de datos, una o más imágenes, uno o más videos, una o más pistas de audio, etc.

[1636] La pluralidad de entidades de almacenamiento puede comprender, por ejemplo, almacenamiento en diferentes nodos (físicos o virtuales) y/o almacenamiento en diferentes niveles en el mismo nodo (físico o virtual). En algunas realizaciones, puede haber diferentes niveles en la misma disposición de almacenamiento (p. ej., una disposición de varias computadoras en un mismo centro de datos o una misma bandeja de computadoras).

[1637] Generalmente, los diferentes niveles pueden aludir a un nivel con un número más bajo que mantiene un conjunto parcial de datos almacenados en un nivel con un número más alto, donde el nivel con un número más bajo tiene una latencia más baja que el nivel con un número más alto. Por ejemplo, el nivel 0 puede ser una memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM), el nivel 1 puede ser un disco de unidad de estado sólido (SSD) y el nivel 2 puede ser un disco duro giratorio.

[1638] Además, una o más de las entidades de almacenamiento pueden aplicar almacenamiento con base en la nube. Una o más de las entidades de almacenamiento —pero no todas— pueden ser una entidad de almacenamiento local (p. ej., una memoria caché o un registro) del controlador que gestiona la ejecución del conjunto de operaciones. Por ejemplo, un cliente de almacenamiento puede comprender el controlador y una entidad de almacenamiento que mantiene una representación de los datos que es una representación predeterminada o una última representación conocida.

[1639] Por lo tanto, el almacenamiento de la pluralidad de representaciones de los datos se distribuye (p. ej., en uno o más de: diferentes niveles, diferentes nodos, diferentes ubicaciones geográficas, etc.).

[1640] Según algunas realizaciones, las actividades de ejecutar el conjunto de operaciones se inician antes de que se haya tomado la decisión de consistencia de los datos. Normalmente, esto significa que la ejecución del conjunto de operaciones se inicia en varios casos; cada uno de los cuales puede verse como una actividad especulativa de ejecutar el conjunto de operaciones. Por ejemplo, puede iniciarse una actividad especulativa de ejecutar el conjunto de operaciones según cada una de una serie de representaciones de los datos (p. ej., una serie de representaciones únicas de los datos).

[1641] Cuando se usa en el presente documento, el término “actividad de ejecutar el conjunto de operaciones” puede referirse, por ejemplo, a una actividad que comprende (o consiste en) la ejecución del conjunto de operaciones.

[1642] Una actividad especulativa de ejecutar el conjunto de operaciones puede definirse como la ejecución (al menos en parte) del conjunto de operaciones antes de que se haya tomado la decisión de consistencia de los datos. Por lo general, todas las actividades especulativas iniciadas comprenden la ejecución del mismo conjunto de operaciones, mientras que la representación de los datos en los que se ejecuta el conjunto de operaciones puede diferir entre las actividades especulativas iniciadas para ejecutar el conjunto de operaciones.

[1643] Luego, cuando se ha tomado una decisión de consistencia de los datos, algunas realizaciones comprenden cancelar actividades especulativas de ejecutar el conjunto de operaciones que no se basan en una representación de los datos que corresponden a la decisión de consistencia de los datos (y, posiblemente, cancelar actividades especulativas duplicadas de ejecutar el conjunto de operaciones que se basan en una representación de los datos que corresponden a la decisión de consistencia de los datos). Algunas realizaciones pueden comprender dejar que una o más de las actividades especulativas

continúen después de que se haya tomado la decisión de consistencia de los datos, incluso si son duplicados y/o si no se basan en una representación de los datos que corresponden a la decisión de consistencia de los datos.

[1644] En general, cancelar las actividades de ejecutar el conjunto de operaciones puede verse como un acto de abortar, detener o terminar prematuramente las actividades de ejecutar el conjunto de operaciones.

[1645] En cualquier caso, cuando se ha tomado la decisión de consistencia de los datos, se puede proporcionar un resultado de una actividad especulativa de ejecutar el conjunto de operaciones que se basa en una representación de los datos que corresponden a la decisión de consistencia de los datos como resultado para ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos.

[1646] En el presente documento, la decisión de consistencia de los datos se denominará como una representación concluyente (coherente) de los datos y/o un indicador concluyente (coherente) de la representación de los datos. La representación concluyente de los datos puede, por ejemplo, corresponder a una de las representaciones de los datos. La decisión de consistencia de los datos puede ser una decisión con base en consenso; p. ej., una decisión mayoritaria, o mayoría ponderada, entre, p. ej., representaciones obtenidas de los datos o indicadores obtenidos de la representación de los datos.

[1647] Ejecutar un conjunto de operaciones en una actividad especulativa puede comprender, p. ej., ejecutar una parte del código del *software*. El conjunto de operaciones puede comprender un ejecutable o un producto de *software*. Alternativa o adicionalmente, el conjunto de operaciones puede comprender la ejecución en *hardware*. Los ejemplos de un ejecutable, o un producto de *software*, incluyen una función de *software*, un método, una secuencia de comandos, un módulo ejecutable binario, un contexto ejecutable, una porción del código del *software*, etc. Cualquiera de estos y/u otros ejemplos de conjuntos de operaciones pueden ejecutarse en una actividad especulativa. Una actividad

especulativa de ejecutar el conjunto de operaciones puede, en algunas situaciones, denominarse ejecución especulativa.

[1648] La Figura 201 ilustra un método de ejemplo 100 según algunas realizaciones. El método es para un controlador y para la gestión de ejecutar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las que corresponden de una pluralidad de entidades de almacenamiento.

[1649] En el paso 110, se envía una consulta respectiva a cada entidad de almacenamiento de una colección de entidades de almacenamiento a partir de la pluralidad de entidades de almacenamiento. La forma en que se selecciona la colección de entidades de almacenamiento de la pluralidad de entidades de almacenamiento puede ser de conformidad con cualquier enfoque adecuado. En la técnica, se conocen numerosos enfoques adecuados de este tipo.

[1650] La consulta está relacionada con los datos. Por ejemplo, la consulta puede comprender una petición o solicitud de datos (la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento).

[1651] En el paso 120, se recibe una respuesta (p. ej., una respuesta a una consulta) de dos o más entidades de almacenamiento de la colección de entidades. La respuesta comprende la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento desde la que se recibe la respuesta. Normalmente, las respuestas se reciben en momentos diferentes debido a retrasos diferentes, para las distintas entidades de almacenamiento, entre la entidad de almacenamiento y el controlador. Como se mencionó anteriormente, los diferentes retrasos pueden deberse, p. ej., a diferentes retrasos en la señalización (p. ej., debido a diferentes distancias geográficas) y/o diferentes tiempos de acceso al almacenamiento.

[1652] En la Figura 201, las dos o más entidades de almacenamiento están representadas por cuatro entidades de almacenamiento indicadas como

una primera entidad de almacenamiento, una entidad de almacenamiento n:th, una entidad de almacenamiento p:th y una entidad de almacenamiento x:th.

[1653] En algunas realizaciones, se recibe una respuesta de todas las entidades de almacenamiento en la colección de entidades de almacenamiento (es decir, la colección de entidades de almacenamiento consiste en dos o más entidades). En algunas realizaciones, se recibe una respuesta de menos de todas las entidades de almacenamiento en la colección de entidades de almacenamiento (es decir, la colección de entidades de almacenamiento consiste en dos o más entidades y una o más de otras entidades de almacenamiento). En cualquier caso, la colección de entidades de almacenamiento comprende las dos o más entidades. Por lo tanto, enviar una consulta respectiva a cada entidad de almacenamiento de la colección de entidades de almacenamiento comprende enviar una consulta respectiva a cada una de las dos o más entidades de almacenamiento.

[1654] Por ejemplo, se puede recibir una respuesta de siete entidades de almacenamiento, lo cual proporciona siete representaciones de los datos donde, por ejemplo, cuatro de las representaciones tienen un valor “a”, dos de las representaciones tienen un valor “b” y una de las representaciones tiene un valor “c”.

[1655] Las actividades de ejecutar el conjunto de operaciones se inician, entonces, para al menos dos de las dos o más entidades de almacenamiento como se ilustra en el paso 130. Normalmente, cada iniciación se realiza directamente después de la recepción de la respuesta correspondiente. Luego, si las respuestas se reciben en diferentes momentos, las iniciaciones también se realizarán en diferentes momentos.

[1656] El conjunto de operaciones se puede ejecutar en el propio controlador o en un aparato conectado o asociado de otro modo con el controlador. Por ejemplo, el conjunto de operaciones se puede ejecutar en el

cliente de almacenamiento o se puede ejecutar de forma distribuida (p. ej., ejecución con base en la nube).

[1657] La actividad iniciada se basa en la representación de los datos comprendidos en la respuesta.

[1658] Por lo general, las actividades de ejecutar el conjunto de operaciones se inician solo para las entidades de almacenamiento para las que la representación de los datos comprendidos en la respuesta difiere de las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas recibidas previamente (relacionadas con la misma solicitud para ejecutar el conjunto de operaciones). Por lo tanto, las actividades de ejecutar el conjunto de operaciones se inician solo para representaciones únicas de los datos. Esto tiene la ventaja de no tener que utilizar recursos innecesariamente (*hardware* de procesamiento, consumo de energía, etc.) para ejecutar el conjunto de operaciones.

[1659] Por ejemplo, una actividad de ejecutar el conjunto de operaciones se inicia típicamente para la primera entidad de almacenamiento (ilustrada por una línea continua para el paso 130 correspondiente). Luego, para cada respuesta nueva, se determina si la representación de los datos comprendidos en la respuesta coincide con la representación de los datos comprendidos en una respuesta ya recibida.

[1660] En ese caso, se puede decidir no iniciar ninguna actividad de ejecutar el conjunto de operaciones para esa entidad de almacenamiento (ilustrada para las entidades de almacenamiento n:th y x:th mediante una línea de trazos para el paso 130 correspondiente).

[1661] Si la representación de los datos comprendidos en la respuesta no coincide con ninguna de las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas ya recibidas (es decir, si la representación de los datos comprendidos en la respuesta es única), se inicia una actividad de ejecución del conjunto de operaciones para esa entidad de almacenamiento (ilustrada para la entidad de almacenamiento p:th por una línea continua para el paso 130 correspondiente).

[1662] Para el ejemplo con siete respuestas recibidas donde cuatro de las representaciones tienen un valor “a”, dos de las representaciones tienen un valor “b” y una de las representaciones tiene un valor “c”, se pueden iniciar tres actividades (especulativas) de ejecutar el conjunto de operaciones: una con base en el valor “a”, una con base en el valor “b” y una con base en el valor “c”.

[1663] En el paso 150, se determina que una de las actividades iniciadas de ejecutar el conjunto de operaciones se basa en una representación concluyente de los datos. Esta actividad se denomina actividad concluyente. Por lo tanto, la actividad concluyente es una de las actividades iniciadas de ejecutar el conjunto de operaciones. La determinación de la actividad concluyente se basa en las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas. Por ejemplo, el paso 150 puede comprender determinar la representación concluyente de los datos tomando una decisión mayoritaria, o mayoritaria ponderada, entre las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas, y seleccionar la actividad concluyente como una actividad iniciada de ejecutar el conjunto de operaciones que se basa en una representación de los datos que corresponde (p. ej., coincide con) a la representación concluyente de los datos.

[1664] La determinación de la representación concluyente de los datos y/o la determinación de la actividad concluyente puede verse como parte de una decisión de consistencia de los datos.

[1665] Por lo tanto, la actividad concluyente se elige entre las actividades iniciadas según una decisión de consistencia de los datos, donde la decisión de consistencia de los datos determina una de las representaciones de los datos como una representación concluyente y la actividad concluyente se elige como una actividad que se inició según la representación concluyente.

[1666] El paso 150 se puede realizar cuando se hayan recibido respuestas de todas las entidades de almacenamiento de la colección de entidades de almacenamiento. Alternativamente, el paso 150 se puede realizar

antes de que se hayan recibido respuestas de todas las entidades de almacenamiento de la colección de entidades de almacenamiento, p. ej., cuando se haya recibido un cierto número de respuestas (p. ej., el número que excede un valor del umbral), o cuando se ha recibido un cierto número de las respuestas que comprenden la misma representación de los datos (p. ej., el número que excede un valor umbral).

[1667] Normalmente, el paso 150 se realiza antes de que se completen todas las actividades iniciadas para ejecutar el conjunto de operaciones.

[1668] En respuesta a la determinación de la actividad concluyente, las actividades iniciadas que no se basan en la representación concluyente pueden cancelarse como se ilustra en el paso opcional 160. Alternativa o adicionalmente, todas las actividades iniciadas, excepto una que se base en la representación concluyente, pueden cancelarse en respuesta a la determinación de la actividad concluyente como también se ilustra en el paso opcional 160.

[1669] Esto puede dar la ventaja de no tener que utilizar recursos innecesariamente (*hardware* de procesamiento, consumo de energía, etc.) para ejecutar el conjunto de operaciones.

[1670] Cabe señalar que, en algunas realizaciones, también se permite que las actividades iniciadas distintas de la actividad concluyente (p. ej., todas las actividades iniciadas) se completen incluso después de que se determine la actividad concluyente. Esto puede ser beneficioso, por ejemplo, si permitir la ejecución continua de operaciones es más económico en términos informáticos y/o de la señal que cancelar la ejecución de operaciones.

[1671] En algunas realizaciones, ciertas actividades iniciadas pueden cancelarse o pausarse incluso antes de que se determine la actividad concluyente como se ilustra en el paso opcional 140. Por ejemplo, las actividades iniciadas pueden cancelarse o pausarse para las cuales la probabilidad de basarse en la representación concluyente de los datos cae por debajo de un valor umbral de probabilidad.

[1672] El valor de umbral puede ser igual a cero (cancelar/pausar solo para representaciones que no pueden convertirse en la representación concluyente) o puede ser mayor que cero, pero menor que uno (cancelar/pausar para representaciones que no pueden convertirse en la representación concluyente y para representaciones con improbabilidad de convertirse en la representación concluyente).

[1673] La probabilidad de basarse en la representación concluyente puede estimarse mediante decisiones intermedias de consistencia de los datos. Por ejemplo, si se necesitan diez respuestas para determinar la representación concluyente y si se han recibido ocho respuestas que comprenden una primera representación de los datos una vez, una segunda representación de los datos tres veces y una tercera representación de los datos cuatro veces, es claro que la primera representación de los datos no puede convertirse en la representación concluyente. Entonces, se puede cancelar la actividad iniciada de ejecutar el conjunto de operaciones con base en la primera representación de los datos.

[1674] Esto puede dar la ventaja de no tener que utilizar recursos innecesariamente (*hardware* de procesamiento, consumo de energía, etc.) para ejecutar el conjunto de operaciones.

[1675] En el paso 170, se proporciona (o se hace que se proporcione) un resultado de la actividad concluyente como resultado de ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos.

[1676] Dado que la actividad concluyente se inicia (como una de las actividades especulativas de ejecutar el conjunto de operaciones) antes de la decisión de consistencia de los datos, la latencia general puede disminuir en comparación con cuando se toma la decisión de consistencia de los datos antes de ejecutar el conjunto de operaciones.

[1677] Para continuar con el ejemplo de siete respuestas recibidas donde cuatro de las representaciones tienen un valor “a”, dos de las representaciones tienen un valor “b” y una de las representaciones tiene un valor “c”, la

representación concluyente tiene el valor “a” si se aplica una decisión mayoritaria. Las dos actividades (especulativas) que se iniciaron según el valor “b” y según el valor “c” pueden cancelarse cuando se determina la representación concluyente, y el resultado de la actividad (especulativa) que se inició según el valor “a” se puede proporcionar como resultado para ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos.

[1678] La Figura 202 ilustra un método de ejemplo 105 según algunas realizaciones. El método es para un controlador y para la gestión de ejecutar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las que corresponden de una pluralidad de entidades de almacenamiento.

[1679] Por ejemplo, siete representaciones de los datos pueden guardarse en diferentes entidades de almacenamiento donde, p. ej., cuatro de las representaciones tienen un valor “a”, dos de las representaciones tienen un valor “b” y una de las representaciones tiene un valor “c”.

[1680] En el paso 110, se envía una consulta respectiva a cada entidad de almacenamiento de una colección de entidades de almacenamiento a partir de la pluralidad de entidades de almacenamiento. La forma en que se selecciona la colección de entidades de almacenamiento de la pluralidad de entidades de almacenamiento puede ser de conformidad con cualquier enfoque adecuado. En la técnica, se conocen numerosos enfoques adecuados de este tipo.

[1681] La consulta está relacionada con los datos. Por ejemplo, la consulta puede comprender una petición o solicitud de datos (la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento) o una solicitud de un indicador de la representación de los datos. El indicador puede transmitirse más fácilmente que los datos (p. ej., puede ser más compacto). El indicador puede derivarse de (la representación de) los datos. Por ejemplo, el indicador puede ser una versión comprimida de los datos, una función hash de los datos, una

suma de comprobación de los datos, una huella digital de datos, una función hash criptográfica de los datos, etc.

[1682] Además, la consulta está configurada para provocar el inicio de una actividad de ejecutar el conjunto de operaciones según la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento como se ilustra en el subpaso 135 para cuatro entidades de almacenamiento ejemplares indicadas como una primera entidad de almacenamiento, una entidad de almacenamiento n:th, una entidad de almacenamiento p:th y una entidad de almacenamiento x:th. Esto puede lograrse, p. ej., al incluir una solicitud de operación, un identificador de funciones del *software*, un ejecutable o un recurso similar en la consulta. La actividad iniciada se basa en la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento. Normalmente, cada iniciación se realiza directamente después de la recepción de la consulta.

[1683] El conjunto de operaciones se puede ejecutar en la entidad de almacenamiento correspondiente. El conjunto de operaciones se puede ejecutar en la propia entidad de almacenamiento o en un aparato conectado a la entidad de almacenamiento, o asociado de otro modo con esta. Por ejemplo, el conjunto de operaciones se puede ejecutar de forma distribuida (p. ej., ejecución con base en la nube).

[1684] Por ejemplo, una consulta de SQL (lenguaje de consulta estructurado) puede hacer que las actividades de ejecutar un conjunto de operaciones se inicien antes de entregar una respuesta. Los ejemplos de tales actividades incluyen procesamiento simple (p. ej., suma) y procesamiento avanzado (p. ej., ejecución de funciones registradas del *software*).

[1685] Para el ejemplo con siete representaciones de las cuales cuatro representaciones tienen un valor “a”, dos de las representaciones tienen un valor “b” y una de las representaciones tiene un valor “c”, se pueden iniciar siete actividades (especulativas) de ejecutar el conjunto de operaciones: cuatro según el valor “a”, dos según el valor “b” y uno según el valor “c”.

[1686] En el paso 125, se recibe una respuesta (p. ej., una respuesta a una consulta) de dos o más entidades de almacenamiento de la colección de entidades. La respuesta comprende un indicador de la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento desde la que se recibe la respuesta. Normalmente, las respuestas se reciben en momentos diferentes debido a retrasos diferentes, para las distintas entidades de almacenamiento, entre la entidad de almacenamiento y el controlador. Como se mencionó anteriormente, los diferentes retrasos pueden deberse, p. ej., a diferentes retrasos en la señalización (p. ej., debido a diferentes distancias geográficas) y/o diferentes tiempos de acceso al almacenamiento.

[1687] En algunas realizaciones, se recibe una respuesta de todas las entidades de almacenamiento en la colección de entidades de almacenamiento (es decir, la colección de entidades de almacenamiento consiste en dos o más entidades). En algunas realizaciones, se recibe una respuesta de menos de todas las entidades de almacenamiento en la colección de entidades de almacenamiento (es decir, la colección de entidades de almacenamiento consiste en dos o más entidades y una o más de otras entidades de almacenamiento). En cualquier caso, la colección de entidades de almacenamiento comprende las dos o más entidades. Por lo tanto, enviar una consulta respectiva a cada entidad de almacenamiento de la colección de entidades de almacenamiento comprende enviar una consulta respectiva a cada una de las dos o más entidades de almacenamiento.

[1688] Normalmente, las respuestas se reciben antes de que se completen las actividades iniciadas para ejecutar el conjunto de operaciones.

[1689] En el paso 150, se determina que una de las actividades iniciadas de ejecutar el conjunto de operaciones se basa en la representación de los datos que corresponde a un indicador concluyente. Esta actividad de ejecutar el conjunto de operaciones se denomina actividad concluyente. Por lo tanto, la

actividad concluyente es una de las actividades iniciadas de ejecutar el conjunto de operaciones.

[1690] La determinación de la actividad concluyente se basa en los indicadores de las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas. Por ejemplo, el paso 150 puede comprender determinar el indicador concluyente tomando una decisión mayoritaria, o mayoría ponderada, entre los indicadores comprendidos en las respuestas, y seleccionar la actividad concluyente como una actividad iniciada de ejecutar el conjunto de operaciones que se basa en una representación de los datos que corresponde al indicador concluyente.

[1691] La determinación del indicador concluyente y/o la determinación de la actividad concluyente puede verse como parte de una decisión de consistencia de los datos.

[1692] Por lo tanto, la actividad concluyente se elige entre las actividades iniciadas según una decisión de consistencia de los datos, donde la decisión de consistencia de los datos determina uno de los indicadores de las representaciones de los datos como un indicador concluyente y la actividad concluyente se elige como una actividad que se inició según una representación de los datos que corresponde al indicador concluyente.

[1693] Preferentemente, la actividad concluyente se selecciona entre las actividades iniciadas que se basan en representaciones correspondientes al indicador concluyente, como la actividad iniciada que se espera completar primero.

[1694] El paso 150 se puede realizar cuando se hayan recibido respuestas de todas las entidades de almacenamiento de la colección de entidades de almacenamiento. Alternativamente, el paso 150 se puede realizar antes de que se hayan recibido respuestas de todas las entidades de almacenamiento de la colección de entidades de almacenamiento, p. ej., cuando se haya recibido un cierto número de respuestas (p. ej., el número que excede

un valor del umbral), o cuando se ha recibido un cierto número de las respuestas que comprenden el mismo indicador (p. ej., el número que excede un valor umbral).

[1695] Normalmente, el paso 150 se realiza antes de que se completen todas las actividades iniciadas para ejecutar el conjunto de operaciones.

[1696] En respuesta a la determinación de la actividad concluyente, las actividades iniciadas de ejecutar el conjunto de operaciones que no se basan en una representación que corresponde al indicador concluyente pueden cancelarse como se ilustra en el paso opcional 160. Alternativa o adicionalmente, todas las actividades iniciadas para ejecutar el conjunto de operaciones, excepto una que se basa en una representación que corresponde al indicador concluyente, pueden cancelarse en respuesta a la determinación de la actividad concluyente como también se ilustra en el paso opcional 160.

[1697] Esto puede dar la ventaja de no tener que utilizar recursos innecesariamente (*hardware* de procesamiento, consumo de energía, etc.) para ejecutar el conjunto de operaciones.

[1698] Cabe señalar que, en algunas realizaciones, también se permite que las actividades iniciadas distintas de la actividad concluyente (p. ej., todas las actividades iniciadas) se completen incluso después de que se determine la actividad concluyente. Esto puede ser beneficioso, por ejemplo, si permitir la ejecución continua de operaciones es más económico en términos informáticos y/o de la señal que cancelar la ejecución de operaciones.

[1699] En algunas realizaciones, ciertas actividades iniciadas de ejecutar el conjunto de operaciones pueden cancelarse o pausarse incluso antes de que se determine la actividad concluyente como se ilustra en el paso opcional 140. Por ejemplo, las actividades iniciadas pueden cancelarse o pausarse para las cuales la probabilidad de basarse en la representación que corresponde al indicador concluyente de los datos cae por debajo de un valor umbral de probabilidad.

[1700] El valor umbral de probabilidad puede ser igual a cero (cancelar/pausar solo para representaciones que corresponden a un indicador que no puede convertirse en el indicador concluyente) o puede ser mayor que cero, pero menor que uno (cancelar/pausar representaciones que corresponden a un indicador que no puede convertirse en el indicador concluyente y para representaciones que corresponden a un indicador con improbabilidad de convertirse en el indicador concluyente).

[1701] La probabilidad de basarse en una representación que corresponda al indicador concluyente puede estimarse mediante decisiones intermedias de coherencia de los datos como se explicó anteriormente en relación con la Figura 201.

[1702] Esto puede dar la ventaja de no tener que utilizar recursos innecesariamente (*hardware* de procesamiento, consumo de energía, etc.) para ejecutar el conjunto de operaciones.

[1703] En el paso 170, se proporciona (o se hace que se proporcione) un resultado de la actividad concluyente como resultado de ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos.

[1704] Dado que la actividad concluyente se inicia (como una de las actividades especulativas de ejecutar el conjunto de operaciones) antes de la decisión de consistencia de los datos, la latencia general puede disminuir en comparación con cuando se toma la decisión de consistencia de los datos antes de ejecutar el conjunto de operaciones.

[1705] Para continuar con el ejemplo de siete representaciones de las cuales cuatro representaciones tienen un valor “a”, dos de las representaciones tienen un valor “b” y una de las representaciones tiene un valor “c”, se pueden recibir siete respuestas donde cuatro comprenden un indicador que tiene el valor “a1” (se deriva de la representación que tiene el valor “a”), dos comprenden un indicador que tiene el valor “b1” (se deriva de la representación que tiene el valor “b”) y uno comprende un indicador que tiene el valor “c1” (se deriva de la

representación que tiene el valor “c”). Entonces, el indicador concluyente tiene el valor “a1” (correspondiente a la representación que tiene el valor “a”) si se aplica una decisión mayoritaria. Las dos actividades (especulativas) que se iniciaron según el valor “b” y la actividad (especulativa) que se inició según el valor “c” podrán cancelarse cuando se determine la representación concluyente, así como tres de las cuatro actividades (especulativas) que se iniciaron según el valor “a”. El resultado de la actividad (especulativa) no cancelada que se inició según el valor “a” puede proporcionarse como resultado para ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos.

[1706] La Figura 203 ilustra los pasos del método y la señalización para ejemplificar algunas realizaciones que implementan el método 100 de la Figura 201.

[1707] La Figura 203 muestra esquemáticamente un nodo de cliente (CN) 200 que comprende una aplicación (APP) 201 y un cliente de almacenamiento (SC) 202 que, a su vez, comprende una biblioteca de cliente de almacenamiento (SCL) 203 y una entidad de almacenamiento local (SE) 204. La entidad de almacenamiento local puede ser, por ejemplo, una memoria caché. La Figura 203 también muestra esquemáticamente tres nodos de almacenamiento (SN) 291, 292, 293, donde el nodo de almacenamiento 291 comprende una entidad de almacenamiento (SE) 294, el nodo de almacenamiento 292 comprende dos entidades de almacenamiento (SE) 295, 296, y el nodo de almacenamiento 293 comprende una entidad de almacenamiento (SE) 297. Las dos entidades de almacenamiento 295, 296 pueden ser, por ejemplo, una entidad de almacenamiento de nivel 0 295 y una entidad de almacenamiento de nivel 1 296.

[1708] Se puede interpretar que el cliente de almacenamiento y/o la biblioteca del cliente de almacenamiento comprende el controlador configurado para realizar el método 100 de la Figura 201, para la gestión de la ejecución de un conjunto de operaciones con base en datos. Se mantiene una pluralidad de

representaciones de los datos en las respectivas entidades de almacenamiento 204, 294, 295, 296, 297.

[1709] El proceso de la Figura 203 comienza cuando la aplicación 201 envía una señal de activación 280 al cliente de almacenamiento 202. La señal de activación puede comprender típicamente una consulta y un identificador de funciones del *software*, por ejemplo. La señal de activación 280 se recibe en la biblioteca de cliente de almacenamiento 203 como se ilustra en 205.

[1710] En el paso 210 (compárese con el paso 110 de la Figura 201), se envía una consulta respectiva 281a-e a cada una de las entidades de almacenamiento. Las consultas respectivas pueden basarse típicamente en la señal de activación 280. Por ejemplo, una consulta incluida en la señal de activación 280 puede usarse como, o puede traducirse a, las consultas 281a-e.

[1711] En los pasos 220a-e (compárese con los pasos 120 de la Figura 201), se recibe una respuesta 282a-e de cada una de las entidades de almacenamiento. La respuesta comprende la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento desde la que se recibe la respuesta. Las respuestas se reciben en momentos diferentes debido a retrasos diferentes, para las distintas entidades de entre la entidad de almacenamiento y la biblioteca del cliente de almacenamiento.

[1712] Primero, en el paso 220a, se recibe una respuesta 282a de la entidad de almacenamiento local 204. Se inicia una actividad de ejecutar el conjunto de operaciones, según la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento local 204 y comprendidos en la respuesta 282a, en respuesta a la recepción de la respuesta 282a, como se ilustra en el paso 230a (compárese con los pasos 130 de la Figura 201) y la señal de iniciación 283a. En este ejemplo, el conjunto de operaciones para la entidad de almacenamiento local 204 se ejecuta en el cliente de almacenamiento como se ilustra en 231a.

[1713] Posteriormente, en el paso 220b, se recibe una respuesta 282b de la entidad de almacenamiento 294. Se comprueba si la representación de los

datos comprendidos en la respuesta 282b difiere de la representación de los datos comprendidos en la respuesta 282a. Si es así, se inicia una actividad de ejecutar el conjunto de operaciones, según la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento 294 y comprendidos en la respuesta 282b, en respuesta a la recepción de la respuesta 282b, como se ilustra en el paso 230b (compárese con los pasos 130 de la Figura 201) y la señal de iniciación 283b. En este ejemplo, el conjunto de operaciones para la entidad de almacenamiento 294 se realiza en el cliente de almacenamiento como se ilustra en 231b.

[1714] Incluso más adelante, en los pasos 220c-e, se reciben las respuestas 282c-e de las entidades de almacenamiento 295, 296, 297. Para cada respuesta, se comprueba si la representación de los datos comprendidos en la respuesta difiere de la representación de los datos comprendidos en cualquier respuesta recibida previamente. Si es así, se inicia una actividad de ejecutar del conjunto de operaciones, según la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento y comprendidos en la respuesta, en respuesta a la recepción de la respuesta (compárese con los pasos 130 de la Figura 201). De lo contrario, no se inicia ninguna actividad nueva para ejecutar el conjunto de operaciones. Este último es el caso del ejemplo de la Figura 203 en relación con las respuestas 282c-e.

[1715] Por ejemplo, las respuestas 282c y 282e pueden comprender representaciones de los datos que coinciden con la representación de los datos comprendidos en la respuesta 282a, y la respuesta 282d puede comprender una representación de los datos que coincide con la representación de los datos comprendidos en la respuesta 282b.

[1716] En el paso 250 (compárese con el paso 150 de la Figura 201), se determina que una de las actividades iniciadas 231a, 231b de ejecutar el conjunto de operaciones se basa en una representación concluyente de los datos. La determinación de la actividad concluyente se basa en las

representaciones de los datos comprendidos en las respuestas. Por ejemplo, el paso 250 puede comprender determinar la representación concluyente de los datos tomando una decisión mayoritaria entre las representaciones de los datos comprendidos en las respuestas, y seleccionar la actividad concluyente como una actividad iniciada de ejecutar el conjunto de operaciones que se basa en una representación de los datos que coincide con a la representación concluyente de los datos.

[1717] En el ejemplo de la Figura 203, la actividad iniciada 231a se determina como la actividad concluyente. Esto puede deberse, por ejemplo, a que se basa en una representación de los datos que estaban comprendidos en una mayoría 282a, 282c, 282e de las respuestas 282a-e.

[1718] En respuesta a la determinación de la actividad concluyente 231a, la actividad iniciada 231b se cancela como se ilustra en el paso 260 (compárese con el paso 160 de la Figura 201) y la señal de cancelación 284, porque no se basa en la representación concluyente.

[1719] Cuando se completa la actividad concluyente, el resultado 285 de esta se proporciona a la aplicación 201 como resultado de ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos, como se ilustra en el paso 270 (compárese con el paso 170 de la Figura 201) y la señal de resultado 286.

[1720] La Figura 204 ilustra los pasos del método y la señalización para ejemplificar algunas realizaciones que implementan el método 105 de la Figura 202.

[1721] La Figura 204 muestra esquemáticamente un nodo de cliente (CN) 300 que comprende una aplicación (APP) 301 y un cliente de almacenamiento (SC) 302 que, a su vez, comprende una biblioteca de cliente de almacenamiento (SCL) 303. La Figura 204 también muestra esquemáticamente tres nodos de almacenamiento (SN) 391, 392, 393, donde el nodo de almacenamiento 391 comprende una entidad de almacenamiento (SE) 394, el nodo de almacenamiento 392 comprende dos entidades de almacenamiento (SE) 395,

396, y el nodo de almacenamiento 393 comprende una entidad de almacenamiento (SE) 397. Las dos entidades de almacenamiento 395, 396 pueden ser, por ejemplo, una entidad de almacenamiento de nivel 0 395 y una entidad de almacenamiento de nivel 1 396.

[1722] Se puede interpretar que el cliente de almacenamiento y/o la biblioteca del cliente de almacenamiento comprende el controlador configurado para realizar el método 105 de la Figura 202, para la gestión de la ejecución de un conjunto de operaciones con base en datos. Se mantiene una pluralidad de representaciones de los datos en las respectivas entidades de almacenamiento 394, 395, 396, 397.

[1723] El proceso de la Figura 204 comienza cuando la aplicación 301 envía una señal de activación 380 al cliente de almacenamiento 302. La señal de activación puede comprender típicamente una consulta y un identificador de funciones del *software*, por ejemplo. La señal de activación 380 se recibe en la biblioteca de cliente de almacenamiento 303 como se ilustra en 305.

[1724] En el paso 310 (compárese con el paso 110 de la Figura 202), se envía una consulta respectiva 381b-e a cada una de las entidades de almacenamiento. Las consultas respectivas pueden basarse típicamente en la señal de activación 380. Por ejemplo, una consulta incluida en la señal de activación 380 puede usarse como, o puede traducirse a, las consultas 381b-e.

[1725] Las consultas 381b-e están relacionadas con los datos. Por ejemplo, las consultas 381b-e pueden comprender una solicitud de una función hash de los datos. Además, las consultas 381b-e están configuradas para provocar el inicio (compárese con los subpasos 135 de la Figura 202) de las actividades de ejecutar el conjunto de operaciones según la representación de los datos guardados en las entidades de almacenamiento, como se ilustra en 331b-e.

[1726] En los pasos 320b-e (compárese con los pasos 125 de la Figura 202), se recibe una respuesta 382b-e de cada una de las entidades de

almacenamiento. La respuesta comprende un indicador (en este ejemplo, una función hash) de la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento desde la que se recibe la respuesta. Las respuestas se reciben en momentos diferentes debido a retrasos diferentes, para las distintas entidades de entre la entidad de almacenamiento y la biblioteca del cliente de almacenamiento.

[1727] Por ejemplo, las respuestas 382b, 382c y 382e pueden comprender el mismo valor indicador (valor hash), y la respuesta 382d puede comprender otro indicador (valor hash).

[1728] En el paso 350 (compárese con el paso 150 de la Figura 202), se determina que una de las actividades iniciadas 331b-e de ejecutar el conjunto de operaciones se basa en la representación de los datos que corresponde a un indicador concluyente. La determinación de la actividad concluyente se basa en los indicadores comprendidos en las respuestas. Por ejemplo, el paso 350 puede comprender determinar el indicador concluyente tomando una decisión mayoritaria entre los indicadores comprendidos en las respuestas, y seleccionar la actividad concluyente como una actividad iniciada de ejecutar el conjunto de operaciones que se basa en una representación de los datos que corresponde al indicador concluyente.

[1729] En el ejemplo de la Figura 204, la actividad iniciada 331b se determina como la actividad concluyente. Esto puede deberse, por ejemplo, a que se basa en una representación de los datos que estaban comprendidos en una mayoría 382b, 382c, 382e de las respuestas 382b-e, y debido a que se espera que se complete antes de las actividades iniciadas 331c y 331e.

[1730] En respuesta a la determinación de la actividad concluyente 331b, las actividades iniciadas 331c-e se cancelan como se ilustra en el paso 360 (compárese con el paso 160 de la Figura 202) y las señales de cancelación 384c-e, porque no se basan en una representación que corresponde al indicador concluyente o se presumen duplicados de la actividad concluyente.

[1731] Cuando se completa la actividad concluyente, el resultado 385 de esta se proporciona a la aplicación 301 como resultado de ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos, como se ilustra en el paso 370 (compárese con el paso 170 de la Figura 202) y la señal de resultado 386.

[1732] Ahora, se darán algunos ejemplos de la activación (compárese con las señales de activación 280, 380) de los métodos descritos anteriormente. Tal activación se puede implementar, por ejemplo, en una interfaz de la aplicación.

[1733] Normalmente, la aplicación envía una instrucción al cliente de almacenamiento para activar la ejecución especulativa de un conjunto de operaciones (p. ej., ejecución especulativa). La instrucción normalmente incluye una solicitud de operación, un identificador de funciones del *software*, un ejecutable o similar.

[1734] Un ejecutable podría representarse de muchas formas diferentes, p. ej., por referencia a un símbolo o posición en la imagen ejecutable (de la aplicación), por una copia de un blob ejecutable, por código o secuencia de comandos interpretable, por una copia de —o referencia a— código de bytes, etc.

[1735] La instrucción también puede comprender una política de programación para programar las ejecuciones especulativas. Un ejemplo de una política de programación podría ser programar iniciaciones de ejecuciones especulativas en recursos con una velocidad de procesamiento sucesivamente más baja (para permitir que las primeras ejecuciones iniciadas terminen lo antes posible).

[1736] La instrucción también puede comprender contexto, p. ej., estructuras de datos declaradas antes de cualquier llamada al ejecutable, funciones del *software* o bibliotecas declaradas en otro lugar, etc.

[1737] La instrucción también puede comprender la consulta. La consulta se puede formular de muchas formas, p. ej., como clave para la búsqueda de valores, como consulta de SQL, como consulta gráfica, etc.

[1738] Un ejemplo de una interfaz de aplicación directa se puede expresar en pseudocódigo como:

def myfunc(value):

return heavyprocessing.do(value)

mykey = “something”

response = storageclient.getkey(myfunc, mykey)

Un ejemplo de una interfaz de aplicación más evolucionada se puede expresar en pseudocódigo como:

mykey = “something”

con StorageClient(key=mykey) como cliente:

response = spawn heavyprocessing.do (client.value)

Aquí, *myfunc* denota un ejecutable, *value* denota representación de datos y *mykey* denota una consulta. En la interfaz de aplicación más evolucionada, el ejecutable es la expresión después de la palabra clave *spawn*.

[1739] La Figura 205 ilustra de forma esquemática un aparato 410 de ejemplo según algunas realizaciones. El aparato puede, por ejemplo, estar comprendido en un nodo cliente (CN) 430. El nodo cliente también puede comprender una aplicación (APP) 440 y/o una entidad de almacenamiento local (LS) 450.

[1740] El aparato comprende circuitería de control (CNTR; por ejemplo, un controlador) 400 para la gestión de ejecutar un conjunto de operaciones con base en datos, donde una pluralidad de representaciones de los datos se mantienen en las que corresponden de una pluralidad de entidades de almacenamiento. La circuitería de control puede, por ejemplo, configurarse para provocar la ejecución de (p. ej., ejecutar) uno o más de los pasos del método conforme se describe arriba en relación con las Figuras 207, 208, 209 y 210.

[1741] La circuitería de control está configurada para provocar (para cada una de dos o más entidades de almacenamiento de la pluralidad de entidades

de almacenamiento) el envío, a la entidad de almacenamiento, de una consulta respectiva relacionada con los datos (compárese con 110, 210, 310).

[1742] La circuitería de control también está configurada para provocar (para cada una de las dos o más entidades de almacenamiento de la pluralidad de entidades de almacenamiento) la recepción, desde la entidad de almacenamiento, de una respuesta a la consulta (compárese con 120, 125, 220a-e, 320b-e). La respuesta puede comprender la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento o un indicador de la representación de los datos guardados en la entidad de almacenamiento.

[1743] Con este fin, la circuitería de control puede estar asociada con (p. ej., conectada o conectable a) una interfaz de comunicación (I/O) 420. La interfaz de comunicación puede configurarse, para entidades de almacenamiento distintas de la entidad de almacenamiento local, para enviar la consulta respectiva relacionada con los datos y recibir la respuesta a la consulta.

[1744] Además, la circuitería de control está configurada para provocar (para cada una de al menos dos de las dos o más entidades de almacenamiento) el inicio de actividades de ejecución del conjunto de operaciones con base en la representación de los datos (compárese con 130, 135, 230a-b, 310).

[1745] Para ello, la interfaz de comunicación 420 puede configurarse para enviar señales de iniciación según algunas realizaciones. Alternativamente, la circuitería de control puede configurarse para ejecutar el conjunto de operaciones por sí misma.

[1746] La circuitería de control también está configurada para causar la determinación, según las representaciones de los datos o los indicadores incluidos en las respuestas, de que una de las actividades iniciadas de ejecutar el conjunto de operaciones (denominada actividad concluyente) se basa en una representación concluyente de los datos o en la representación de los datos correspondientes a un indicador concluyente (compárese con 150, 250, 350).

[1747] Para tal fin, la circuitería de control puede comprender, o estar asociada de otra manera con (p. ej., conectada o conectable a), un determinante (DET; p. ej., circuitería de determinación) 401. El determinante puede configurarse para determinar la actividad concluyente.

[1748] La circuitería de control también está configurada para provocar la provisión —p. ej., a la aplicación 440— de un resultado de la actividad concluyente como resultado de ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos. Para tal fin, la interfaz de comunicación 420 puede configurarse para proporcionar el resultado de la actividad concluyente como resultado de ejecutar el conjunto de operaciones con base en los datos.

[1749] Generalmente, cuando en el presente documento se hace referencia a una disposición, esta se entiende como un producto físico; p. ej., un aparato. El producto físico puede comprender una o más piezas, tales como circuitería de control en la forma de uno o más controladores, uno o más procesadores, o similares.

[1750] Las realizaciones descritas y sus equivalentes pueden realizarse en *software* o *hardware* o una combinación de estos. Las realizaciones pueden realizarse mediante circuitería de uso general. Los ejemplos de circuitería de uso general incluyen procesadores de señales digitales (DSP), unidades de procesamiento central (CPU), unidades de coprocesador, matrices de puertas programables (FPGA) y otro *hardware* programable. De forma alternativa o adicional, las realizaciones se pueden realizar mediante circuitería especializada, tales como circuitos integrados de aplicación específica (ASIC). La circuitería de propósito general y/o la circuitería especializada pueden, por ejemplo, estar asociadas o comprendidas en un aparato tal como un nodo de cliente (p. ej., servidor, computadora, etc.).

[1751] Las realizaciones pueden aparecer dentro de un aparato electrónico (tal como un nodo de cliente) que comprende disposiciones, circuitería y/o lógica según cualquiera de las realizaciones que se describen en

el presente documento. De forma alternativa o adicional, un aparato electrónico (tal como un nodo de cliente) puede configurarse para realizar métodos según cualquiera de las realizaciones que se describen en el presente documento.

[1752] Configuración de rutas redundantes

[1753] Como se analizó en profundidad anteriormente, los futuros sistemas de comunicaciones móviles tienen como objetivo apoyar las comunicaciones en campos tales como el dominio de la fabricación industrial. En comparación con los casos de uso típicos del tráfico de comunicaciones móviles, tales como las llamadas telefónicas y los datos de Internet, las aplicaciones/los servicios de fabricación industrial requieren una mayor fiabilidad, disponibilidad y latencia baja y determinista. Otros casos de uso pueden tener requisitos similares, tales como cirugía remota, vehículos autónomos, etc.

[1754] Por lo general, dicha comunicación viajará a través de rutas que atraviesan ambas redes inalámbricas (p. ej., redes celulares, tales como las normalizadas por 3GPP: LTE, NR, etc.) y redes cableadas (p. ej., redes Ethernet, etc.). Se han realizado varios esfuerzos para lograr una alta fiabilidad, disponibilidad y un nivel bajo y determinista en las redes de comunicaciones inalámbricas y alámbricas.

[1755] Las redes sensibles al tiempo (TSN) IEEE 802.1 se basan en la norma de Ethernet IEEE 802.3, por lo que es una norma de comunicaciones cableadas. Las TSN describen una colección de características para, p. ej., sincronización de tiempo, transmisiones de baja latencia garantizadas y alta fiabilidad para hacer que Ethernet sea determinista, lo que se usaba anteriormente principalmente para comunicaciones de mejor esfuerzo. Las funciones se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Sincronización de tiempo (p. ej., IEEE 802.1AS)
- Latencia baja limitada (p. ej., IEEE 802.1Qav, IEEE 802.1Qbu, IEEE 802.1Qbv, IEEE 802.1Qch, IEEE 802.1Qcr)

- Ultrafiabilidad (p. ej., IEEE 802.1CB, IEEE 802.1Qca, IEEE 802.1Qci)
- Configuración y administración de redes (p. ej., IEEE 802.1Qat, IEEE 802.1Qcc, IEEE 802.1Qcp, IEEE 802.1CS)

[1756] Las TSN utilizan el concepto de secuencias (o flujos) para el intercambio de datos entre uno o más hablantes y uno o más oyentes. Los hablantes y oyentes también pueden denominarse “dispositivos finales”, es decir, los dispositivos de hablante y oyente de las secuencias de TSM. Para configurar una secuencia de TSN, los oyentes y los hablantes proporcionan requisitos a la red TSN que se utilizan para la programación y las decisiones de configuración; p. ej., cómo deben comportarse los puentes (también conocidos como conmutadores o conmutadores Ethernet) entre un oyente y un hablante.

[1757] La norma IEEE 802.1Qcc especifica tres modelos de configuración de TSN: el modelo totalmente distribuido; el modelo de red centralizada y usuario distribuido; y el modelo totalmente centralizado. Para el caso de uso en fabricación industrial, el modelo de configuración totalmente centralizado podría ser el más adecuado. Sin embargo, las realizaciones de la divulgación pueden utilizar alternativamente el modelo totalmente distribuido o el modelo de red centralizada y usuario distribuido.

[1758] Para el modelo de configuración totalmente centralizado, la Configuración de usuario central (CUC) y la Configuración de red central (CNC) son funciones lógicas en lugar de nodos físicos reales en la red. La CUC es la entidad que se encarga de la configuración de los oyentes y los hablantes. La CNC es la entidad que configura las funcionalidades de TSN en los puentes de la red.

[1759] La descripción de las redes de comunicación inalámbrica está en el contexto de las redes 5G, utilizando Evolución a largo plazo (LTE) y/o Nueva radio (NR). Las realizaciones de la divulgación pueden relacionarse alternativamente con otras redes de comunicación inalámbrica, particularmente redes celulares tales como las normalizadas por 3GPP.

[1760] La arquitectura del sistema 5G (5GS) como se describe en TS 23.501, v 15.3.0 especifica el soporte de sesiones de unidad de datos del protocolo Ethernet (PDU). El sistema 5G no proporciona la dirección de control de acceso al medio (MAC) para esta sesión de PDU.

[1761] Para la configuración de la sesión de PDU de Ethernet, la función de gestión de sesión (SMF) y la función del plano de usuario (UPF) actúan como anclajes de sesión de PDU. Además, según la configuración, la SMF puede solicitar a la UPF que actúa como anclaje de sesión de PDU que redirija el tráfico del protocolo de resolución de direcciones (ARP) de la UPF a la SMF. Además, se supone que la UPF almacena las direcciones MAC recibidas del UE y las asocia con la sesión adecuada de la PDU.

[1762] Además, para suministrar calidad de servicio (QoS), la SMF proporciona un conjunto de filtros de paquetes Ethernet y reglas de reenvío con base en la estructura de la trama de Ethernet y la dirección de MAC del equipo de usuario.

[1763] La función de aplicación (AF) en la arquitectura del sistema 3GPP es un nodo funcional que interactúa con la red central 3GPP para proporcionar servicios como, por ejemplo:

- Influencia de la aplicación en el enrutamiento del tráfico (TS 23.501, v 15.3.0, cláusula 5.6.7).
- Acceso a la función de exposición de red (TS 23.501, v 15.3.0, cláusula 5.20).
- Interactuar con el marco de control de políticas para el control de políticas (TS 23.501, v 15.3.0, cláusula 5.14).

[1764] Además, la AF puede activar servicios particulares hacia el UE, por ejemplo, la modificación de la sesión de PDU. En 3GPP TS 23.501, v 15.3.0, cláusula 4.4.5, se describen más detalles sobre los servicios de activación de aplicaciones.

[1765] En la actualidad, no existe ningún mecanismo sobre cómo configurar transmisiones de TSN redundantes sobre 5GS. Las normas de 3GPP actuales admiten diferentes formas de aumentar la fiabilidad de las transmisiones, tales como la conectividad dual o múltiple (DC), la agregación de portadoras (CA) y la duplicación de paquetes. Sin embargo, no existe una interfaz o comunicación definida entre la red 5GS y TSN sobre cómo configurar la redundancia (que podría usar esos métodos para aumentar la fiabilidad de la transmisión).

[1766] Como ejemplo de un caso de uso, el interfuncionamiento entre las redes 5GS y TSN es muy relevante para la implementación de una red industrial. Desafortunadamente, este tipo de interconexión de redes sin interrupciones no es factible con las redes actuales.

[1767] Ciertos aspectos de la presente divulgación y sus realizaciones pueden proporcionar soluciones a estos u otros desafíos.

[1768] Por ejemplo, en un aspecto, la divulgación proporciona un método en un nodo de red central para una red de comunicación inalámbrica. El método comprende: recibir un mensaje de configuración a través de una interfaz con un nodo de configuración asociado con una red de comunicación cableada, y el mensaje de configuración comprende ajustes para una pluralidad de rutas entre un primer nodo acoplado a la red de comunicación cableada y un segundo nodo acoplado a la red inalámbrica de comunicación; la pluralidad de rutas que transportan una pluralidad de secuencias de datos entre el primer y segundo nodo, y la pluralidad de secuencias de datos comprende al menos una secuencia de datos redundante; y configurar la pluralidad de rutas dentro de la red de comunicación inalámbrica según los ajustes.

[1769] En otro aspecto, la divulgación proporciona un método en un nodo de configuración para una red de comunicaciones cableadas. El método comprende: transmitir un mensaje de solicitud a través de una interfaz con un nodo de red central para una red de comunicación inalámbrica, y el mensaje de

solicitud comprende una solicitud de información relacionada con una topología de la red de comunicación inalámbrica; y recibir un mensaje de información a través de la interfaz con el nodo de red central, y el mensaje de información comprende información relacionada con la topología de la red de comunicación inalámbrica.

[1770] Ciertas realizaciones pueden proporcionar una o más de las siguientes ventajas: Transporte de paquetes determinista de extremo a extremo sobre TSN y 5GS; configuración de características de redundancia de la secuencia de TSN sobre 5GS; e integración perfecta en la arquitectura de la red central 5G

[1771] La Figura 206 muestra la transmisión de flujos de datos TSN que emplea rutas redundantes.

[1772] En el futuro, se prevé que 5G admitirá las funciones de TSN y transportará transmisiones de TSN a través de enlaces inalámbricos 5G. Esto es muy relevante para los casos de uso industrial, ya que se espera que la TSN se convierta en una importante tecnología de comunicación en este sector. Con el soporte del tráfico de TSN en la red 5G, la comunicación inalámbrica se puede utilizar, como reemplazo del cable, para redes industriales implementadas con TSN. Una de las características importantes de TSN es la norma IEEE 802.1CB: Replicación y eliminación de tramas para mayor fiabilidad, que permite transmisiones redundantes para aumentar la fiabilidad en caso de que se produzcan fallas en una de las rutas transmitidas.

[1773] Este escenario se ilustra en la Figura 206. Las flechas grises ilustran los fotogramas duplicados en la red. Las flechas negras representan una única secuencia de TSN. La secuencia del Hablante se muestra a la izquierda y la secuencia de datos que se entrega al Oyente se muestra en la parte derecha de la figura.

[1774] Según realizaciones de la divulgación, se propone una interfaz en el 5GS que permite tales interacciones con la red TSN. Esta interfaz en el lado

5G puede ser parte de la función de aplicación (AF) u otra entidad de red (como otra función o nodo de red central). Una función de esta nueva interfaz propuesta es interactuar con uno o más nodos dentro de una red TSN, como por ejemplo la CNC, que configura las rutas redundantes de tramas a través de la red, y convertir los requisitos para las secuencias TSN en las características relevantes sobre el 5GS.

[1775] La Figura 207 muestra un ejemplo de dicha integración. El 5GS, al usar el AF (o un nodo o una función de red central alternativa conforme se describe arriba), actúa como uno o varios conmutadores de TSN, y la CNC y otros conmutadores de TSN en la red TSN lo ven como uno o más conmutadores de TSN.

[1776] La configuración de dos rutas de datos independientes en la TSN depende de los requisitos del *software* de la aplicación (p. ej., un controlador lógico programable, PLC). El parámetro de configuración relevante puede ser “NumSeamlessTrees”, especificado en la norma IEEE 802.1Qcc 46.2.3.6.1. Si el valor de este parámetro es mayor que uno, entonces la CNC necesita calcular y configurar árboles con máxima separación (para un valor de 2, hay dos árboles casi desconectados).

[1777] En una realización de la divulgación, una función de red central 5G (que interactúa con AF) determina si se pueden configurar dos rutas independientes (árboles sin interrupciones) dentro de la red 5G. Para hacer esto, se puede enviar una solicitud a RAN, p. ej., a un solo gNB o varios gNB. La red 5G puede admitir la redundancia de los paquetes transmitidos (p. ej., para aumentar la fiabilidad) mediante el uso de una o varias técnicas de la red 5G. Los ejemplos adecuados pueden incluir conectividad dual, agregación de portadoras y duplicación. Para usar rutas redundantes o varias rutas para transmisiones de TSN en un 5GS, se pueden conectar dos o más UE a la misma red o dispositivo Ethernet y usarse como alternativa o en combinación con otras

características de redundancia. Las Figuras 209 a 211 dan varios ejemplos de rutas redundantes en una red inalámbrica.

[1778] La Figura 211 muestra una arquitectura en la que se utilizan dos UE por motivos de redundancia. La Figura 209 muestra un 5GS que simula diferentes rutas de TSN. La Figura 210 proporciona más información sobre cómo se pueden simular estas varias rutas al mostrar algunas de las posibles permutaciones de 5G para permitir esa redundancia superior.

[1779] Por ejemplo, en el caso más simple, ambas secuencias entrantes redundantes se reenvían a través de la misma UPF, gNB y UE. El UE podría reenviarlas a varios nodos de TSN redundantes.

[1780] Este escenario podría ser aplicable si se supone que el 5GS es lo suficientemente fiable sin usar redundancia física. Otra opción sería usar la redundancia solo en la red radioeléctrica, pero usando una sola UPF en la red central, o un solo UE, pero con conectividad dual. Los expertos en la técnica apreciarán que existen varias opciones.

[1781] Según algunas realizaciones de la divulgación, la forma en que se admite la redundancia en el 5GS no está expuesta a la red TSN externa; en tales realizaciones, lo único que se comunica a través de la AF puede ser si se admite la redundancia y en qué grado (p. ej., cuántas rutas redundantes o cómo luce la topología redundante).

[1782] Como se señaló anteriormente, las realizaciones de la divulgación proporcionan una nueva interfaz que permite que la funcionalidad configure y habilite la redundancia de extremo a extremo entre una red de comunicación cableada (tal como una red TSN) y una red de comunicación inalámbrica (tal como una red 5G).

[1783] La Figura 207 muestra un sistema de comunicación según las realizaciones de la divulgación y, en particular, muestra que esta interacción entre el 5GS y la TSN se representa para el enfoque totalmente centralizado de la red TSN analizado anteriormente con respecto a la Figura 206.

[1784] El escenario de la Figura 207 asume que la AF es parte del dominio de la red inalámbrica. Se propone una interfaz para la comunicación entre la red inalámbrica y la red cableada. En términos de mejorar la claridad, proporcionamos un ejemplo entre la AF y la CNC, aunque este tipo de interacción también puede tener lugar en otras partes/entidades de ambas redes. Un dispositivo en la red TSN podría ser un Hablante y el dispositivo conectado a la red 5G podría ser el Oyente. En otras realizaciones, este escenario podría ser diferente, por ejemplo, el Hablante podría estar en la red inalámbrica (p. ej., 5GS) y el Oyente en la red cableada (p. ej., TSN).

[1785] La Figura 208 es un diagrama de señalización según realizaciones de la divulgación, que muestra la interacción entre la AF y la CNC. La secuencia de la interacción para configurar la secuencia de TSN es la siguiente.

0. El 5GS se conecta a una red TSN y puede usar el protocolo de descubrimiento de capa de enlace (LLDP) u otro protocolo de administración adecuado (p. ej., protocolo de administración de red simple, SNMP, Protocolo de configuración de red, NETCONF, Protocolo de configuración de transferencia de estado representativo, RESTCONF) para descubrir puentes de TSN en la red TSN y responder a las solicitudes del LLDP mediante puentes de TSN.

1. El PLC inicia la comunicación proporcionando la ID del dispositivo y posiblemente un identificador 3GPP público (p. ej., número de directorio de suscriptor internacional de la estación móvil, MSISDN) a la CUC u otras direcciones, como direcciones MAC. El mensaje enviado a la CUC u otras direcciones puede incluir uno o más de la siguiente información:

i. Tamaño de carga útil de los datos que se transfieren entre sensores y actuadores con ID del dispositivo

ii. Intervalo de tiempo

iii. Identificador público del UE 3GPP (MSISDN) (opcional)

2. La CNC descubre la topología física de la red (p. ej., los nodos de la red y los enlaces entre ellos). Para descubrir los enlaces físicos entre las

estaciones finales y los puentes, la CNC puede utilizar la norma IEEE 802.1AB (por ejemplo, LLDP) y/o cualquier protocolo de gestión remota.

- En una realización de la divulgación, la AF responde a una solicitud de topología y anuncia varias rutas a través del 5GS para poder satisfacer cualquier necesidad de redundancia. Las varias rutas pueden comprender dos o más rutas. Las rutas redundantes en el 5GS también se pueden anunciar con diferentes topologías internamente, por ejemplo, como un solo conmutador de TSN o como varios conmutadores de TSN por ruta.
- Este anuncio se puede hacer al conocer todos los mecanismos 5G relevantes que pueden admitir una mayor fiabilidad de transmisión, como la duplicación de PDCP y/o conectividad de varios UE, transporte y redundancia de red central y funciones. Esto puede incluir redundancia física completa en el 5GS de extremo a extremo.
- Como una realización adicional de la divulgación, la redundancia también se puede simular hacia la red TSN. El 5GS puede simular varias rutas y, luego, habilitar los mecanismos relevantes para respaldar la fiabilidad necesaria; la AF anunciará estas rutas desconectadas simuladas como rutas desconectadas legales hacia la CNC.
- Si la AF ha anunciado varias rutas a la CNC, pueden cambiarse dinámicamente o modificarse internamente, pero, al mismo tiempo, pueden ser estáticas hacia la CNC. Para las secuencias establecidas, estas rutas no deben cambiar mientras tenga validez un acuerdo de secuencia específico.

3. La CNC, según la información recuperada de la red (incluida la información de topología de la AF) y de la CUC, y para una aplicación PLC específica, genera parámetros de configuración de TSN que pueden incluir uno o más de:

- Memoria de tráfico: p. ej., especificar cómo el Hablante transmite las tramas para la secuencia
- StreamID

- Requisito de usuario a red: especificar uno o más requisitos de usuario para la secuencia, como latencia y redundancia

Los parámetros anteriores y adicionales se especifican en la norma IEEE 802.1Qcc, cláusula 46.2.3. Dicha información de configuración también se puede recopilar y crear dentro de diferentes modelos de configuración de TSN, tal como el enfoque de usuario centralizado y distribuido.

4. La CUC crea el grupo del Hablante y el grupo del Oyente (información requerida) y crea una solicitud de unión a la CNC.

5. La CNC recibe la solicitud de unión y realiza el cálculo de la ruta de la secuencia de TSN (incluidas las rutas a través del 5GS desde el puente de extremo hasta las estaciones finales). El algoritmo de cálculo no se especifica en la norma, y los expertos en la técnica apreciarán que existen varios métodos y algoritmos para las rutas de cálculo. La presente divulgación no se limita en ese sentido. Dichos algoritmos pueden buscar minimizar o maximizar una o más métricas de rendimiento de la red, por ejemplo, el rendimiento de la red, la latencia general de la red, la latencia de la ruta, etc.

o El cálculo de la ruta comprende las rutas informáticas que se utilizan para transmitir tramas del Hablante al Oyente, incluidas las rutas 5G.

o La CUC también asigna un identificador único (streamID) para cada secuencia que incluye la dirección MAC de destino, ID de VLAN y PCP (punto de código de prioridad), y comunica StreamID a la CNC.

6. La CNC proporciona salida para los ajustes de programación. Esta configuración de ruta y programación se devuelve a la CUC a través del grupo de estado (IEEE 802.1 Qcc, 46.2.5).

7. La CNC configura los ajustes de la ruta en los puentes a través de protocolos de administración como, por ejemplo, *netconf* u objetos administrados de Aún otra generación (YANG) en los puentes, como se especifica en la norma IEEE 802.1Q.

- Estas configuraciones definen cómo un conmutador reenvía un paquete.
- En una realización, la AF obtiene esta información de configuración de la CNC y conoce tanto las rutas que se han establecido como la redundancia, y utiliza dicha información para habilitar y garantizar las funciones de redundancia.

8. Si el grupo de estado no contiene ningún código de falla, la CNC proporciona ajustes de configuración a la AF.

9. La AF convierte los ajustes de configuración de TSN para 5GS, activa la modificación de la sesión de PDU y también proporciona a la SMF las reglas de reenvío relevantes y el conjunto de filtros de paquetes que la SMF utiliza para configurar las reglas de reenvío de la UPF y el conjunto de filtros de paquetes. Esto puede incluir conocimiento sobre qué rutas han sido seleccionadas por la CNC para reenviar el tráfico de secuencia en el 5GS; el 5GS podría utilizar este conocimiento para enrutar las secuencias en consecuencia.

[1786] La descripción anterior se ha centrado en las interacciones entre la CNC, la CUC y la AF (u otro nodo o función de la red central). En realizaciones donde la red TSN no usa coordinación central (es decir, no hay CNC ni CUC presentes), los métodos descritos en esta divulgación se pueden aplicar de manera similar, pero la AF se comunicará con los conmutadores (p. ej., conmutadores de TSN) conectados al 5GS directamente.

[1787] La Figura 209 es un diagrama esquemático que muestra rutas redundantes en una red inalámbrica según realizaciones de la divulgación. Se puede ver que las rutas redundantes pueden llegar al 5GS desde varios conmutadores en la red cableada y dirigirse a las rutas correspondientes en la red inalámbrica.

[1788] La Figura 210 es un diagrama esquemático que muestra rutas redundantes en una red inalámbrica según realizaciones adicionales de la

divulgación. Las rutas redundantes se muestran con más detalle y pueden comprender uno o más elementos en común (p. ej., un solo elemento en la red inalámbrica puede utilizarse en más de una ruta). En un ejemplo extremo de esto, las rutas pueden comprender dos o más rutas que son idénticas entre sí (p. ej., los mismos datos se transmiten más de una vez a través de la misma ruta física o virtual). Las rutas también pueden comprender uno o más elementos que son distintos entre sí (p. ej., dos o más rutas pueden ser diferentes en uno o más aspectos). Por ejemplo, las rutas pueden comprender uno o más de: un nodo o función de red central diferente (tal como la función del plano de usuario ilustrada en la Figura 210); un nodo de red de acceso radioeléctrico diferente (tal como el gNodeB que se muestra en la Figura 210); y un dispositivo terminal diferente (tal como el UE que se muestra en la Figura 210). Por lo tanto, las rutas pueden comprender dos o más rutas que están máximamente desconectadas y/o completamente desconectadas.

[1789] La Figura 211 es un diagrama esquemático que muestra rutas redundantes en una red inalámbrica según otras realizaciones de la divulgación, e incluye la mayor parte de los detalles. En esta realización, se muestran dos rutas redundantes que están separadas entre el Hablante y el Oyente (es decir, entre los anfitriones Ethernet en el PLC y el dispositivo que controla). Cada anfitrión Ethernet comprende un módulo de replicación y eliminación de tramas para fiabilidad (FRER) que permite replicar (es decir, en el Hablante o dispositivo de transmisión) y deduplicar o eliminar (p. ej., en el Oyente o dispositivo de recepción) las tramas.

[1790] La Figura 212 es un diagrama de flujo de un método en un nodo o función de la red central según realizaciones de la divulgación. El nodo de red central puede realizar la señalización y las funciones de la AF descritas anteriormente con respecto a una o más de las Figuras 213, 214 y 217, por ejemplo, y por lo tanto puede comprender o implementar una función de aplicación (AF). Sin embargo, tal y como se señaló anteriormente, esta

funcionalidad puede implementarse en funciones o nodos alternativos de la red central. Además, los pasos establecidos a continuación y con respecto a la Figura 212 se pueden realizar en más de una función de la red central.

[1791] En el paso 700, el nodo de red central recibe un mensaje de solicitud de un nodo de configuración asociado con una red de comunicación cableada (p. ej., un conmutador de CNC o TSN conforme se describe arriba). El mensaje de solicitud puede configurarse según LLDP, SNMP, NETCONF, RESTCONF o cualquier protocolo de gestión de red adecuado. El mensaje de solicitud puede comprender una solicitud de información relacionada con una topología de la red de comunicación inalámbrica, por ejemplo, identidades de uno o más nodos en la red de comunicación inalámbrica, los enlaces entre esos nodos, las capacidades de esos nodos para habilitar rutas redundantes, etc.

[1792] En el paso 702, el nodo de red central transmite un mensaje de información al nodo de configuración que comprende información relacionada con la topología de la red de comunicación inalámbrica. Por ejemplo, el mensaje de información puede comprender una indicación de la capacidad de la red inalámbrica para proporcionar rutas redundantes. El mensaje de información puede comprender una indicación de una serie de rutas que se pueden configurar en la red de comunicación inalámbrica a un criterio de valoración o dispositivo particular (que puede haber sido identificado en el mensaje de solicitud). El mensaje de información también se puede configurar a través de LLDP, SNMP, NETCONF, RESTCONF o cualquier protocolo de gestión adecuado.

[1793] En el paso 704, el nodo de red principal recibe un mensaje de configuración desde el nodo configurador. El mensaje de configuración comprende ajustes para una pluralidad de rutas entre un primer nodo acoplado a la red de comunicación cableada y un segundo nodo acoplado a la red de comunicación inalámbrica. Por ejemplo, los ajustes pueden incluir un conjunto de asociaciones entre un puerto de entrada y un puerto de salida para cada una

de la pluralidad de rutas, es decir, instrucciones para indicar a cuál puerto de salida deben reenviarse los datos desde los respectivos puertos de entrada. Consulte las Figuras 215 y 216, por ejemplo. La pluralidad de rutas porta una pluralidad de secuencias de datos entre los primer y segundo nodos, que comprende al menos una secuencia de datos redundante.

[1794] En una realización, la pluralidad de rutas comprende una primera ruta y una segunda ruta que tienen al menos un elemento en común entre sí en la red de comunicación inalámbrica. Por ejemplo, en una realización la primera ruta y la segunda ruta son idénticas en la red de comunicación inalámbrica.

[1795] En otra realización, la pluralidad de rutas comprende una tercera ruta y una cuarta ruta (que pueden ser adicionales o alternativas a las primera y segunda rutas divulgadas anteriormente) que tienen al menos un elemento no en común entre sí en la red de comunicación inalámbrica. Por ejemplo, la tercera ruta y la cuarta ruta pueden ser rutas desarticuladas en la red de comunicación inalámbrica o rutas máximamente desarticuladas en la red de comunicación inalámbrica. El al menos un elemento no en común entre las tercera y cuarta rutas puede comprender uno o más de: un equipo de usuario; un nodo de red de acceso radioeléctrico; y un nodo de red o función principal. Las tercera y cuarta rutas pueden usar un mecanismo de conectividad dual entre un equipo de usuario y múltiples nodos de red de acceso radioeléctrico, y/o un mecanismo de agregación de portadoras entre un equipo de usuario y uno o más nodos de red de acceso radioeléctrico.

[1796] Las rutas pueden comprender una o más rutas físicas y/o una o más rutas virtuales.

[1797] En el paso 706, el nodo de red principal convierte los ajustes en el mensaje de configuración en uno o más de: un conjunto de filtros de paquetes y una o más reglas de reenvío. Por ejemplo, la AF puede llevar a cabo esta función o, alternativamente, puede reenviar los ajustes a otro nodo de red o función principal, tal como la función de control de políticas (PCF) para llevar a cabo esta

función. La AF o PCF pueden configurarse con información sobre cómo se soportará la redundancia en la red de comunicación inalámbrica (p. ej., usando cualquiera de las técnicas descritas anteriormente). La PCF o AF pueden solicitar esta información (es decir, cómo se configuran realmente esas rutas redundantes en la red de comunicación inalámbrica; desde un punto de vista de la CNC esto es irrelevante. Internamente, algunas funciones de red inalámbrica solo podrían ser virtualmente redundantes, p. ej., solo se usa una UPF.

[1798] En el paso 708, el nodo de red principal configura la pluralidad de rutas dentro de la red de comunicación inalámbrica según los ajustes. Opcionalmente, en particular cuando los ajustes se han convertido en uno o más de un conjunto de filtros de paquetes y reglas de reenvío en el paso 706, esto puede comprender reenviar el conjunto de filtros de paquetes y/o las reglas de reenvío a un segundo nodo de red principal (p. ej., una SMF). Por ejemplo, la AF (o PCF) puede señalizar a la SMF para que, si es necesario, configure la modificación de sesiones PDU para soportar la redundancia según la entrada AF y la información sobre cómo se soporta la redundancia en el 5GS. Después, la SMF modificará las sesiones PDU en la o las UPF acorde a ello.

[1799] En realizaciones adicionales, la AMF es informada de cómo debe configurarse la redundancia en la RAN según la entrada desde la AF y la información interna del 5GS sobre cómo se soporta la redundancia.

[1800] La Figura 213 es un diagrama de flujo de un método en un nodo configurador según realizaciones de la divulgación, el nodo configurador está asociado con una red de comunicación cableada tal como una red Ethernet. El nodo configurador puede llevar a cabo la señalización y las funciones de las funciones CNC y/o CUC descritas anteriormente con respecto a una o más de las Figuras 213, 214 y 217, por ejemplo y, por lo tanto, puede comprender o implementar una CNC y/o una CUC. Sin embargo, en realizaciones alternativas, particularmente cuando la red cableada no está centralmente configurada (y, por lo tanto, no hay CNC o CUC presentes), el nodo configurador puede comprender

un conmutador de la red cableada (p. ej., un conmutador de TSN). Además, los pasos descritos a continuación y con respecto a la Figura 213 pueden llevarse a cabo en más de un nodo de red o función.

[1801] En el paso 800, el nodo configurador transmite un mensaje de solicitud a un nodo de red principal asociado con una red de comunicación inalámbrica (p. ej., una AF conforme se describe arriba). El mensaje de solicitud puede configurarse según LLDP, SNMP, NETCONF, RESTCONF o cualquier protocolo de gestión de red adecuado. El mensaje de solicitud puede comprender una solicitud de información relacionada con una topología de la red de comunicación inalámbrica, p. ej., identidades de uno o más nodos en la red de comunicación inalámbrica, los enlaces entre esos nodos, las capacidades de esos nodos para habilitar rutas redundantes, etc.

[1802] En el paso 802, el nodo configurador recibe un mensaje de información desde el nodo de red principal que comprende información relacionada con la topología de la red de comunicación inalámbrica. Por ejemplo, el mensaje de información puede comprender una indicación de la capacidad de la red inalámbrica para proporcionar rutas redundantes. El mensaje de información puede comprender una indicación de una serie de rutas que se pueden configurar en la red de comunicación inalámbrica a un criterio de valoración o dispositivo particular (que puede haber sido identificado en el mensaje de solicitud). El mensaje de información también se puede configurar a través de LLDP, SNMP, NETCONF, RESTCONF o cualquier protocolo de gestión adecuado.

[1803] En algunas realizaciones, las rutas redundantes a través de la red de comunicación inalámbrica pueden no darse a conocer en el mensaje de información. Es decir, el nodo configurador puede desconocer cómo se establecen las rutas redundantes en la red de comunicación inalámbrica, o las técnicas de redundancia que se emplean en la red inalámbrica para lograr esa redundancia y aumentar la fiabilidad (p. ej., conectividad dual, duplicación de

paquetes, agregación de portadoras, etc.). Sin embargo, el mensaje de información puede comprender una indicación del número de rutas redundantes que pueden ser soportadas en la red de comunicación inalámbrica, por ejemplo.

[1804] En el paso 804, el nodo configurador determina una pluralidad de rutas para secuencias de datos redundantes entre un primer nodo acoplado a la red de comunicación cableada y un segundo nodo acoplado a la red de comunicación inalámbrica. La pluralidad de rutas porta una pluralidad de secuencias de datos entre los primer y segundo nodos, que comprende al menos una secuencia de datos redundante.

[1805] En una realización, donde el nodo configurador desconoce las rutas precisas dentro de la red de comunicación inalámbrica, este paso puede asumir que toda la red de comunicación inalámbrica es equivalente a uno o más puentes TSN.

[1806] En el paso 806, el nodo configurador transmite un mensaje de configuración al nodo de red principal, que comprende ajustes para cada una de la pluralidad de rutas. Por ejemplo, los ajustes pueden incluir un conjunto de asociaciones entre un puerto de entrada y un puerto de salida para cada una de la pluralidad de rutas, es decir, instrucciones para indicar a cuál puerto de salida deben reenviarse los datos desde los respectivos puertos de entrada. Consulte las Figuras 215 y 216, por ejemplo.

[1807] Manejo de la señalización del protocolo de temporización de precisión desde una red sensible al tiempo

[1808] Las redes sensibles al tiempo (TSN) se basan en la norma IEEE 802.3 Ethernet. Las TSN proporcionan servicios deterministas a través de redes IEEE 802.3, tales como, p. ej., sincronización temporal, transmisiones de baja latencia garantizadas y alta fiabilidad para hacer Ethernet heredado, diseñado para la comunicación determinista de mejor esfuerzo. Las características de las TSN disponibles hoy en día pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Sincronización temporal (p. ej., IEEE 802.1AS)
- Baja latencia acotada (p. ej., IEEE 802.1Qav, IEEE 802.1Qbu, IEEE 802.1Qbv, IEEE 802.1Qch, IEEE 802.1Qcr)
- Ultra fiabilidad (p. ej., IEEE 802.1CB, IEEE 802.1Qca, IEEE 802.1Qci)
- Configuración y gestión de redes (p. ej., IEEE 802.1Qat, IEEE 802.1Qcc, IEEE 802.1Qcp, IEEE 802.1CS)

[1809] La configuración y gestión de redes TSN puede implementarse de diferentes maneras, ya sea en una configuración centralizada o en una distribuida, como se define en IEEE 802.1Qcc. Los diferentes modelos de configuración se muestran en las Figuras 106-108. La Figura 106 muestra un modelo distribuido de configuración TSN, la Figura 107 muestra un modelo centralizado de configuración TSN y la Figura 108 muestra un modelo completamente centralizado de configuración TSN, como se define en IEEE P802.1Qcc/D2.3.

[1810] Los terminales de comunicación dentro de las TSN se denominan Hablante y Oyente. Una red TSN consiste en múltiples entidades y características. Todos los conmutadores, que en las Figuras 106 a 108 se denominan puentes, entre el Hablante y el Oyente necesitan soportar ciertas características de TSN, como, p. ej., sincronización temporal de IEEE 802.1AS. Un dominio TSN permite la comunicación sincronizada entre nodos. La comunicación entre Hablante y Oyente se lleva a cabo en secuencias. Una secuencia se basa en ciertos requisitos en términos de velocidad y latencia de datos, dados por una aplicación implementada en el Hablante y/o el Oyente. Las características de configuración y administración de TSN se usan para configurar el flujo y garantizar sus requisitos en toda la red. En el modelo distribuido que se muestra en la Figura 106, el Hablante y Oyente podrían usar, por ejemplo, un Protocolo de reserva de secuencia (SRP) para instalar y configurar una secuencia TSN en cada conmutador a lo largo de la ruta desde el Hablante hasta

el Oyente en la red TSN. Sin embargo, algunas características de TSN requieren una entidad de gestión central denominada herramienta de Configuración centralizada de red (CNC), como se muestra en la Figura 107. Por ejemplo, la CNC puede usar modelos Netconf y YANG para configurar los conmutadores en la red para cada secuencia TSN. Esto también permite el uso de formación de colas reguladas por el tiempo como se define en IEEE 802.1Qbv que habilita el transporte de datos en una red TSN con latencia determinista. Con formación de colas reguladas por el tiempo en cada conmutador, las colas se abren o cierran siguiendo una programación precisa que permite que paquetes de alta prioridad pasen a través del conmutador con una latencia y fluctuación mínimas si llegan al puerto de entrada dentro del tiempo programado para que la puerta se abra. En el modelo completamente centralizado, como se muestra en la Figura 108, se agrega además una entidad de Configuración centralizada de usuario (CUC) que se usa como punto de contacto para Oyente y Hablante. La CUC recopila los requisitos de flujo y las capacidades de los terminales de los dispositivos y se comunica directamente con CNC. Los pormenores de la configuración de TSN se explican con más detalle en IEEE 802.1Qcc.

[1811] La Figura 109 muestra un gráfico de secuencia del procedimiento de configuración de secuencia TSN usando el modelo totalmente centralizado de configuración como se muestra en la Figura 108.

[1812] Los pasos llevados a cabo para configurar una secuencia TSN en la red TSN en modo de configuración totalmente centralizado son los siguientes:

1. La CUC puede recibir la entrada proveniente de, p, ej., una aplicación industrial/herramienta de ingeniería, tal como, p. ej., un Controlador de lógica programable (PLC), que especifica los dispositivos que supuestamente intercambian secuencias sensibles al tiempo.

2. La CUC lee las capacidades de las estaciones finales y las aplicaciones en la red TSN que incluye información sobre el periodo/intervalo del tráfico de usuario y los tamaños de carga útil.

3. Según esta información, la CUC crea:

- Un StreamID como identificador para cada secuencia TSN,
- Un StreamRank, y
- Requisitos UsertoNetwork.

4. La CNC descubre una topología de red física mediante, por ejemplo, un Protocolo de descubrimiento de capa de enlace (LLDP) y cualquier protocolo de gestión de red.

5. La CNC lee las capacidades TSN de los puentes (p. ej., IEEE 802.1Q, 802.1AS, 802.1CB) en la red TSN, p. ej., por medio de un protocolo de gestión de red.

6. La CUC inicia solicitudes de ingreso para configurar las secuencias, a fin de configurar los recursos de red en los puentes para una secuencia TSN desde un Hablante hasta un Oyente.

7. Los grupos Hablante y Oyente (un grupo de elementos que especifican una secuencia TSN) son creados por la CUC, como se especifica en IEEE 802.1Qcc, 46.2.2.

8. La CNC configura el dominio TSN.

9. La CNC comprueba la topología física y comprueba si las secuencias sensibles al tiempo son soportadas por los puentes en la red.

10. La CNC lleva a cabo la programación y el cálculo de la ruta de las secuencias.

11. La CNC configura las funciones TSN en los puentes a lo largo de la ruta en la red TSN.

12. La CNC devuelve a la CUC un estado (correcto o incorrecto) de la asignación de recursos resultante para las secuencias.

13. La CUC configura además las estaciones finales para comenzar el intercambio de tráfico del plano de usuario como se definió inicialmente entre el Oyente y el Hablante.

[1813] En la red TSN, el streamID puede usarse para identificar de manera exclusiva las configuraciones de secuencia. Se usa para asignar recursos TSN a una secuencia de usuario. El streamID consiste en dos tuplas:

1. Una MacAddress asociada con el Hablante TSN.
2. Un UniqueID para distinguir entre múltiples secuencias dentro de las estaciones finales identificadas por MacAddress

[1814] En el modelo de configuración distribuida como se ilustra en la Figura 106, no hay CUC ni CNC. Por lo tanto, el Hablante es responsable del inicio de un flujo TSN. Dado que no hay una CNC presente, los puentes se configuran solos, lo que no permite el uso de, por ejemplo, formación de colas reguladas por el tiempo como se define en 802.1Qbv.

[1815] En el modelo centralizado como se representa en la Figura 107, el Hablante es responsable de la inicialización de la secuencia, pero los puentes son configurados por la CNC.

[1816] Para conectar dispositivos de manera inalámbrica a una red TSN, la 5G es una solución prometedora. La norma 5G también aborda casos de uso de fábrica a través de un sinnúmero de características nuevas, especialmente en la RAN para hacerla más fiable y reducir la latencia de transmisión en comparación con la 4G. La red 5G comprende tres componentes principales, que son el UE, la RAN instanciada como el gNB y nodos, tales como una Función de plano de usuario (UPF) dentro de la red principal 5G (5GCN). La arquitectura de la red 5G se ilustra en la Figura 110. Un plano de control de la red 5G comprende además una Función de repositorio de red (NRF), una Función de gestión de acceso (AMF), una Función de gestión de sesiones (SMF), una Función de exposición de red (NEF), una Función de control de políticas (PCF) y una Gestión de datos unificada (UDF).

[1817] Un desafío de la investigación en curso es la interrelación entre 5G y TSN, como se ilustra en la Figura 111. Ambas tecnologías definen sus propios métodos de gestión y configuración de redes y diferentes mecanismos para

lograr el determinismo de comunicación que, de alguna manera, debe disponerse para permitir la creación de redes deterministas de extremo a extremo para redes industriales. A continuación, el dispositivo conectado a la red 5G se denomina extremo de 5G. Un dispositivo conectado al dominio TSN se denomina extremo de TSN.

[1818] A pesar de lo que se muestra en la Figura 111, también es posible que el UE no esté conectado a un único extremo, sino a una red TSN que comprenda al menos un puente de TSN y al menos un extremo. En tal situación, el UE es parte de una puerta de enlace TSN-5G, en la que las estaciones finales se comunican con los UE dentro del contexto de una red TSN local que es aislada de la red TSN primaria por la red 5G.

[1819] A continuación, se describirá un ejemplo de cómo podría funcionar el transporte Ethernet en un sistema 5G (5GS) según el escenario mostrado en la Figura 111.

- Este escenario asume los casos donde un solo UE necesita soportar uno o múltiples terminales, cada uno con una dirección de capa MAC Ethernet distintiva. En otras palabras, el UE puede soportar múltiples puertos Ethernet.
- Se asume que la Función de plano de usuario (UPF) que interactúa con el conmutador de TSN soporta la recepción y transmisión de Ethernet PDU.
- Tras recibir una PDU de Ethernet desde el conmutador de TSN, la UPF debe ser capaz de asociar la o las direcciones MAC de destino a, por ejemplo, una sesión de PDU, p. ej., según la dirección IP del UE asociado con la dirección MAC de destino, y después retransmitir la PDU de Ethernet al nodo adecuado en la red 5G.
- El gNB envía la PDU de Ethernet al UE usando un portador radioeléctrico de datos (DRB) con atributos de fiabilidad y latencia adecuados para soportar la transmisión de la PDU de Ethernet.

- El UE recupera la PDU de Ethernet, p. ej., de la capa PDCP, y envía la PDU de Ethernet al terminal asociado con la dirección MAC de destino, ya que el UE puede soportar uno o más terminales conectados a Ethernet.
- En resumen, la PDU de Ethernet original recibida por la UPF desde el conmutador de TSN se entrega de manera transparente a través de la red 5G.
- Para la dirección de enlace ascendente, se espera que la red 5G determine cuándo se asocia un Identificador temporal de la red radioeléctrica (RNTI) con la operación Ethernet, permitiendo así que la carga útil de enlace ascendente, tal como, p. ej., una Ethernet PDU, asociada con el RNTI sea enrutada a una UPF. Después, la UPF simplemente envía la PDU de Ethernet recibida a un conmutador de TSN.

[1820] Muchas características de TSN se basan en una sincronización horaria precisa entre todos los pares. También, un sinnúmero de aplicaciones industriales depende de una sincronización precisa. Como se introdujo anteriormente, esto se logra usando, p. ej., IEEE 802.1AS o IEEE P802.1AS-rev. Por lo tanto, dentro de la red TSN es posible lograr una sincronización con un error de menos de un microsegundo. Para lograr este nivel de exactitud podría ser necesario un soporte de *hardware*; p. ej., para el marcado temporal de los paquetes.

[1821] En la red, un gran maestro (GM) es un nodo que transmite información de temporización a todos los demás nodos en una arquitectura maestro-esclavo. El GM podría ser elegido de varios nodos posibles, mediante ciertos criterios que hacen que el gran maestro seleccionado sea superior.

[1822] En una extensión TSN de 802.1AS (es decir, P802.1AS-rev), se ha definido que junto a un GM principal también puede configurarse un segundo GM redundante de respaldo. En caso de que el GM principal falle por cualquier motivo, los dispositivos en el dominio TSN pueden sincronizarse con el segundo GM redundante. El GM redundante puede funcionar en una configuración de espera activa.

[1823] En TSN con base en IEEE P802.1AS-rev, que también se denomina Protocolo de temporización de precisión generalizado (gPTP), puede haber múltiples dominios de tiempo y dominios gPTP asociados soportados en una red TSN. El gPTP soporta dos escalas temporales:

- PTP de escala de tiempo: La época es la época del PTP (ver detalles en la sección 8.2.2 de IEEE 802.1 AS-rev) y esta escala de tiempo es continua. La unidad de medida del tiempo es el segundo SI realizado en el periodo de rotación.
- Escala temporal ARB (arbitraria): La época para esta escala temporal es el tiempo de inicio del dominio y puede configurarse mediante un procedimiento administrativo (más detalles en IEEE 802.1AS-rev, sección 3.2).

[1824] Los dispositivos en la red TSN pueden sincronizarse con múltiples dominios de tiempo. Un dominio de tiempo arbitrario local también puede denominarse reloj de trabajo.

[1825] Uno de los pasos iniciales para configurar la secuencia TSN, como se explicó anteriormente y mostrado en la Figura 109, es el establecimiento de un dominio TSN por la CNC, agrupando los terminales (hablantes y oyentes) que supuestamente intercambian secuencias sensibles al tiempo. Esta lista es proporcionada por la CUC a la CNC. El CNC configura además los puentes que conectan estos extremos de modo que cada dominio de TSN (hablantes, oyentes y puentes) tenga su propio reloj de trabajo. Técnicamente, esto se puede hacer según IEEE P802.1AS-rev, configurando el mecanismo de configuración de función de puerto externo.

[1826] La Figura 214 muestra un encabezado PTP usado para cada paquete PTP (nota: la interpretación de algunos campos se encuentra en revisión en la nueva edición de la IEEE1588 y correspondientemente en la IEEE P802.1ASRev). El domainNumber define para cada trama, a cuál dominio de tiempo pertenece la trama. Los dominios de tiempo PTP permiten usar múltiples relojes PTP independientes en una sola infraestructura de red. Estos números

deben configurarse en cada estación final, de manera que cada estación final conozca cuál dominio de tiempo requiere.

[1827] De acuerdo con IEEE P802.1AS-Rev/D7.3, se especifica que a la dirección de destino de los mensajes de anuncio y señalización se le reservará una dirección de multidifusión 01-80-C2-00-00-0E. Además, también a la dirección MAC de destino de SYNC, Follow-Up, Pdelay_Request, Pdelay_Response y Pdelay_Response_Follow_Up que se usan para la sincronización entre pares se le reservará la dirección de multidifusión 01-80-C2-00-00-0E. Cabe destacar que, de acuerdo con IEEE802.1Q, nunca pueden reenviarse tramas con esta dirección (dirección no reenviable), sino que deben ser terminadas por el puente. Como dirección de origen deberán usar la dirección MAC de cualquier puerto físico de salida.

[1828] Como se adelantó anteriormente, el dominio TSN funciona con diferentes relojes, tales como, p. ej., relojes globales y de trabajo. Además, los relojes de cada dominio de TSN no están necesariamente sincronizados y una red de fábrica puede comprender varios dominios de TSN. Por lo tanto, en una red de fábrica podría haber varios dominios TSN independientes con escalas temporales arbitrarias donde quizás necesiten sincronizarse diferentes subconjuntos de dispositivos superpuestos. Como se muestra en la Figura 145, cada dominio TSN puede tener su propio reloj de trabajo.

[1829] Para satisfacer los requisitos de sincronización temporal para TSN en casos de uso de fabricación, se necesita una red celular para proporcionar una referencia temporal a la cual puedan sincronizarse todas las máquinas, tales como, p. ej., sensores o activadores.

[1830] En la actualidad, en la normalización 3GPP versión 15 para radio LTE, se ha desarrollado un mecanismo que permite la sincronización temporal entre estaciones base (BS) y UE con una exactitud en el orden inferior a los microsegundos.

[1831] Se ha propuesto en 3GPP RAN 2 añadir dos elementos de información (IE) al SIB 16, tal como, p. ej., referencia temporal con una cierta granularidad, p. ej., 0,25 µs, y un valor de incerteza, y el mensaje del control de recursos radioeléctricos (RRC) de DL UETimeReference para transmitir una hora GPS al UE con tres IE añadidos en un mensaje RRC.

[1832] El propósito principal de este procedimiento es transferir información de referencia de tiempo con base en GPS a los UE junto con la inexactitud de esa información.

[1833] LTE define varios bloques de información del sistema (SIB), relacionados con la información de tiempo en SIB 16, que contiene información relacionada con la hora GPS y el tiempo universal coordinado (UTC).

[1834] Los SIB se transmiten a través de un canal compartido de enlace descendente (DL-SCH). La presencia de un SIB en una subtrama se indica mediante la transmisión de un correspondiente Canal físico de control del enlace descendente (PDCCH) marcado con una RNTI especial de información del sistema (SI-RNTI).

[1835] El elemento de información (IE) SIB 16 contiene información relacionada con la hora GPS y UTC. El UE puede usar los bloques de parámetros para obtener la hora GPS y local.

[1836] Otra manera de proporcionar sincronización temporal puede ser mediante el uso de un mensaje de información de referencia temporal en la señalización RRC para transmitir la hora GPS al UE.

[1837] El trabajo de la versión 16 está en curso y se discuten diferentes opciones para abordar las necesidades de sincronización temporal requeridas por TSN y aplicaciones industriales. Especialmente, el soporte de múltiples dominios de tiempo en 5G es un tema abierto.

[1838] A los fines de esta presente discusión, se asume que se usa señalización interna 5GS para transportar información temporal. En este caso el 5GS puede actuar como dispositivo gPTP con conocimiento temporal (que se

define para ser compatible con un reloj acotado IEEE1588); puede usar tramas gPTP de ingreso para conocer el tiempo por sí mismo o puede tener instancias gPTP separadas que manejen el reloj del sistema 5G y los relojes de TSN externas. Puede usarse una señalización interna en la RAN y red principal para transportar internamente la información gPTP relevante y, cuando el UE la reciba, puede actuar como maestro gPTP en el egreso del UE. El 5GS en este caso debe soportar y participar en todos los Algoritmos óptimos de reloj maestro (BMCA) (en este caso, debe operar una instancia gPTP por dominio gPTP) o ser configurado para su rol gPTP por una entidad externa. Es posible una opción simplificada cuando se implementa un BMCA estático. La operación real del BMCA está fuera del alcance de esta divulgación, pero las soluciones identificadas en el presente documento soportan la transferencia de la información relacionada recibida a través de mensajes de anuncio. La generación de mensajes de anuncio también puede ser necesaria en las interfaces 5GS o en las interfaces internas de los nodos 5GS, si se implementan sistemas en cascada con conocimiento temporal.

[1839] Los mensajes gPTP se envían para sincronizar esclavos con un maestro. En gPTP, por ejemplo, se usan números de dominio para establecer múltiples dominios de tiempo en paralelo en una red. Estos números ayudan a un esclavo a sincronizar su reloj con un cierto maestro del dominio de tiempo. Hasta ahora, no hay manera de que un sistema 5G pueda soportar eficientemente múltiples dominios de tiempo requeridos por aplicaciones de automatización industrial. Esto es particularmente importante en caso de que se necesite soportar un gran número de dominios, tal como, p. ej., 32 dominios, y esté conectado un gran número de UE.

[1840] Dependiendo de la manera en que se transporten las señales temporales en el 5GS, y especialmente el tipo de transmisión (difusión, multidifusión, unidifusión) que se elija en la RAN, el conocimiento de la RAN

sobre cuál UE necesita cuál señal de dominio de tiempo puede ser muy importante. Sin embargo, esto no es soportado al día de hoy.

[1841] La Figura 215 muestra un ejemplo de una red de comunicaciones 100 según un primer escenario en el que pueden implementarse realizaciones en el presente documento. La red de comunicaciones 100 es una red de comunicación inalámbrica tal como, p. ej., una red LTE, E-Utran, WCDMA, GSM, cualquier red celular 3GPP, Wimax, o cualquier red o sistema celular.

[1842] La red de comunicaciones 100 comprende una red de acceso radioeléctrico (RAN) y una red principal (CN). La red de comunicación 100 puede usar una serie de tecnologías diferentes, tales como Evolución a largo plazo (LTE), LTE avanzada, 5G, Acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA), Sistema mundial para comunicaciones móviles/Tasas de datos mejorada para la evolución del GSM (GSM/EDGE), Interoperabilidad mundial para acceso por microonda (WiMax), wifi o Banda ancha ultra móvil (UMB), solo por mencionar algunas implementaciones posibles. En la red de comunicación 100, uno o más UE 120 pueden comunicarse a través de una o más redes de acceso (AN), p. ej., RAN, a una o más CN. El UE 120 puede ser, p. ej., un dispositivo inalámbrico (WD), una estación móvil, una STA-punto de no acceso (non-AP), una STA y/o un terminal inalámbrico. Los expertos en la materia entenderán que "dispositivo inalámbrico" es un término no limitante que significa cualquier terminal, terminal de comunicación inalámbrica, equipo de usuario, dispositivo de comunicación de tipo de máquina (MTC), terminal de dispositivo a dispositivo (D2D) o nodo, p. ej., teléfono inteligente, computadora portátil, teléfono móvil, sensor, repetidora, tabletas móviles o incluso una estación base que se comunica dentro de una célula.

[1843] La RAN comprende un conjunto de nodos de red radioeléctrica, tales como los nodos de red radioeléctrica 110, 111 en que cada uno proporciona cobertura radioeléctrica sobre una o más áreas geográficas, tal como una celda 130, 131 de una tecnología de acceso radioeléctrico (RAT), tal como 5g, LTE,

UMTS, wifi o similar. El nodo de red radioeléctrica 110, 111 puede ser un nodo de red de acceso radioeléctrico, tal como un controlador de red radioeléctrica o un punto de acceso, tal como un punto de acceso de red de área local inalámbrica (WLAN) o una estación-punto de acceso (AP STA), un controlador de acceso, una estación base, p. ej., una estación base radioeléctrica tal como un gNB, un NodeB, un nodo B evolucionado (eNB, eNodeB), una estación de transceptor base, punto de acceso-estación base, enrutador de estación base, una disposición de transmisión de una estación base radioeléctrica, un punto de acceso independiente o cualquier otra unidad de red capaz de servir a un dispositivo inalámbrico dentro de la célula, que también puede denominarse área de servicio, servida por el nodo de red radioeléctrica 110, 111 dependiendo, p. ej., de la tecnología del primer acceso radioeléctrico y de la terminología usada.

[1844] Además, la CN comprende un nodo de red principal 140 que está configurado para comunicarse con los nodos de red radioeléctrica 110, 111, a través de, p. ej., una interfaz S1. El nodo de red principal puede ser, p. ej., un Centro de conmutación móvil (MSC), una Entidad de gestión de la movilidad (MME), un nodo de Operaciones y gestión (O&M), un nodo de Operaciones, administración y mantenimiento (OAM), un nodo de Sistema de soporte de operaciones (OSS) y/o un nodo de Redes autoorganizadas (SON). El nodo de red principal 140 puede ser además un nodo distribuido contenido en una nube 141.

[1845] El UE 120 se ubica en la celda 130 del nodo de red 110, que se denomina célula servidora, mientras que la celda 131 de los nodos de red 111 se denominan celdas vecinas. Aunque el nodo de red 110 de la Figura 215 solo se muestra proporcionando una celda servidora 130, el nodo de red 110 puede proporcionar una o más celdas vecinas 131 a la celda servidora 130.

[1846] Nótese que, aunque en esta divulgación se ha usado terminología 5G del 3GPP para ejemplificar las realizaciones en el presente documento, esto

no debe considerarse como una limitación del alcance de las realizaciones en el presente documento a solo el sistema mencionado. Otros sistemas inalámbricos, incluidas redes WCDMA, WiMax, UMB, GSM, cualquier red celular 3GPP o cualquier red o sistema celular, también pueden beneficiarse del aprovechamiento de las ideas consideradas dentro de esta divulgación.

[1847] A continuación, se describirán detalladamente realizaciones en el presente documento.

[1848] Según las realizaciones en el presente documento, el 5GS puede recibir mensajes gPTP provenientes de una red externa en la que se despliega un gran maestro. Los mensajes gPTP del GM pueden recibirse en un lado UE o UPF del 5GS. Dado que en redes industriales se usan múltiples dominios de tiempo como se adelantó anteriormente, puede haber múltiples señales que arriban al 5GS. En la Figura 89, se ilustra un ejemplo de soporte múltiple de dominio de tiempo en el 5GS para un escenario en el que el gran maestro se ubica en el lado UPF del 5GS. En la Figura 89, los mensajes gPTP se transportan directamente a un gNB, que es una posible implementación. Cualquier mensaje gPTP comprende un número de dominio que define el dominio de tiempo al que pertenece el mensaje gPTP.

[1849] Las realizaciones en el presente documento asumen que se usa un transporte no transparente de tramas gPTP en el 5GS; en otras palabras, que la información se extrae de tramas gPTP y se retransmite a través del 5GS usando señalización 3GPP. La información sobre los dominios de tiempo y cuál UE pertenece a cuál dominio de tiempo es particularmente importante para los casos en que está conectado un gran número de UE y se necesita soportar un número significativo de dominios gPTP, tal como, p. ej., más de dos dominios gPTP.

[1850] Un escenario es donde el gran maestro está en el lado UPF del 5GS, enlace descendente: la UPF o el gNB pueden recibir mensajes gPTP y pueden actuar como esclavos de una red TSN externa. Por consiguiente, una

instancia gPTP específica, tal como, p. ej., una instanciación de una aplicación gPTP, implementada en la UPF o en un gNB puede manejar los mensajes gPTP que pertenecen a ese dominio gPTP específico, tal como lo indica el atributo domainNumber, y, como resultado de, por ejemplo, un BMCA para el dominio gPTP específico, bloquearse al GM relacionado. En caso de que la UPF proporcione la instanciación, la UPF reenviará la información temporal extraída del mensaje gPTP a uno o más gNB, más la información sobre el dominio de tiempo al que pertenece. La UPF puede configurarse, p. ej., con un conjunto de direcciones de multidifusión MAC Ethernet para las que retransmitirá la correspondiente información temporal y la información de dominio de tiempo a uno o más gNB. Nótese que cuando la UPF adquiere la información de temporización, tal como, p. ej., un valor de reloj de trabajo de TSN externa y un correspondiente dominio de tiempo, de los mensajes gPTP, la retransmite al gNB para su posterior distribución al UE; los mensajes gPTP reales no se retransmiten. Hay diferentes opciones disponibles para transmitir información de temporización en la RAN, en particular, sin requerir que se involucre necesariamente el gNB. Por ejemplo, en caso de que se implemente un enfoque distribuido con conocimiento temporal, solo los dispositivos situados en los bordes del 5GS pueden necesitar manejar y procesar los mensajes gPTP. Sin embargo, realizaciones en el presente documento se focalizan en el caso en que la RAN está necesariamente involucrada y usa métodos con base en SIB o RRC para transmitir información de temporización a los UE.

[1851] Si se usa una radiodifusión (p. ej., mensajes SIB) en la RAN: los UE necesitan saber cuál señal difundida pertenece a cuál dominio de tiempo. Cada dominio de tiempo puede ser difundido individualmente, o una señal de difusión podría portar información para múltiples dominios de tiempo.

- En una realización esto puede resolverse, por ejemplo, añadiendo un parámetro adicional enviado en las señales SIB a los UE que indican el

domainNumber, tal como, p. ej., un entero entre, p. ej., 0-127, ya sea en cada señal difundida o múltiples en una señal.

- En otra realización, la señal difundida no porta ningún parámetro adicional, pero cuando se difunde, siempre porta una señal de dominio de tiempo específica, tal como del dominio 0, o una lista de números de dominio, tales como dominio 0, 1, 2,..., N. Tal número de dominio o lista de los números de dominio que se envía en el mensaje de difusión pueden preconfigurarse o pueden enviarse al UE antes de enviar el mensaje de difusión con información de temporización.

- Según todavía otra realización, el UE puede conocer cuál dominio o dominios de tiempo requiere(n) una o unas estaciones finales a las que está conectado el UE. El UE puede conocer esto, p. ej., escuchando los mensajes de anuncio gPTP entregados periódicamente por la o las estaciones finales. Como resultado del BMCA, el UE implementará un puerto PTP que opera en el estado maestro reenviando señales temporales desde la red 5G y solo operará en el dominio PTP específico que necesita soportar. Esto significa que el UE solo seleccionará los dominios de tiempo a partir de la información de señal temporal difundida que requiera.

- En una manera, el 5GS puede obtener información de un controlador de red TSN sobre cuál señal de dominio de tiempo necesita ser dirigida a cuál UE, p. ej., por medio de un identificador de UE, o una dirección MAC de una estación final conectada al UE respectivamente. Por ejemplo, la información puede enviarse desde la CNC de TSN externa hacia una función de aplicación (AF) cuando la CNC configura dominios TSN en la red TSN. La CNC puede anunciar cuáles señales de dominio de tiempo deben reenviarse a cuál puerto, tal como, p. ej., a un UE o una dirección MAC. El AF puede desencadenar SMF o AMF u otra función de red principal para indicar a los UE cuál señal de dominio de tiempo deben escuchar. En detalle:

- La CUC puede conocer exactamente cuál dominio del reloj desea una estación final.

- La CUC puede entonces indicarle a la CNC que configure un "puente" 5G (es decir, el sistema 5G modelado como un puente/repetidora con conocimiento del tiempo). La CNC puede solicitar, p. ej., al 5GS que configure un enlace entre el lado norte del puente 5G y el lado sur del puente 5G, para que pueda entregarse la temporización correcta a la estación final correspondiente.

- El 5GS puede recibir la información de la AF proveniente de la CNC y puede traducir el comando CNC a señalización 5GS. Esto puede denominarse configuración de puerto externo, que puede ser llevada a cabo por una CNC para definir el árbol de expansión rápida gPTP dentro de un conmutador, o dentro del 5GS según las realizaciones en el presente documento. Si la configuración de puerto externo está disponible como información proveniente de la CNC, el BCMA ya no es necesario. Los puertos pueden ser configurados por la CNC para adoptar roles diferentes, tales como, p. ej., MasterPort, SlavePort, PassivePort o DisabledPort, lo cual puede interpretarse como el lugar al que debe enrutarse cada señal del dominio de tiempo en el 5GS según la norma IEEE P802.1AS-rev. La señalización interna 5GS desde la AF puede usarse, p. ej., para informar a los UE cuál señal de dominio de tiempo deben escuchar en caso de que se use una difusión.

[1852] Si se usa una multidifusión o unidifusión radioeléctrica (mediante, p. ej., señalización RRC): el o los gNB en general necesitan conocer cuál o cuáles UE requieren cuál señal temporal desde cuál dominio de tiempo.

- Según una realización, esto puede lograrse enviando una señal desde el UE al gNB sobre en cuál dominio de tiempo está interesado el UE, o más exactamente en cuál dominio de tiempo están interesadas la o las estaciones finales conectadas al UE. Esta información está disponible en la estación final a la que está conectado el UE, ya que cada dispositivo conoce cuál señal temporal debe escuchar. Para obtener dicha información pueden usarse métodos de

BCMA. Podría tratarse de uno solo o múltiples dominios de tiempo, dependiendo de cómo se conecta el UE, tal como, p. ej., a una sola estación final o a un conmutador, seguido de múltiples estaciones finales, y métodos como los descritos en relación con el caso de difusión son válidos para conocer los intereses de las estaciones finales. El gNB puede consultar la información del UE sobre el dominio de tiempo que requiere el UE, o el UE puede enviar al gNB la información sobre el dominio de tiempo que necesita después de conectarse a la red. Esto puede llevarse a cabo, p. ej., mediante mensajes RRC entre el UE y el o los gNB.

- Según otra realización, el UE puede configurarse manualmente en un dominio o dominios de tiempo específicos y la información sobre el dominio de tiempo que requiere el UE puede estar disponible en una función de red principal. Para consultar una base de datos, p. ej., en el 5GS, puede usarse un identificador interno UE 5G, donde en la base de datos se indica a cuáles dominios de tiempo debe sincronizarse el UE. El gNB puede consultar una función de red principal. La función de red principal puede indicar al gNB cuál UE requiere cuál señal de dominio de tiempo. Una solución puede ser que la SMF proporcione esta información a la RAN cuando se configura una sesión de PDU. En cuanto al caso de difusión, esta configuración o información sobre cuál señal de dominio de tiempo debe ser reenviada a cuál UE puede recibirse desde una TSN CNC externa (configuración de puerto externo) durante la fase de configuración del dominio TSN, p. ej., a través de la AF. Esta información puede ser reenviada internamente en el 5GS a la RAN, para hacerle conocer a la RAN cuál UE necesita cuál señal de dominio de tiempo. El UE solo recibirá una señal o señales temporales que se requieren para reenviar a otros dispositivos, ya que solo estas señales pueden ser enviadas al UE por el gNB. Para separar diferentes señales temporales que se envían al UE, podrían negociarse identificadores entre el UE y el gNB, o estos podrían preconfigurarse para permitir que el UE distinga entre diferentes dominios de tiempo y reenvíe las

tramas gPTP acorde a ello, es decir, que coloque los números de referencia correctos en las tramas gPTP. La preconfiguración puede ser tal que el número de dominio no se señalice en el mensaje RRC de unidifusión, sino que el UE conozca a cuál número de dominio se refiere el mensaje. Si solo hay un dominio de tiempo soportado por el UE, esto es sencillo. Si hay múltiples dominios de tiempo soportados por el UE, el mensaje de unidifusión puede incluir una lista de información temporal dispuesta en, por ejemplo, un orden ascendente o descendente del número de dominio de tiempo.

[1853] En el egreso del 5GS, es decir, cuando el mensaje sale del 5GS, el UE puede actuar como gPTP maestro para cualquier dispositivo conectado a este. Esto puede implicar la creación o recreación de diversas tramas gPTP, tales como, p. ej., Sync, Follow_up, Pdelay_request, Pdelay_response, PDelay_Response_Follow_up, Announce etc., basándose en la temporización y otra información, tal como, p. ej., domainNumbers, desde un gNB. Esto es similar a la acción 1202 descrita con respecto al método llevado a cabo por el dispositivo receptor en la Figura 217.

[1854] En todas las realizaciones mencionadas anteriormente, no es importante la manera en que se transportan las señales temporales en la RAN (es decir, cuáles señales se usan y cómo están diseñadas estas señales para lograr una exactitud suficiente), además de que sean de unidifusión, multidifusión o difusión.

[1855] En todas las realizaciones mencionadas anteriormente, también podría ser relevante transmitir otra información gPTP a/desde el UE, tal como, p. ej., información relacionada con el manejo de BMCA e información relacionada requerida para generar los mensajes PTP salientes, tal como, p. ej., un identificador de reloj. Este puede ser el caso en los tres casos descritos anteriormente, es decir, difusión, multidifusión y unidifusión, ya sea como señalización dedicada RRC o SIB junto a la transmisión de señal temporal o como parte de la señalización temporal en mensajes RRC o SIB.

[1856] Además, para transportar las tramas gPTP puede usarse un Protocolo de Internet (IP). Todos los métodos aquí pueden ser aplicables de manera similar en este caso donde el IP se usa sobre Ethernet en la capa 3 (L3).

[1857] Otro escenario es cuando el gran maestro está en el lado UE del 5GS, enlace ascendente: Cuando el gran maestro está en el lado UE del 5GS, entonces el UE necesita reenviar información temporal al gNB. El UE puede recibir mensajes gPTP y, por lo tanto, tiene conocimiento del tiempo. El 5GS necesita ser informado acerca de a cuál dominio de tiempo pertenece una señal transmitida. En el enlace ascendente solo es posible unidifusión, tal como, p. ej., usando señalización RRC.

[1858] En una realización, la red 5G puede ser informada sobre el dominio de tiempo por medio de una señalización RRC dedicada desde el UE hasta el gNB que indica el número de dominio de tiempo. Cuando hay múltiples dominios de tiempo, la señalización RRC dedicada puede comprender múltiples números de dominio de tiempo. El gNB puede recibir esta información y reenviarla a la UPF o puede usarla para reenviar la información de temporización desde el UE hasta el dominio de tiempo correcto, para finalmente restablecer las tramas gPTP con el domainNumber correcto. La señalización RRC puede llevarse a cabo como parte de la señalización temporal o puede negociarse de antemano. Si se negocia que el UE señalizará el tiempo desde múltiples dominios de tiempo, podría usarse un identificador para distinguir los dominios de tiempo dentro de las señales temporales.

[1859] Según otra realización más, los dominios de tiempo también pueden preconfigurarse (el UE n.º 12345 puede configurarse para solo enlazar de manera ascendente una señal de dominio de tiempo perteneciente al dominio de tiempo i). Si se preconfigura que el UE señalizará el tiempo desde múltiples dominios de tiempo, podría usarse un identificador para distinguirlos. Una preconfiguración también puede llevarse a cabo conforme se describe en las realizaciones anteriores, según la entrada desde una CNC de TSN externa, p.

ej., a través de la AF como se explicó para las realizaciones de enlace descendente.

[1860] Las realizaciones del presente documento tienen el beneficio de que permiten la sincronización temporal de extremo a extremo con múltiples dominios de tiempo. Por lo tanto, el sistema 5GS ahora es capaz de reenviar con eficacia señales temporales desde múltiples dominios de tiempo.

[1861] La Figura 216 ilustra las acciones de método llevadas a cabo por el dispositivo de transmisión, tal como, p. ej., el UE 120, el nodo de red 110 y/o la UPF, en el sistema de comunicación inalámbrica (100), tal como, p. ej., el sistema 5G, para manejar la señalización gPTP desde la TSN.

- Acción 1101: el dispositivo de transmisión puede recibir, desde una red TSN, un mensaje gPTP. El mensaje gPTP comprende información temporal y un dominio de tiempo relacionado con la información temporal.
- Acción 1102: el dispositivo de transmisión puede extraer del mensaje gPTP la información temporal y el dominio de tiempo.
- Acción 1103: el dispositivo de transmisión puede obtener información sobre el dominio de tiempo con el que está relacionado un dispositivo receptor. La información sobre el dominio de tiempo con el que está relacionado un dispositivo específico puede obtenerse al recibir una señal desde el dispositivo receptor que indica el dominio de tiempo con el que está relacionado el dispositivo receptor: La indicación puede señalizarse, p. ej., por medio de señalización RRC. En algunas realizaciones el dispositivo receptor puede preconfigurarse con uno o más dominios de tiempo específicos y la información sobre el dominio de tiempo con el que está relacionado el dispositivo receptor puede obtenerse mediante el dispositivo de transmisión al consultar, es decir, al enviar una consulta a, una base de datos que comprende los dominios de tiempo a los que el dispositivo receptor específico está configurado para soportar. El dominio de tiempo comprendido en el mensaje 3GPP puede

indicarse mediante un identificador. El identificador puede usarse cuando se consulta la base de datos.

– Acción 1104: el dispositivo de transmisión puede además transmitir al dispositivo receptor, tal como, p. ej., el nodo de red radioeléctrica 110, la UPF y/o el UE 120, un mensaje 3GPP que comprende la información temporal y el dominio de tiempo relacionado con la información temporal. El mensaje 3GPP puede ser, p. ej., un mensaje de Protocolo de inicio de sesión (SIP) usado para difusión o un mensaje de Control de recursos radioeléctricos (RRC).

– Acción 1104a: el dispositivo de transmisión puede transmitir el mensaje 3GPP que comprende la información temporal y el dominio de tiempo relacionado con la información temporal a uno o más dispositivos receptores relacionados con el dominio de tiempo comprendido en el mensaje 3GPP usando multidifusión o unidifusión, según la información recibida en la acción 1103.

– Acción 1104b: cuando el dispositivo de transmisión es un nodo de red radioeléctrica o una UPF, el dispositivo de transmisión puede transmitir el mensaje 3GPP al dispositivo receptor usando difusión. El dispositivo de transmisión puede transmitir un parámetro adicional o una señalización dedicada en el mensaje 3GPP. El parámetro adicional puede indicar el dominio de tiempo o un número de dominio de tiempo con el que está relacionado el mensaje 3GPP difundido.

[1862] La Figura 217 ilustra las acciones de método llevadas a cabo por el dispositivo receptor, tal como, p. ej., el UE 120, el nodo de red 110 y/o la UPF, en el sistema de comunicación inalámbrica 3GPP 100, tal como, p. ej., el sistema 5G, para manejar la señalización gPTP desde la TSN. El dispositivo receptor también puede denominarse entidad receptora en el presente documento.

– Acción 1201: el dispositivo receptor puede recibir, desde un dispositivo de transmisión, tal como, p. ej., el nodo de red radioeléctrica 110, la UPF y/o el UE 120, un mensaje 3GPP que comprende una información temporal

y un dominio de tiempo relacionado con la información temporal. El mensaje de 3GPP puede recibirse usando multidifusión, unidifusión o difusión.

- Acción 1202: el dispositivo receptor puede crear y/o recrear, según la información temporal y el dominio de tiempo comprendidos en el mensaje 3GPP, un mensaje gPTP que comprende la información temporal y el dominio de tiempo relacionado con la información temporal.

- Acción 1203: cuando el mensaje 3GPP se recibe como mensaje difundido, el dispositivo receptor puede obtener información adicional sobre el dominio de tiempo soportado por las una o más estaciones finales en la red TSN; tales estaciones finales están conectadas al dispositivo receptor. La información sobre el dominio de tiempo soportado por las estaciones finales en la TSN, puede obtenerse, p. ej., al recibir un mensaje gPTP, tal como, p. ej., un mensaje de anuncio gPTP, entregado periódicamente por la estación final. En una realización más, la información sobre el dominio de tiempo soportado por las estaciones finales en la TSN, puede obtenerse al recibir información desde un controlador de red TSN, donde la información comprende un identificador de dispositivo receptor, tal como, p. ej., un identificador UE, o una dirección MAC de una estación final.

- Acción 1204: el dispositivo receptor puede transmitir, a una o más estaciones finales en la red TSN, un mensaje gPTP, donde el mensaje gPTP comprende la información temporal y el dominio de tiempo relacionado con la información temporal extraída del mensaje 3GPP.

- Acción 1204a: el dispositivo receptor puede transmitir, a la estación final, la información temporal difundida relacionada con el dominio de tiempo soportado por la estación final de la TSN, según la información obtenida en la acción 1203. Por lo tanto, cualquier información temporal difundida no relacionada con el dominio de tiempo soportado por la estación final de la TSN que esté conectada al dispositivo receptor no será transmitida a la estación final por el dispositivo receptor.

[1863] A continuación, se describen más realizaciones de técnicas para manejar la señalización del protocolo de tiempo de precisión desde una red sensible al tiempo.

[1864] Según las realizaciones del presente documento, el 5GS puede recibir mensajes gPTP provenientes de una red externa en la que se despliega un gran maestro (GM). Los mensajes gPTP del GM pueden recibirse en un lado UE o UPF del 5GS. Dado que en redes industriales se usan múltiples dominios de tiempo como se adelantó anteriormente, puede haber múltiples señales que arriban al 5GS. En las realizaciones siguientes se asume que las tramas gPTP se transportan en el 5GS de manera transparente. En este caso, es particularmente importante conocer cuáles nodos requieren cuáles señales de dominio de tiempo (es decir, tramas gPTP que portan un determinado domainNumber), para los casos en que hay un gran número de UE conectados y es necesario soportar un número significativo de dominios gPTP, tal como, p. ej., más de dos dominios gPTP. Se presentan soluciones para la transmisión de señales temporales tanto de enlace ascendente como de enlace descendente. La información sobre los dominios de tiempo y cuál UE pertenece a cuál dominio de tiempo es particularmente importante para los casos en que está conectado un gran número de UE y se necesita soportar un número significativo de dominios gPTP, tal como, p. ej., más de dos dominios gPTP.

[1865] Gran maestro en el lado UPF del 5GS, enlace descendente: el 5GS reenvía tramas gPTP de extremo a extremo (es decir, el nodo de origen TSN que soporta un reloj de trabajo dado intercambia tramas gPTP con un UE o con una estación final asociada con ese UE) y las tramas gPTP portan información temporal. Cada trama gPTP puede comprender el campo de encabezado domainNumber que indica el dominio de tiempo al cual pertenece la trama gPTP. Las tramas gPTP pueden necesitar ser transportadas en sesiones PDU a un UE o a una pluralidad de UE. Los detalles de las soluciones relacionadas dependen del mecanismo específico que se implementa para portar la información temporal

PTP “de manera transparente” a través del 5GS, tal como, p. ej., actuando como un reloj transparente distribuido, o ecualizando los retrasos en ambas direcciones para crear un canal simétrico. En este caso, no es necesario que el 5GS participe en el BMCA.

[1866] Si se usa una difusión de tramas gPTP en el 5GS: en caso de que se lleve a cabo una difusión de tramas gPTP en el 5GS, p. ej., por medio del gNB, entonces el o los UE necesitan decidir si están escuchando una cierta difusión o no. Esto puede llevarse a cabo de una manera similar a la de la primera realización anterior al comprobar si algún dispositivo conectado al UE envía mensajes de anuncio pertenecientes a un dominio PTP específico. El UE puede dejar de escuchar la difusión del dominio de tiempo gPTP específica o no reenviar tramas gPTP si la o las estaciones finales conectadas no están operando en este dominio PTP. Esto se ilustra en la Figura 218 para el caso donde el UE reenvía todas las tramas gPTP difundidas, o en la Figura 219 donde el UE solo reenvía tramas gPTP relevantes a las respectivas estaciones finales. El UE también puede enviar, por ejemplo, tramas gPTP tales como, p. ej., mensajes de anuncio a estaciones finales para comprobar si hay respuestas a ciertos números de dominio a fin de conocer cuáles estaciones finales necesitan cuál señal de dominio de tiempo.

[1867] Si se usa una unidifusión o multidifusión de tramas gPTP en el 5GS: las tramas de ingreso al 5GS portarán una dirección MAC destino de multidifusión; la red 5G (p. ej., la UPF) necesita decidir a cuál UE (p. ej., sesiones PDU) reenviará las tramas gPTP; el campo Ethertype específico de PTP podría detectar tramas gPTP.

[1868] En una realización, una estación final conectada a un UE generará mensajes de anuncio que portan información en el dominio gPTP (domainNumber portado en el encabezado PTP) que opera, o un nodo 5GS podría usar, por ejemplo, mensajes de anuncio para detectar los intereses de las estaciones finales. Un nodo en el 5GS, tal como, por ejemplo, la UPF podría

conocer cuál UE, respectivamente estaciones finales detrás de un UE está interesado en cuáles mensajes gPTP y establecer, por ejemplo, reglas para enrutar tramas gPTP entrantes acorde a ello.

[1869] Los mensajes de seguimiento/sincronización solo se transmiten a los UE interesados en estos paquetes gPTP (que son los que operan en ese dominio gPTP específico); un UE reenviará mensajes gPTP de manera transparente desde una o unas estaciones finales a las que está conectado a, por ejemplo, la UPF para conocer las necesidades de las estaciones finales.

[1870] Ejemplo de esta realización:

- las tramas gPTP (por ejemplo, un mensaje de anuncio o mensaje de sincronización u otro) arriban a la UPF desde una red TSN externa; estas tramas portan la dirección MAC de destino Ethernet multidifusión gPTP y un domainNumber específico que indica el dominio de tiempo al que se refieren.

- En ese momento, la UPF no conoce cuál UE está interesado en tramas de este dominio de tiempo (domainNumber), ya que la dirección MAC indica una multidifusión; por lo tanto, envía todas o un subconjunto de tramas gPTP o una trama gPTP específica (como un mensaje de anuncio) a todos los UE o a cualquier subconjunto de UE relevantes (Opción A). Además, o como otra solución (Opción B), las estaciones finales envían cualquier trama gPTP a los propios 5GS que el UE reenviará a la red 5G.

- (Opción A) Un UE que recibe tramas gPTP desde la red 5G las reenviará a una estación final a la que está conectado. Si la estación final o cualquier otro par conectado a esa estación final están interesados en las tramas gPTP de este dominio de tiempo (al comprobar el domainNumber) responderán a estas tramas gPTP de una manera definida en el protocolo gPTP (este es un enfoque que podría ser aplicable en caso de que el 5GS emule el comportamiento de un enlace PTP, donde los mensajes pdelay se intercambian a través del sistema 5G). Estos paquetes son reenviados por el UE a la red 5G,

lo que permite que la red 5G detecte cuál UE está interesado en tramas desde cuál dominio de tiempo.

- (Opción B): un UE recibe, por ejemplo, un mensaje de anuncio o cualquier otro mensaje PTP desde una estación final o múltiples estaciones finales; el UE los reenvía a la red 5G; según el domainNumber que porten los mensajes de anuncio, el 5GS conoce el domainNumber correcto que se va a enviar a la o las estaciones finales o al o los UE, respectivamente.

[1871] Según otra realización, en la red 5G puede preconfigurarse cuáles UE recibirán tramas desde un dominio de tiempo específico; las tramas pueden reenviarse en UPF a sesiones PDU según el domainNumber. La SMF puede ser una entidad que configura filtros en UPF en la configuración o modificación de sesiones PDU. De una manera, el 5GS obtendrá información de la red TSN sobre cuál señal de dominio de tiempo necesita ser dirigida a cuál UE, es decir, identificador UE, o dirección MAC de una estación final conectada al UE respectivamente. Por ejemplo, esto puede obtenerse desde la CNC de TSN externa hacia la función de aplicación (AF) cuando la CNC configura dominios TSN en la red TSN. La CNC puede anunciar cuáles señales de dominio de tiempo necesitan reenviarse a cuál puerto, es decir, UE o dirección MAC. La AF puede activar cualquier otra función de red principal para establecer el filtro o las reglas correctos en UPF para reenviar las tramas gPTP a las sesiones PDU correctas usando domainNumbers.

[1872] Esto se ilustra en la Figura 220. En detalle:

1. La CUC puede conocer exactamente cuál dominio de reloj desea una estación final.

2. La CUC puede entonces indicar, lo cual también puede denominarse instruir, a la CNC que configure el “puente” 5G (el sistema 5G modelado como un puente/repetidora con conocimiento del tiempo), p. ej., la CNC solicita al 5GS que configure un enlace entre el lado norte del puente 5G y el lado sur del puente

5G, para que pueda entregarse la temporización correcta a la estación final correspondiente (p. ej., de cuál puerto de ingreso a cuál puerto de egreso).

3. El 5GS puede recibir, en la AF que puede comprender la función de traductor, información del CNC y puede traducir el comando CNC a señalización 5GS, lo cual también puede denominarse señalización 3GPP. En el documento IEEE P802.1AS-rev esto se denomina configuración de puerto externo, que puede ser llevada a cabo por una CNC para definir el árbol de expansión rápida gPTP dentro de un conmutador o, en nuestro caso, dentro del 5GS. Si la configuración de puerto externo está disponible como información proveniente de una CNC, entonces ya no es necesario un BCMA. Los puertos pueden ser configurados por la CNC a roles diferentes como MasterPort, SlavePort, PassivePort, o DisabledPort lo cual puede interpretarse como el lugar al que necesita enrutarse cada señal del dominio de tiempo en el 5GS según la norma IEEE P802.1ASrev. La señalización interna 5GS desde la AF se usa para, p. ej., configurar/actualizar sesiones PDU desde la UPF hasta el UE; en este caso, solo el dominio de reloj seleccionado/filtrado se transferirá al UE/estación final correspondiente.

[1873] En todas las realizaciones mencionadas anteriormente (tales como, p. ej., unidifusión o difusión) tampoco es importante la manera en que se transporta el gPTP en el 5GS, además de que la trama gPTP sea de unidifusión, multidifusión o difusión al UE. Esto puede comprender el marcado temporal de tramas gPTP en el ingreso y egreso del 5GS para calcular un tiempo de corrección y compensar diversos retrasos en el 5GS. Esto se muestra en las Figuras 224, 225 y 226 en las que el tiempo del 5GS se agrega al mensaje cuando el mensaje entra en el 5GS. No se especifica si el 5GS puede necesitar transmitir todos los paquetes gPTP (Sync, Follow_up, Pdelay_request, Pdelay_response, PDelay_Response_Follow_up, Announce etc.) o simplemente cualquier subconjunto de ellos sobre la RAN, tal como, por ejemplo, solo los mensajes de seguimiento que contienen las marcas temporales reales y después

podría crearse cualquier paquete no transmitido, p. ej., en el lado UE, para asegurar un manejo válido de comunicación gPTP con cualquier estación final conectada. Según una realización, se transmitirá periódicamente al menos una trama gPTP que porte toda la información necesaria (domainNumber, marca de tiempo, etc.). Las tramas gPTP pueden transmitirse como paquetes de datos.

[1874] Además, también es posible usar un Protocolo de Internet (IP) para transportar las tramas gPTP. Todas las realizaciones descritas en el presente documento pueden ser aplicables de manera similar en el caso donde se usa IP sobre Ethernet en la capa 3 (L3). La función de traductor ilustrada en las Figuras 225 y 226 puede ser una entidad individual o puede ser parte de la función UPF. La función de traductor puede enviar dominios de reloj/temporales a los UE a través de sesiones PDU punto a punto o puede enviar múltiples secuencias dentro de la sesión de PDU. La función de traductor también puede ser un dispositivo de transmisión según las realizaciones ejemplares descritas en el presente documento. La Figura 220 muestra un ejemplo de una realización en la que la CNC de TSN proporciona entrada a la UPF y/o al gNB sobre cómo reenviar las señales de dominio de tiempo. En el escenario que se muestra en la Figura 220, las tramas gPTP son reenviadas usando unidifusión y/o multidifusión por la UPF al dispositivo receptor, tal como, p. ej., el UE.

[1875] Gran maestro en el lado UE del 5GS, enlace ascendente: Si el gran maestro está ubicado en el lado UE del 5GS, entonces el UE necesita reenviar la información temporal al gNB. En este caso, el UE puede ser el dispositivo de transmisión, y el gNB y/o la UPF pueden ser el dispositivo receptor. El UE puede recibir mensajes gPTP desde la TSN y, por lo tanto, tendrá conocimiento del tiempo. El 5GS puede requerir información sobre los dominios de tiempo para saber a cuál dominio de tiempo pertenece la información temporal reenviada desde el UE.

[1876] El UE siempre usa unidifusión para reenviar tramas gPTP a la red 5G. Según los encabezados de tramas gPTP, la red es capaz de determinar el

dominio de tiempo. Según una realización del presente documento podría no ser necesario transmitir todas las tramas gPTP, sino solo un subconjunto y filtrar otras en el lado UE. La red 5G, por ejemplo, en la UPF, puede recrear cualquier trama gPTP no transmitida.

[1877] Según un caso especial puede ser necesario reenviar la señal temporal a otro UE en lugar de hacerlo a una red TSN externa, tal como una red de datos. En este caso, el 5GS puede usar uno de los métodos presentados anteriormente en relación con las realizaciones relacionadas con el enlace descendente, obteniendo la información sobre el número de dominio de tiempo a partir de las cabeceras de trama que recibe.

[1878] Las realizaciones del presente documento tienen el beneficio de que permiten la sincronización temporal de extremo a extremo con múltiples dominios de tiempo. Por lo tanto, el sistema 5GS ahora es capaz de reenviar con eficacia señales temporales desde múltiples dominios de tiempo.

[1879] La Figura 221 ilustra las acciones de método llevadas a cabo por el dispositivo de transmisión, tal como, p. ej., el UE 120, el nodo de red 110, la UPF y/o la función de traductor, en un sistema de comunicación inalámbrica 3GPP 100, tal como, p. ej., el sistema 5G, para manejar la señalización gPTP desde la TSN.

- **Acción 1301:** el dispositivo de transmisión puede recibir, desde la red TSN, una trama gPTP, tal como, p. ej., un mensaje de anuncio o un mensaje de sincronización. La trama gPTP puede comprender información temporal, una indicación de un dominio de tiempo relacionado con la información temporal y/o una dirección MAC de una segunda estación final conectada a un dispositivo receptor.

- **Acción 1302:** el dispositivo de transmisión puede determinar, según la indicación del dominio de tiempo y/o la dirección MAC, el dispositivo receptor con el que está relacionada la trama gPTP.

- **Acción 1302a:** el dispositivo de transmisión puede determinar el dispositivo receptor con el que está relacionada la trama gPTP al obtener información sobre el dominio de tiempo con el que están relacionados el dispositivo receptor y/o una o más segundas estaciones finales conectadas al dispositivo receptor. El dispositivo de transmisión puede obtener la información al recibir la información desde el dispositivo receptor. El dispositivo de transmisión puede obtener la información al recibir una preconfiguración que indica cuáles dispositivos receptores están relacionados con un dominio de tiempo específico. El dispositivo de transmisión puede obtener más información sobre el dominio de tiempo soportado por una o más segundas estaciones finales en la TSN al recibir información desde un controlador de red TSN, donde la información comprende un identificador de dispositivo receptor, tal como, p. ej., un identificador UE, o una dirección MAC de las una o más segundas estaciones finales.

- **Acción 1302b:** el dispositivo de transmisión puede determinar además el dispositivo receptor con el que está relacionada la trama gPTP al determinar que la trama gPTP recibida está relacionada con un dispositivo receptor cuando la indicación del dominio de tiempo o la dirección MAC comprendida en la trama gPTP corresponde a la información obtenida sobre el dominio de tiempo con el que están relacionados el dispositivo receptor y/o una o más segundas estaciones finales conectadas al dispositivo receptor.

- **Acción 1303:** el dispositivo de transmisión puede establecer además un primer marcado temporal en la trama gPTP cuando la trama gPTP es recibida y/o transmitida por el dispositivo de transmisión, donde el primer marcado temporal puede usarse para calcular un tiempo de corrección para compensar diversos retrasos en el sistema de comunicación inalámbrica 3GPP 100.

- **Acción 1304:** el dispositivo de transmisión puede transmitir, al dispositivo receptor determinado, tal como, p. ej., el nodo de red radioeléctrica

110 o la UPF en UL y/o el UE 120 en DL, la trama gPTP en una sesión de PDU relacionada con el dispositivo receptor determinado. El dispositivo de transmisión puede ser un nodo de red radioeléctrica o una UPF, y la trama gPTP puede transmitirse usando difusión. El dispositivo de transmisión puede además transmitir la trama gPTP usando multidifusión o unidifusión.

[1880] La Figura 222 ilustra las acciones de método llevadas a cabo por el dispositivo receptor, tal como, p. ej., el UE 120, el nodo de red radioeléctrica 110, la UPF y/o la función de traductor, en el sistema de comunicación inalámbrica 3GPP 100, tal como, p. ej., el sistema 5G, para manejar la señalización gPTP desde la TSN. El dispositivo receptor también puede denominarse entidad receptora en el presente documento.

- **Acción 1401:** el dispositivo receptor puede recibir, desde un dispositivo de transmisión, tal como, p. ej., el nodo de red radioeléctrica 110, la UPF y/o el UE 120, una sesión de PDU que comprende una trama gPTP que, a su vez, comprende una información temporal, una indicación de un dominio de tiempo relacionado con la información temporal y/o una dirección MAC de una o más segundas estaciones finales conectadas al dispositivo receptor. La sesión de PDU puede recibirse usando multidifusión, unidifusión o difusión.

- **Acción 1402:** el dispositivo receptor puede determinar, según la indicación del dominio de tiempo y/o la dirección MAC, una o más segundas estaciones finales en la red TSN a las cuales transmitirá la trama gPTP recibida.

- **Acción 1403:** cuando la sesión de PDU se recibe como mensaje difundido, el dispositivo receptor puede obtener información adicional sobre el dominio de tiempo soportado por una o más segundas estaciones finales en la red TSN; tales estaciones finales están conectadas al dispositivo receptor. La información sobre el dominio de tiempo soportado por las estaciones finales en la TSN, puede obtenerse, p. ej., al recibir un mensaje gPTP, tal como, p. ej., un mensaje de anuncio gPTP, entregado periódicamente por las una o más

segundas estaciones finales. En una realización más, la información sobre el dominio de tiempo soportado por las una o más segundas estaciones finales en la TSN, puede obtenerse al recibir información desde un controlador de red TSN, donde la información comprende un identificador de dispositivo receptor, tal como, p. ej., un identificador UE, o una dirección MAC de las una o más segundas estaciones finales.

- **Acción 1404:** el dispositivo receptor puede además establecer un segundo marcado temporal en la trama gPTP cuando la sesión de PDU que comprende la trama gPTP es recibida y/o la trama gPTP es transmitida por el dispositivo receptor. El segundo marcado temporal puede usarse en combinación con el primer marcado temporal recibido en la trama gPTP para calcular un tiempo de corrección para compensar diversos retrasos en el sistema de comunicación inalámbrica 3GPP 100.

- **Acción 1405:** el dispositivo receptor puede transmitir la trama gPTP a las una o más segundas estaciones finales en la red TSN. La trama gPTP comprende la información temporal y el dominio de tiempo relacionado con la información temporal incluida en la sesión de PDU.

- **Acción 1405a:** el dispositivo receptor puede transmitir, a las una o más segundas estaciones finales, la información temporal difundida cuando la sesión de PDU difundida se relaciona con un dominio de tiempo soportado por las una o más segundas estaciones finales de la TSN, según la información obtenida en la acción 1403. Por lo tanto, cualquier información temporal difundida no relacionada con el dominio de tiempo soportado por la estación final de la TSN que esté conectada al dispositivo receptor no será transmitida a la estación final por el dispositivo receptor.

[1881] Se entiende que los métodos descritos anteriormente podrán ser llevados a cabo por varios de los nodos descritos en otra parte del presente documento. Asimismo, es posible cualquier combinación de lo anterior

implementada por los nodos adecuados y se encuentra contemplada por la presente divulgación.

[1882] Dispositivos inalámbricos/UE

[1883] Muchas de las técnicas descritas anteriormente son llevadas a cabo, en su totalidad o en parte, por un dispositivo inalámbrico, o UE. Como se usa del presente documento, los términos "dispositivo inalámbrico", "equipo de usuario" y "UE" se usan indistintamente, a menos que el contexto de un uso específico indique claramente lo contrario, y se refieren a un dispositivo capaz de, configurado, arreglado y/u operable para comunicarse de manera inalámbrica con el equipo de red y/u otro dispositivo inalámbrico. En el presente contexto, comunicarse de manera inalámbrica implica transmitir y/o recibir señales inalámbricas usando señales electromagnéticas. En realizaciones particulares, los dispositivos inalámbricos pueden configurarse para transmitir y/o recibir información sin interacción humana directa. Por ejemplo, un dispositivo inalámbrico se puede diseñar para transmitir información a una red en un horario predeterminado, cuando lo activa un evento interno o externo o en respuesta a las solicitudes de la red. Generalmente, un dispositivo inalámbrico puede representar cualquier dispositivo capaz de, configurado, arreglado y/u operable para la comunicación inalámbrica, por ejemplo, dispositivos de radiocomunicación. Ejemplos de dispositivos inalámbricos incluyen, a mero título enunciativo, equipos de usuario (UE) tales como teléfonos inteligentes. Otros ejemplos comprenden cámaras inalámbricas, computadoras portátiles inalámbricas, equipos integrados en computadoras portátiles (LEE), equipos montados en computadoras portátiles (LME), *dongles* USB, y/o equipos inalámbricos en las instalaciones del cliente (CPE).

[1884] A título de ejemplo específico, un dispositivo inalámbrico puede representar un UE configurado para la comunicación de conformidad con una o más normas de comunicación promulgadas por el Proyecto de asociación de

tercera generación (3GPP), tales como las normas GSM, UMTS, LTE y/o 5G del 3GPP. Como se usa en el presente documento, un "equipo de usuario" o "UE" puede no necesariamente tener un "usuario" en el sentido de un usuario humano que posee y/u opera el dispositivo pertinente. En cambio, un UE puede representar un dispositivo destinado a la venta a, o a la operación por parte de, un usuario humano, pero puede no estar inicialmente asociado con un usuario humano específico. También se entiende que en la discusión detallada anterior, el término "UE" se usa, por conveniencia aún más generalmente, para incluir en el contexto de 5G cualquier tipo de dispositivo inalámbrico que accede a y/o es servido por la red 5G, independientemente de que el UE esté asociado o no con un “usuario” propiamente dicho. Por lo tanto, el término "UE" usado en la discusión detallada anterior incluye dispositivos de comunicación de tipo máquina (MTC) (a veces denominados dispositivos de máquina a máquina o M2M), por ejemplo, así como teléfonos celulares o dispositivos inalámbricos que puedan estar asociados con un "usuario".

[1885] Algunos dispositivos inalámbricos pueden soportar la comunicación de dispositivo a dispositivo (D2D), por ejemplo, al implementar una norma del 3GPP para la comunicación de enlace lateral y, en este caso, pueden denominarse dispositivos de comunicación D2D.

[1886] Como aún otro ejemplo específico, en un escenario de Internet de las cosas (IOT), un dispositivo inalámbrico puede representar una máquina u otro dispositivo que lleva a cabo monitoreo y/o mediciones, y transmite los resultados de tal monitoreo y/o mediciones a otro dispositivo inalámbrico y/o un equipo de red. En este caso, un dispositivo inalámbrico puede ser un dispositivo de máquina a máquina (M2M) que, en un contexto 3GPP, puede denominarse dispositivo de comunicación de tipo máquina (MTC). A título de ejemplo particular, un dispositivo inalámbrico puede ser un UE que implementa la norma de Internet de las cosas de banda estrecha (NB-IoT) de 3GPP. Ejemplos particulares de tales máquinas o dispositivos son sensores, dispositivos de

medición tales como medidores de potencia, maquinaria industrial, o aparatos domésticos o personales, p. ej., heladeras, televisores, objetos personales portables, tales como relojes pulsera, etc. En otros escenarios, un dispositivo inalámbrico puede representar un vehículo u otro equipo que es capaz de monitorear y/o informar sobre su estado operativo u otras funciones asociadas con su operación.

[1887] Un dispositivo inalámbrico, conforme se describe arriba, puede representar un extremo de conexión inalámbrica, en cuyo caso el dispositivo puede denominarse terminal inalámbrica. Asimismo, un dispositivo inalámbrico, conforme se describe arriba, puede ser un móvil; en este caso, también puede denominarse “dispositivo móvil” o “terminal móvil”.

[1888] Aunque se entenderá que realizaciones específicas de los dispositivos inalámbricos mencionados en el presente documento pueden incluir alguna de las diversas combinaciones adecuadas de *hardware* y/o *software*, un dispositivo inalámbrico configurado para operar en las redes de comunicaciones inalámbricas descritas en el presente documento y/o según las diversas técnicas descritas en el presente documento, en particular realizaciones, puede representarse mediante el dispositivo inalámbrico ejemplar 1000 mostrado en la Figura 166.

[1889] Como se muestra en la Figura 166, el dispositivo inalámbrico ejemplar 1000 comprende una antena 1005, circuitería de radio *front end* 1010 y circuitería de procesamiento 1020, que en el ejemplo ilustrado incluye un medio de almacenamiento legible por computadora 1025, p. ej., uno o más dispositivos de memoria. La antena 1005 puede incluir una o más antenas o conjuntos de antenas, está configurada para enviar y/o recibir señales inalámbricas, y está conectada a la circuitería de radio *front end* 1010. En determinadas realizaciones alternativas, el dispositivo inalámbrico 1000 puede no incluir la antena 1005 y, en cambio, la antena 1005 puede estar separada del dispositivo inalámbrico

1000 y puede conectarse al dispositivo inalámbrico 1000 a través de una interfaz o puerto.

[1890] La circuitería de radio *front end* 1010 que puede comprender diversos filtros y amplificadores, por ejemplo, está conectada a la antena 1005 y la circuitería de procesamiento 1020, y está configurada para condicionar las señales comunicadas entre la antena 1005 y la circuitería de procesamiento 1020. En determinadas realizaciones alternativas, el dispositivo inalámbrico 1000 puede no incluir la circuitería de radio *front end* 1010 y, en cambio, la circuitería de procesamiento 1020 puede conectarse a la antena 1005 sin la circuitería de radio *front end* 1010. En algunas realizaciones, la circuitería de radiofrecuencia 1010 está configurada para manejar señales en múltiples bandas de frecuencia, en algunos casos, simultáneamente.

[1891] La circuitería de procesamiento 1020 puede incluir una o más de circuitería de transceptor de radiofrecuencia (RF) 1021, circuitería de procesamiento de banda de base 1022, y circuitería de procesamiento de aplicaciones 1023. En algunas realizaciones, la circuitería de transceptor de RF 1021, la circuitería de procesamiento de banda de base 1022 y la circuitería de procesamiento de aplicaciones 1023 pueden estar en *chipsets* separados. En realizaciones alternativas, parte o la totalidad de la circuitería de procesamiento de banda de base 1022 y la circuitería de procesamiento de aplicaciones 1023 pueden combinarse en un solo *chipset*, y la circuitería de transceptor de RF 1021 puede estar en un *chipset* separado. En todavía realizaciones alternativas, parte o la totalidad de la circuitería de transceptor de RF 1021 y la circuitería de procesamiento de banda de base 1022 pueden estar en el mismo *chipset*, y la circuitería de procesamiento de aplicaciones 1023 puede estar en un *chipset* separado. En aún otras realizaciones alternativas, parte o la totalidad de la circuitería de transceptor de RF 1021, la circuitería de procesamiento de banda de base 1022 y la circuitería de procesamiento de aplicaciones 1023 pueden combinarse en el mismo *chipset*. La circuitería de procesamiento 1020 puede

incluir, por ejemplo, una o más unidades centrales de procesamiento (CPU), uno o más microprocesadores, uno o más circuitos integrados específicos de aplicaciones (ASIC) y/o una o más matrices de puertas programables en el campo (FPGA).

[1892] En realizaciones particulares, parte o la totalidad de la funcionalidad descrita en el presente documento como relevante para un equipo de usuario, un dispositivo MTC u otro dispositivo inalámbrico puede realizarse en un dispositivo inalámbrico o, como alternativa, puede realizarse mediante la circuitería de procesamiento 1020 al ejecutar instrucciones almacenadas en un medio de almacenamiento legible por computadora 1025, como se muestra en la Figura 166. En realizaciones alternativas, parte o la totalidad de la funcionalidad puede ser proporcionada por la circuitería de procesamiento 1020 sin ejecutar instrucciones almacenadas en un medio legible por computadora, tal como, p. ej., de manera cableada. En cualquiera de esas realizaciones particulares, independientemente de que ejecuten o no instrucciones almacenadas en un medio de almacenamiento legible por computadora, puede decirse que la circuitería de procesamiento 1020 está configurada para llevar a cabo la funcionalidad descrita. Los beneficios proporcionados por tal funcionalidad no se limitan a la circuitería de procesamiento 1020 sola o a otros componentes del dispositivo inalámbrico, sino que también los aprovecha el dispositivo inalámbrico en su totalidad, y/o los usuarios finales y la red inalámbrica en general.

[1893] La circuitería de procesamiento 1020 puede configurarse para llevar a cabo cualquier operación de determinación descrita en el presente documento. La determinación llevada a cabo por la circuitería de procesamiento 1020 puede incluir procesar la información obtenida por la circuitería de procesamiento 1020, por ejemplo, al convertir la información obtenida en otra información, comparar la información obtenida o convertir la información en información almacenada en el dispositivo inalámbrico, y/o llevar a cabo una o

más operaciones según la información obtenida o convertida y, como resultado de dicho procesamiento, tomar una determinación.

[1894] La antena 1005, la circuitería de radio *front end* 1010 y/o la circuitería de procesamiento 1020 pueden configurarse para llevar a cabo cualquier operación de transmisión descrita en el presente documento. Cualquier información, datos y/o señales pueden transmitirse a un equipo de red y/u otro dispositivo inalámbrico. Asimismo, la antena 1005, la circuitería de radio *front end* 1010 y/o la circuitería de procesamiento 1020 pueden configurarse para llevar a cabo cualquier operación de recepción descrita en el presente documento llevada a cabo por un dispositivo inalámbrico. Cualquier información, datos y/o señales pueden recibirse desde un equipo de red y/u otro dispositivo inalámbrico.

[1895] El medio de almacenamiento legible por computadora 1025 es generalmente operable para almacenar instrucciones, tales como un programa informático, *software*, una aplicación que incluye uno o más de lógica, reglas, código, tablas, etc. y/u otras instrucciones capaces de ser ejecutadas por un procesador. Ejemplos de medio de almacenamiento legible por computadora 1025 incluyen memoria informática (p. ej., memoria de acceso aleatorio (RAM) o memoria de solo lectura (ROM)), medios de almacenamiento masivo (por ejemplo, un disco duro), medios de almacenamiento extraíbles (por ejemplo, un disco compacto (CD) o un disco de video digital (DVD)), y/o cualquier otro dispositivo de memoria volátil o no volátil, no transitorio legible y/o ejecutable por computadora que almacene información, datos y/o instrucciones que puedan ser usadas por la circuitería de procesamiento 1020. En algunas realizaciones, la circuitería de procesamiento 1020 y el medio de almacenamiento legible por computadora 1025 pueden considerarse integrados.

[1896] Realizaciones alternativas del dispositivo inalámbrico 1000 pueden incluir componentes adicionales a los mostrados en la Figura 166, que pueden ser responsables de proporcionar ciertos aspectos de la funcionalidad del

dispositivo inalámbrico, incluida cualquiera de la funcionalidad descrita en el presente documento y/o cualquier funcionalidad necesaria para soportar la solución descrita anteriormente. A título de solo un ejemplo, el dispositivo inalámbrico 1000 puede incluir interfaces, dispositivos y circuitos de entrada, e interfaces, dispositivos y circuitos de salida. Las interfaces, dispositivos y circuitos de entrada están configurados para permitir la entrada de información en el dispositivo inalámbrico 1000 y están conectados a la circuitería de procesamiento 1020 para permitir que la circuitería de procesamiento 1020 procese la información de entrada. Por ejemplo, las interfaces, dispositivos y circuitos de entrada pueden incluir un micrófono, un sensor de proximidad u otro sensor, teclas/botones, una pantalla táctil, una o más cámaras, un puerto USB, u otros elementos de entrada. Las interfaces, dispositivos y circuitos de salida están configurados para permitir la salida de información desde el dispositivo inalámbrico 1000 y están conectados a la circuitería de procesamiento 1020 para permitir que la circuitería de procesamiento 1020 emita información desde el dispositivo inalámbrico 1000. Por ejemplo, las interfaces, dispositivos o circuitos de salida pueden incluir un altavoz, una pantalla, circuitería vibratoria, un puerto USB, una interfaz de auriculares, u otros elementos de salida. Usando una o más interfaces, dispositivos y circuitos de entrada y salida, el dispositivo inalámbrico 1000 puede comunicarse con usuarios finales y/o la red inalámbrica, y permitirles beneficiarse de la funcionalidad descrita en el presente documento.

[1897] A título de otro ejemplo, el dispositivo inalámbrico 1000 puede incluir circuitería de alimentación 1030. La circuitería de alimentación 1030 puede comprender circuitería de gestión de alimentación. La circuitería de alimentación puede recibir alimentación desde una fuente de alimentación, que puede estar comprendida en, o ser externa a, la circuitería de alimentación 1030. Por ejemplo, el dispositivo inalámbrico 1000 puede comprender una fuente de alimentación en la forma de batería o paquete de baterías que está conectado a, o integrado en, la circuitería de alimentación 1030. También se pueden usar otros

tipos de fuentes de alimentación, tales como dispositivos fotovoltaicos. A título de otro ejemplo más, el dispositivo inalámbrico 1000 puede conectarse a una fuente de alimentación externa (tal como un tomacorriente) a través de una circuitería o interfaz de entrada tal como un cable eléctrico, por el cual la fuente de alimentación externa suministra alimentación a la circuitería de alimentación 1030.

[1898] La circuitería de alimentación 1030 puede conectarse a la circuitería de radio *front end* 1010, a la circuitería de procesamiento 1020 y/o al medio de almacenamiento legible por computadora 1025 y configurarse para suministrar alimentación al dispositivo inalámbrico 1000, incluida la circuitería de procesamiento 1020, para llevar a cabo la funcionalidad descrita en el presente documento.

[1899] El dispositivo inalámbrico 1000 también puede incluir múltiples conjuntos de circuitería de procesamiento 1020, medio de almacenamiento legible por computadora 1025, circuitería radioeléctrica 1010, y/o antena 1005 para diferentes tecnologías inalámbricas integradas en el dispositivo inalámbrico 1000, tales como, por ejemplo, tecnologías inalámbricas GSM, WCDMA, LTE, NR, wifi o Bluetooth. Estas tecnologías inalámbricas pueden integrarse en *chipsets* iguales o diferentes, y en otros componentes del dispositivo inalámbrico 1000.

[1900] En diversas realizaciones, el dispositivo inalámbrico 1000 está adaptado para llevar a cabo cualquiera de una o más de una serie de combinaciones de las características y técnicas descritas en el presente documento. A continuación, se describen varios ejemplos no limitantes.

[1901] En un primer ejemplo, un dispositivo inalámbrico comprende circuitería de transceptor configurada para comunicarse con una red de comunicaciones inalámbricas y circuitería de procesamiento acoplada operativamente a la circuitería de transceptor. La circuitería de procesamiento está configurada (p. ej., mediante código de programa almacenado en una

memoria) para controlar la circuitería de transceptor y recibir información del sistema (SI) desde una estación base radioeléctrica (RBS) de una red de acceso radioeléctrico (RAN), siendo la SI indicativa de soporte para redes sensibles al tiempo, TSN, a través de la RBS, establecer al menos una secuencia TSN con la red de datos TSN externa, a través del RBS, y recibir una primera señal de temporización desde la red de comunicaciones inalámbricas, a través del RBS. La circuitería de procesamiento está configurada además para recibir una segunda señal de temporización desde la red de datos TSN externa a la que está conectado el dispositivo inalámbrico, comparar la primera señal de temporización con la segunda señal de temporización para determinar un desplazamiento, y transmitir el desplazamiento a la red de comunicaciones inalámbricas. En diversas realizaciones, todas las variaciones descritas anteriormente para los métodos que corresponden a esta realización de dispositivo inalámbrico pueden aplicarse a este dispositivo inalámbrico ejemplar, y realizaciones de este dispositivo inalámbrico pueden configurarse para llevar a cabo técnicas adicionales descritas en el presente documento.

[1902] Otro dispositivo inalámbrico ejemplar configurado para usar en una red de comunicaciones inalámbricas comprende asimismo circuitería de transceptor configurada para comunicarse con una red de comunicaciones inalámbricas y circuitería de procesamiento acoplada operativamente a la circuitería de transceptor y configurada para controlar la circuitería de transceptor. La circuitería de procesamiento de este dispositivo inalámbrico ejemplar está configurada para recibir SI desde un RBS de una RAN, siendo la SI indicativa de soporte para TSN a través del RBS, establecer al menos una secuencia TSN con la red de datos externa, a través del RBS, y obtener información de configuración para la secuencia TSN, la información de configuración indicando respectivos valores para uno o más campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con la secuencia TSN que van a permanecer estáticos. La circuitería de procesamiento está configurada

además para recibir, desde el RBS, un paquete de datos asociado con la secuencia TSN y agregar uno o más campos al paquete de datos para generar un paquete de datos descomprimido. Nuevamente, en diversas realizaciones todas las variaciones descritas anteriormente para los métodos que corresponden a esta realización de dispositivo inalámbrico pueden aplicarse a este dispositivo inalámbrico ejemplar, y realizaciones de este dispositivo inalámbrico pueden configurarse para llevar a cabo técnicas adicionales descritas en el presente documento.

[1903] Otro dispositivo inalámbrico ejemplar configurado para la comunicación con una RAN también comprende circuitería de transceptor configurada para comunicarse con una red de comunicaciones inalámbricas y circuitería de procesamiento acoplada operativamente a la circuitería de transceptor y configurada para controlar la circuitería de transceptor. La circuitería de procesamiento de este ejemplo está configurada para recibir SI desde un RBS de la RAN, siendo la SI indicativa de soporte para TSN a través del RBS, establecer al menos una secuencia TSN con la red de datos externa, a través del RBS, y recibir, desde la red externa, un programa de transmisión asociada con la secuencia TSN. El dispositivo inalámbrico está configurado para enviar, a una red asociada con el RBS, una solicitud de asignación de recursos radioeléctricos para la comunicación de la secuencia TSN entre el dispositivo inalámbrico y la RAN, donde la solicitud comprende además información relacionada con el programa de transmisión, y recibir, desde la red, una respuesta que indica si pueden asignarse recursos radioeléctricos para cumplir con el programa de transmisión asociada con la secuencia TSN. Una vez más, en diversas realizaciones todas las variaciones descritas anteriormente para los métodos que corresponden a esta realización de dispositivo inalámbrico pueden aplicarse a este dispositivo inalámbrico ejemplar, y realizaciones de este dispositivo inalámbrico pueden configurarse para llevar a cabo técnicas adicionales descritas en el presente documento.

[1904] Todavía otro dispositivo inalámbrico ejemplar configurado para usar en una red de comunicaciones inalámbricas comprende circuitería de transceptor configurada para comunicarse con una red de comunicaciones inalámbricas y circuitería de procesamiento acoplada operativamente a la circuitería de transceptor y configurada para controlar la circuitería de transceptor. La circuitería de procesamiento está configurada para recibir SI desde un RBS de una RAN, siendo la SI indicativa de soporte para TSN a través del RBS, establecer al menos una secuencia TSN con la red de datos TSN externa, a través del RBS, recibir información de configuración que configure concesiones periódicas de enlace ascendente que indican recursos de enlace ascendente que se usarán para las transmisiones de enlace ascendente a la red de comunicaciones inalámbricas, y recibir una concesión dinámica de enlace ascendente para una transmisión de enlace ascendente a la red de comunicaciones inalámbricas. La circuitería de procesamiento está configurada para priorizar la transmisión de enlace ascendente que usa la concesión periódica de enlace ascendente configurada respecto de la transmisión de enlace ascendente que usa la concesión dinámica de enlace ascendente, con la condición de que haya datos de enlace ascendente que se transmitirán en la concesión periódica de enlace ascendente configurada, según un procedimiento lógico de priorización de canales. Nuevamente, en diversas realizaciones todas las variaciones descritas anteriormente para los métodos que corresponden a esta realización de dispositivo inalámbrico pueden aplicarse a este dispositivo inalámbrico ejemplar, y realizaciones de este dispositivo inalámbrico pueden configurarse para llevar a cabo técnicas adicionales descritas en el presente documento.

[1905] Otros ejemplos incluyen un primer dispositivo configurado para ayudar a inscribir un segundo dispositivo a un entorno de Internet de las cosas (IoT); el primer dispositivo comprende circuitería de transceptor configurada para comunicarse con el segundo dispositivo y circuitería de procesamiento acoplada

operativamente a la circuitería de transceptor y configurada para controlar la circuitería de transceptor. La circuitería de procesamiento está configurada para obtener una representación de una función de inscripción asociada con el segundo dispositivo, donde la función de inscripción está asociada con al menos una solicitud de inscripción serializada que comprende información de inscripción asociada con el primer y segundo dispositivo, deserializar la aplicación de inscripción, de manera que la información de inscripción asociada con el primer dispositivo se separe de la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo, y transmitir la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo al segundo dispositivo para iniciar la ejecución, por el segundo dispositivo, del proceso de inscripción del segundo dispositivo al configurar el segundo dispositivo según la información de inscripción asociada con el segundo dispositivo. La circuitería de procesamiento está configurada para recibir, desde el segundo dispositivo, información de configuración asociada con el segundo dispositivo, usar un entorno de primer tiempo de ejecución que se ejecuta en el primer dispositivo para transferir un módulo del código a un entorno de segundo de ejecución que se ejecuta en el segundo dispositivo, donde el módulo del código está configurado para ejecutarse dentro del entorno de segundo tiempo de ejecución y exponer una función del segundo dispositivo, soportado por el entorno de segundo tiempo de ejecución, al primer dispositivo, y ejecutar una aplicación dentro del entorno de primer tiempo de ejecución, la aplicación invocando remotamente la función del segundo dispositivo a través del módulo del código transferido y el entorno de segundo tiempo de ejecución. Una vez más, en diversas realizaciones, todas las variaciones descritas anteriormente para los métodos que corresponden a esta realización de dispositivo inalámbrico pueden aplicarse a este dispositivo inalámbrico ejemplar, y realizaciones de este dispositivo inalámbrico pueden configurarse para llevar a cabo técnicas adicionales descritas en el presente documento.

[1906] Aún otro ejemplo es un correspondiente segundo dispositivo configurado para ejecutar un proceso de inscripción a un entorno IoT asistido por un primer dispositivo, el segundo dispositivo comprende circuitería de transceptor configurada para comunicarse con el primer dispositivo y circuitería de procesamiento acoplada operativamente a la circuitería de transceptor y configurada para controlar la circuitería de transceptor. La circuitería de procesamiento de este segundo dispositivo está configurada para recibir, desde el primer dispositivo, información de inscripción asociada con el segundo dispositivo, ejecutar el proceso de inscripción al configurar el segundo dispositivo según la información de inscripción, y transmitir la información de configuración asociada con el segundo dispositivo al primer dispositivo. La circuitería de procesamiento está configurada para recibir un módulo del código desde un entorno de primer tiempo de ejecución que se ejecuta en el primer dispositivo, hasta un entorno de segundo tiempo de ejecución que se ejecuta en el segundo dispositivo, para exponer una función del segundo dispositivo soportada por el entorno de segundo tiempo de ejecución al primer dispositivo, y usar el entorno de segundo tiempo de ejecución para controlar el desempeño de la función del segundo dispositivo que responde a una invocación remota de la función recibida a través del módulo del código desde una aplicación que se ejecuta dentro del entorno de primer tiempo de ejecución. De nuevo, en diversas realizaciones, todas las variaciones descritas anteriormente para los métodos que corresponden a esta realización de dispositivo inalámbrico pueden aplicarse a este dispositivo inalámbrico ejemplar, y realizaciones de este dispositivo inalámbrico pueden configurarse para llevar a cabo técnicas adicionales descritas en el presente documento.

[1907] Equipos de red y métodos

[1908] Como se usa en el presente documento, el término "equipos de red" o "nodo de red" se refiere a equipos capaces, configurados, arreglados y/u

operables para comunicarse directamente o indirectamente con un dispositivo inalámbrico y/o con otros equipos en la red de comunicación inalámbrica que habilitan y/o proporcionan acceso inalámbrico al dispositivo inalámbrico. Ejemplos de equipos de red incluyen, a mero título enunciativo, puntos de acceso (AP), en particular, puntos de acceso radioeléctrico. Los equipos de red pueden representar estaciones base (BS), tales como estaciones de base radioeléctrica. Ejemplos particulares de estaciones de base radioeléctrica incluyen nodos B, y nodos B evolucionados (eNB). Las estaciones base pueden clasificarse según la magnitud de cobertura que proveen (o, dicho de otra manera, sus niveles de potencia de transmisión) y entonces también pueden denominarse femto estaciones base, pico estaciones base, micro estaciones base, o macro estaciones base. "Equipos de red" también incluye una o más partes (o todas) de una estación base radioeléctrica distribuida, tales como unidades digitales centralizadas y/o unidades de radio remotas (RRU), a veces denominadas cabezales de radio remotos (RRH). Dichas unidades radioeléctricas remotas pueden o no integrarse con una antena como una radio con antena integrada. En un sistema de antena distribuida (DAS), las partes de una estación base radioeléctrica distribuida también pueden denominarse nodos.

[1909] Como ejemplo particular no limitante, una estación base puede ser un nodo de retransmisión o un nodo dador de retransmisión que controla una retransmisión.

[1910] Aún otros ejemplos de equipos de red incluyen equipos de radio multinorma (MSR) tales como MSR BS, controladores de red tales como controladores de red radioeléctrica (RNC) o controladores de estación base (BSC), estaciones transceptoras base (BTS), puntos de transmisión, nodos de transmisión, entidades de coordinación multicelda/multidifusión (MCE), nodos de red central (p. ej., MSC, MME), nodos O&M, nodos OSS, nodos SON, nodos de posicionamiento (p. ej., E-SMLC) y/o MDT. Más generalmente, sin embargo, los equipos de red pueden representar cualquier dispositivo (o grupo de dispositivos)

adecuado capaz, configurado, arreglado y/u operable para habilitar y/o proporcionar un acceso de dispositivo inalámbrico a la red de comunicación inalámbrica o proporcionar algún servicio a un dispositivo inalámbrico que ha accedido a la red de comunicación inalámbrica.

[1911] Como se usa del presente documento, el término "equipo de red radioeléctrica" se usa para referirse a equipo de red que comprenden capacidades de radio. Por lo tanto, ejemplos de equipo de red radioeléctrica son las estaciones de base radioeléctrica y los puntos de acceso radioeléctrico mencionados anteriormente. Se entenderá que algunos equipos de red radioeléctrica pueden comprender equipos distribuidos, tales como las estaciones de base radioeléctrica distribuidas (con RRH y/o RRU) mencionadas anteriormente. Se entenderá que diversas referencias a eNB, eNodeB, Node B, y similares en el presente documento se refieren a ejemplos de equipo de red radioeléctrica. También se entiende que el término "equipo de red radioeléctrica" como se usa en el presente documento puede referirse a una sola estación base o a un solo nodo radioeléctrico, en algunos casos, o a múltiples estaciones o nodos base, p. ej., en diferentes ubicaciones. En algunos casos, este documento puede referirse a una "instancia" de equipo de red radioeléctrica, para describir con mayor claridad ciertos escenarios donde intervienen múltiples realizaciones o instalaciones distintivas de equipo de radio. Sin embargo, la falta de referencia a una "instancia" en conexión con una discusión de equipo de red radioeléctrica no se entenderá como referida únicamente a una sola instancia. Una instancia dada de equipo de red radioeléctrica puede denominarse alternativamente "nodo de red radioeléctrica", donde el uso de la palabra "nodo" denota que el equipo al que se hace referencia opera como un nodo lógico en una red, pero no implica que todos los componentes estén necesariamente ubicados en el mismo lugar.

[1912] Aunque el equipo de red radioeléctrica puede incluir cualquier combinación adecuada de *hardware* y/o *software*, la Figura 167 ilustra con mayor detalle un ejemplo de una instancia de equipo de red radioeléctrica 1100. Como

se muestra en la Figura 167, el equipo de red radioeléctrica 1100 comprende una antena 1105, circuitería de radio *front end* 1110 y circuitería de procesamiento 1120, que en el ejemplo ilustrado comprende un medio de almacenamiento legible por computadora 1025, p. ej., uno o más dispositivos de memoria. La antena 1105 puede incluir una o más antenas o conjuntos de antenas, está configurada para enviar y/o recibir señales inalámbricas, y está conectada a la circuitería de radio *front end* 1110. En determinadas realizaciones alternativas, el equipo de red radioeléctrica 1100 puede no incluir la antena 1005, y la antena 1005 puede estar separada del equipo de red radioeléctrica 1100 y puede conectarse al equipo de red radioeléctrica 1100 a través de una interfaz o puerto. En algunas realizaciones, toda o partes de la circuitería de radio *front end* 1110 pueden estar ubicadas en uno o varios lugares alejados de la circuitería de procesamiento 1120, p. ej., en una RRH o RRU. Asimismo, porciones de la circuitería de procesamiento 1120 pueden estar físicamente separadas entre sí. El equipo de red radioeléctrica 1100 también puede comprender circuitería de interfaz de comunicación 1140 para comunicarse con otros nodos de red, p. ej., con otro equipo de red radioeléctrica y con nodos en una red principal.

[1913] La circuitería de radio *front end* 1110 que puede comprender diversos filtros y amplificadores, por ejemplo, está conectada a la antena 1105 y la circuitería de procesamiento 1120, y está configurada para condicionar las señales comunicadas entre la antena 1105 y la circuitería de procesamiento 1120. En determinadas realizaciones alternativas, el equipo de red radioeléctrica 1100 puede no incluir la circuitería de radio *front end* 1110 y, en cambio, la circuitería de procesamiento 1120 puede conectarse a la antena 1105 sin la circuitería de radio *front end* 1110. En algunas realizaciones, la circuitería de radiofrecuencia 1110 está configurada para manejar señales en múltiples bandas de frecuencia, en algunos casos, simultáneamente.

[1914] La circuitería de procesamiento 1120 puede incluir una o más de circuitería de transceptor de RF 1121, circuitería de procesamiento de banda de

base 1122, y circuitería de procesamiento de aplicaciones 1123. En algunas realizaciones, la circuitería de transceptor de RF 1121, la circuitería de procesamiento de banda de base 1122 y la circuitería de procesamiento de aplicaciones 1123 pueden estar en *chipsets* separados. En realizaciones alternativas, parte o la totalidad de la circuitería de procesamiento de banda de base 1122 y la circuitería de procesamiento de aplicaciones 1123 pueden combinarse en un solo *chipset*, y la circuitería de transceptor de RF 1121 puede estar en un *chipset* separado. En todavía realizaciones alternativas, parte o la totalidad de la circuitería de transceptor de RF 1121 y la circuitería de procesamiento de banda de base 1122 pueden estar en el mismo *chipset*, y la circuitería de procesamiento de aplicaciones 1123 puede estar en un *chipset* separado. En aún otras realizaciones alternativas, parte o la totalidad de la circuitería de transceptor de RF 1121, la circuitería de procesamiento de banda de base 1122 y la circuitería de procesamiento de aplicaciones 1123 pueden combinarse en el mismo *chipset*. La circuitería de procesamiento 1120 puede incluir, por ejemplo, una o más CPU centrales, uno o más microprocesadores, uno o más ASIC y/o uno o más FPGA de campo.

[1915] En realizaciones particulares, algunas o todas las funciones descritas en el presente documento como relevantes para el equipo de red radioeléctrica, estaciones de base radioeléctrica, eNB, gNB, etc., pueden realizarse en equipo de red radioeléctrica o, como alternativa, pueden realizarse mediante la circuitería de procesamiento 1120 al ejecutar instrucciones almacenadas en un medio de almacenamiento legible por computadora 1125, como se muestra en la Figura 183. En realizaciones alternativas, parte o la totalidad de la funcionalidad puede ser proporcionada por la circuitería de procesamiento 1120 sin ejecutar instrucciones almacenadas en un medio legible por computadora, tal como, p. ej., de manera cableada. En cualquiera de esas realizaciones particulares, independientemente de que ejecute o no instrucciones almacenadas en un medio de almacenamiento legible por

computadora, puede decirse que la circuitería de procesamiento está configurada para llevar a cabo la funcionalidad descrita. Los beneficios proporcionados por tal funcionalidad no se limitan a la circuitería de procesamiento 1120 sola o a otros componentes del equipo de red radioeléctrica, sino que también los aprovechan el equipo de red radioeléctrica 1100 en su totalidad, y/o usuarios finales y la red inalámbrica en general.

[1916] La circuitería de procesamiento 1120 puede configurarse para llevar a cabo cualquier operación de determinación descrita en el presente documento. La determinación llevada a cabo por la circuitería de procesamiento 1120 puede incluir procesar la información obtenida por la circuitería de procesamiento 1120, por ejemplo, al convertir la información obtenida en otra información, comparar la información obtenida o convertir la información en información almacenada en el equipo de red radioeléctrica, y/o llevar a cabo una o más operaciones según la información obtenida o convertida y, como resultado de dicho procesamiento, tomar una determinación.

[1917] La antena 1105, la circuitería de radio *front end* 1110 y/o la circuitería de procesamiento 1120 pueden configurarse para llevar a cabo cualquier operación de transmisión descrita en el presente documento. Cualquier información, datos y/o señales pueden transmitirse a cualquier equipo de red y/o dispositivo inalámbrico. Asimismo, la antena 1105, la circuitería de radio *front end* 1110 y/o la circuitería de procesamiento 1120 pueden configurarse para llevar a cabo cualquier operación de recepción descrita en el presente documento llevada a cabo por un equipo de red radioeléctrica. Cualquier información, datos y/o señales pueden recibirse desde cualquier equipo de red y/o dispositivo inalámbrico.

[1918] El medio de almacenamiento legible por computadora 1125 es generalmente operable para almacenar instrucciones, tales como un programa informático, *software*, una aplicación que incluye uno o más de lógica, reglas, código, tablas, etc. y/u otras instrucciones capaces de ser ejecutadas por un

procesador. Ejemplos de medio de almacenamiento legible por computadora 1125 incluyen memoria de computadora (p. ej., RAM o ROM), medios de almacenamiento masivo (por ejemplo, un disco duro), medios de almacenamiento extraíbles (por ejemplo, un CD o un DVD), y/o cualquier otro dispositivo de memoria volátil o no volátil, no transitorio y/o legible por computadora que almacene información, datos y/o instrucciones que puedan ser usadas por la circuitería de procesamiento 1120. En algunas realizaciones, la circuitería de procesamiento 1120 y el medio de almacenamiento legible por computadora 1125 pueden considerarse integrados.

[1919] Realizaciones alternativas del equipo de red radioeléctrica 1100 pueden incluir componentes adicionales a los mostrados en la Figura 167 que pueden ser responsables de proporcionar ciertos aspectos de la funcionalidad del equipo de red radioeléctrica, incluidas cualquiera de las funciones descritas en el presente documento y/o cualquier funcionalidad necesaria para soportar la solución descrita anteriormente. A título de solo un ejemplo, el equipo de red radioeléctrica 1100 puede incluir interfaces, dispositivos y circuitos de entrada e interfaces, dispositivos y circuitos de salida. Las interfaces, dispositivos y circuitos de entrada están configurados para permitir la entrada de información en el equipo de red radioeléctrica 1100 y están conectados a la circuitería de procesamiento 1120 para permitir que la circuitería de procesamiento 1120 procese la información de entrada. Por ejemplo, las interfaces, dispositivos y circuitos de entrada pueden incluir un micrófono, un sensor de proximidad u otro sensor, teclas/botones, una pantalla táctil, una o más cámaras, un puerto USB, u otros elementos de entrada. Las interfaces, dispositivos y circuitos de salida están configurados para permitir la salida de información desde el equipo de red radioeléctrica 1100 y están conectados a la circuitería de procesamiento 1120 para permitir que la circuitería de procesamiento 1120 emita información desde el equipo de red radioeléctrica 1100. Por ejemplo, las interfaces, dispositivos o circuitos de salida pueden incluir un altavoz, una pantalla, un puerto USB, una

interfaz de auriculares, u otros elementos de salida. Mediante el uso de una o más interfaces, dispositivos y circuitos de entrada y salida, el equipo de red radioeléctrica 1100 puede comunicarse con los usuarios finales y/o la red inalámbrica, y permitirles beneficiarse de la funcionalidad descrita en el presente documento.

[1920] A título de otro ejemplo, el equipo de red radioeléctrica 1100 puede incluir circuitería de alimentación 1130. La circuitería de alimentación 1130 puede comprender circuitería de gestión de alimentación. La circuitería de alimentación 1130 puede recibir alimentación de una fuente de alimentación, que puede estar comprendida en. o ser externa a, la circuitería de alimentación 1130. Por ejemplo, el equipo de red radioeléctrica 1100 puede comprender una fuente de alimentación en la forma de batería o paquete de baterías que está conectado o integrado en la circuitería de alimentación 1130. También se pueden usar otros tipos de fuentes de alimentación, tales como dispositivos fotovoltaicos. A título de otro ejemplo más, el equipo de red radioeléctrica 1100 puede conectarse a una fuente de alimentación externa (tal como un tomacorriente) a través de una circuitería o interfaz de entrada tal como un cable eléctrico, por lo que la fuente de alimentación externa suministra alimentación a la circuitería de alimentación 1130.

[1921] La circuitería de alimentación 1130 puede conectarse a la circuitería de radio *front end* 1110, a la circuitería de procesamiento 1120 y/o al medio de almacenamiento legible por computadora 1125 y configurarse para suministrar alimentación al equipo de red radioeléctrica 1100, incluida la circuitería de procesamiento 1120, para llevar a cabo la funcionalidad descrita en el presente documento.

[1922] El equipo de red radioeléctrica 1100 también puede comprender múltiples conjuntos de circuitería de procesamiento 1120, medio de almacenamiento legible por computadora 1125, circuitería radioeléctrica 1110, antena 1105 y/o circuitería de interfaz de comunicación 1140 para diferentes

tecnologías inalámbricas integradas en el equipo de red radioeléctrica 1100, tales como, por ejemplo, tecnologías inalámbricas GSM, WCDMA, LTE, NR, wifi o Bluetooth. Estas tecnologías inalámbricas pueden integrarse en los mismos o diferentes chipsets y otros componentes del equipo de red radioeléctrica 1100.

[1923] Una o más instancias del equipo de red radioeléctrica 1100 pueden adaptarse para llevar a cabo algunas o todas las técnicas descritas en el presente documento, en cualquiera de las diversas combinaciones, incluidos los métodos y técnicas descritos en el presente documento llevados a cabo por una estación base radioeléctrica, un gNB, o similares. Se entenderá que en una implementación de red dada, estarán en uso múltiples instancias de equipo de red radioeléctrica 1100. En algunos casos, múltiples instancias de equipo de red radioeléctrica 1100 a la vez pueden estar comunicando o transmitiendo señales a un dispositivo inalámbrico o grupo de dispositivos inalámbricos dados. Por lo tanto, se entiende que, si bien muchas de las técnicas descritas en el presente documento pueden ser llevadas a cabo por una sola instancia de equipo de red radioeléctrica 1100, estas técnicas pueden entenderse como llevadas a cabo por un sistema de una o más instancias de equipo de red radioeléctrica 1100, en algunos casos, de manera coordinada. El equipo de red radioeléctrica 1100 mostrado en la Figura 167 es el ejemplo más simple de este sistema.

[1924] Otros del equipo de red o nodos de red descritos en el presente documento no son equipo de red radioeléctrica, ya que carecen de radiotransceptores para comunicarse con uno o más dispositivos inalámbricos, sino que están configurados para comunicarse con uno o más nodos de red del sistema de comunicación, típicamente a través de interfaces normalizadas. Puede entenderse que estos otros nodos de red comprenden muchas de las mismas características mostradas en el equipo de red radioeléctrica ejemplar 1100 ilustrado en la Figura 167, pero sin las características de radio. Uno o una combinación de estos otros nodos de red pueden configurarse para llevar a cabo muchos de los métodos y técnicas descritos en el presente documento, p. ej.,

con código de programa adecuado almacenado en un medio legible por computadora, para su ejecución mediante circuitería de procesamiento.

[1925] Los nodos de red como los descritos anteriormente pueden configurarse para llevar a cabo uno o varios de los métodos descritos en el presente documento. En un ejemplo no limitante, un nodo de red configurado para usarse en una red principal asociada con una RAN, para manejar una secuencia de datos sensible al tiempo asociada con un equipo de usuario UE y una red externa, comprende circuitería de interfaz de comunicación configurada para comunicarse con uno o más de otros nodos de red y circuitería de procesamiento acoplada operativamente a la circuitería de interfaz de comunicación. La circuitería de procesamiento está configurada para recibir, desde la red externa, un programa de transmisión asociada con una secuencia de datos sensible al tiempo, enviar, a la RAN, una solicitud de asignación de recursos radioeléctricos para la comunicación de la secuencia de datos entre la RAN y un primer UE, donde la solicitud comprende además información relacionada con el programa de transmisión, y recibir, desde la RAN, una respuesta que indica si pueden asignarse recursos radioeléctricos para cumplir con el programa de transmisión asociada con la secuencia de datos. La circuitería de procesamiento se configura además para obtener información de configuración para la secuencia de datos, la información de configuración indica los respectivos valores de uno o más campos dentro de un encabezado de paquetes de datos asociados con la secuencia de datos que van a permanecer estáticos, iniciar la transmisión de la información de configuración al primer UE, recibir un paquete de datos asociado con la secuencia de datos de la red de datos externa, eliminar los uno o más campos del paquete de datos para generar un paquete de datos comprimido, e iniciar la transmisión del paquete de datos comprimido al primer UE. En diversas realizaciones, todas las variaciones descritas anteriormente para los métodos que corresponden a esta realización de nodo de red pueden aplicarse a este nodo de red ejemplar, y realizaciones de

este nodo de red pueden configurarse para llevar a cabo técnicas adicionales descritas en el presente documento.

[1926] Cualquier paso, método, característica, función o beneficio correspondiente que se divulgue en el presente documento se puede llevar a cabo a través de uno o más módulos o unidades funcionales de uno o más equipos virtuales. Cada aparato virtual puede comprender varias de estas unidades funcionales. Estas unidades funcionales se pueden implementar a través de la circuitería de procesamiento, que puede incluir uno o más microprocesadores o microcontroladores, así como otro *hardware* digital, que puede incluir el procesador de señal digital (DSP), lógica digital de propósito especial y similares. La circuitería de procesamiento puede configurarse para ejecutar el código de programa almacenado en la memoria, que puede incluir uno o varios tipos de memoria tales como memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria caché, dispositivos de memoria flash, dispositivos de almacenamiento óptico, etc. El código del programa almacenado en la memoria incluye instrucciones de programa para ejecutar uno o más protocolos de telecomunicaciones y/o de comunicaciones de datos, así como instrucciones para llevar a cabo una o más de las técnicas descritas en el presente documento. En algunas implementaciones, las circuiterías de procesamiento se pueden usar para hacer que la respectiva unidad funcional lleve a cabo las funciones correspondientes según una o más realizaciones de la presente divulgación.

[1927] <u>Aplicación de las técnicas ahora divulgadas a una red que comprende un equipo central</u>

[1928] En el análisis detallado y los ejemplos proporcionados anteriormente, se describieron varias técnicas con respecto a operaciones llevadas a cabo en un dispositivo inalámbrico, una red de acceso radioeléctrico, o un nodo de red central de telecomunicaciones inalámbricas, por ejemplo. Se

entenderá, sin embargo, que estas técnicas pueden llevarse a cabo en un contexto más amplio de un sistema de comunicación que abarca, pero no se limita a, estos componentes de red inalámbrica. Este sistema de comunicación puede comprender además redes fijas (cableadas), servidores de aplicaciones, granjas de servidores, computadoras de usuario que acceden a servicios relacionados con una red inalámbrica, etc. Asimismo, las técnicas descritas en el presente documento pueden abarcar o ser usadas por servicios y/o aplicaciones que trascienden la propia red inalámbrica. En consecuencia, las ventajas descritas en el presente documento para muchas de las técnicas divulgadas, tal como mejora de la latencia, fiabilidad, seguridad, etc., pueden atribuirse a estos servicios y/o aplicaciones.

[1929] La Figura 223, según algunas realizaciones, ilustra un sistema de comunicación que incluye una red de telecomunicación 610, tal como una red celular tipo 3GPP, que comprende una red de acceso 611, tal como una red de acceso radioeléctrico, y una red principal 614. La red de acceso 611 comprende una pluralidad de estaciones base 86a, 612b, 612c, tales como NB, eNB, gNB u otros tipos de puntos de acceso inalámbrico, en que cada uno define una correspondiente área de cobertura 613a, 613b, 613c. Cada estación base 612a, 612b, 612c puede conectarse a la red central 614 sobre una conexión cableada o inalámbrica 615. Un primer equipo de usuario (UE) 691 situado en el área de cobertura 613c se configura para conectarse de manera inalámbrica a, o para ser paginado por, la correspondiente estación base 66c. Un segundo UE 692 en el área de cobertura 613a puede conectarse de manera inalámbrica a la correspondiente estación base 612a. Aunque en este ejemplo se ilustra una pluralidad de UE 691, 692, las realizaciones divulgadas son igualmente aplicables a una situación donde un único UE está en el área de cobertura o donde un único UE se conecta a la correspondiente estación base 612.

[1930] La red de telecomunicación 610 se conecta a un equipo central 630, que puede incorporarse en el *hardware* y/o *software* de un servidor

independiente, un servidor implementado en la nube, un servidor distribuido o como recursos de procesamiento en una granja de servidores. El equipo central 630 puede ser propiedad de o estar controlado por un proveedor de servicios o puede estar operado por el proveedor de servicios o en nombre del proveedor de servicios. Las conexiones 621, 622 entre la red de telecomunicación 610 y el equipo central 630 pueden extenderse directamente desde la red central 614 hasta el equipo central 630 o pueden ir por medio de una red intermedia opcional 620. La red intermedia 620 puede ser una de, o una combinación de más de una de, una red pública, privada o alojada; la red intermedia 620, si la hubiere, puede ser una red troncal o la Internet; en particular, la red intermedia 620 puede comprender dos o más subredes (no se muestran).

[1931] El sistema de comunicación de la Figura 223 en su conjunto permite la conectividad entre uno de los UE conectados 691, 692 y el equipo central 630. La conectividad puede describirse como una conexión de libre transmisión (OTT) 650. El equipo central 630 y los UE 691, 692 conectados se configuran para comunicar datos y/o señalizar por medio de la conexión OTT 650 usando como intermediarios la red de acceso 611, la red central 614, cualquier red intermedia 620 y posible infraestructura adicional (no se muestra). La conexión OTT 650 puede ser transparente en el sentido de que los dispositivos de comunicación participantes a través de los cuales pasa la conexión OTT 650 desconocen el enrutamiento de comunicaciones de enlace ascendente y enlace descendente. Por ejemplo, una estación base 612 puede no estar informada, o no es necesario que lo esté, acerca del enrutamiento anterior de una comunicación entrante de enlace descendente con datos que se originan de un equipo central 630 que se reenviarán (p. ej., se entregarán) a un UE 691 conectado. De la misma manera, no es necesario que la estación base 612 conozca el futuro enrutamiento de una comunicación saliente de enlace ascendente que se origina del UE 691 hacia el equipo central 630.

[1932] Las implementaciones de ejemplo, de conformidad con una realización, del UE, la estación base y el equipo central analizados en los párrafos anteriores, se describirán ahora con referencia a la Figura 224. En un sistema de comunicación 700, un equipo central 710 comprende el *hardware* 715 que incluye una interfaz de comunicación 716 configurada para establecer y mantener una conexión cableada o inalámbrica con una interfaz de un dispositivo de comunicación diferente del sistema de comunicación 700. El equipo central 710 además comprende una circuitería de procesamiento 718, que puede tener capacidad de almacenamiento y/o procesamiento. En particular, la circuitería de procesamiento 718 puede comprender uno o más de uno de los procesadores programables, circuitos integrados para aplicaciones específicas, matrices de puertas programables o combinaciones de estos (no se muestran) adaptados para ejecutar instrucciones. El equipo central 710 comprende además el *software* 711, que es almacenado en, o accesible por, el equipo central 710 y ejecutable por la circuitería de procesamiento 718. El *software* 711 incluye una aplicación central 712. La aplicación central 712 puede ser operable para proporcionar un servicio a un usuario remoto, tal como un UE 730 que se conecta por medio de una conexión OTT 750 que termina en el UE 730 y el equipo central 710. Al proporcionar el servicio al usuario remoto, la aplicación central 712 puede proporcionar datos del usuario que se transmiten mediante la conexión de OTT 750.

[1933] El sistema de comunicación 700 incluye además una estación base 720 que se proporciona un sistema de telecomunicación y comprende el *hardware* 725 que lo habilita para comunicarse con el equipo central 710 y con el UE 730. El *hardware* 725 puede incluir una interfaz de comunicación 726 para establecer y mantener una conexión cableada o inalámbrica con una interfaz de un dispositivo de comunicación diferente del sistema de comunicación 700, así como una interfaz de radio 727 para establecer y mantener al menos una conexión inalámbrica 770 con el UE 730 situado en un área de cobertura (no se

muestra en la Figura 224) servida por la estación base 720. La interfaz de comunicación 726 puede configurarse para facilitar una conexión 760 con el equipo central 710. La conexión 760 puede ser directa o puede pasar a través de una red central (que no se muestra en la Figura 224) del sistema de telecomunicaciones y/o a través de una o más redes intermedias fuera del sistema de telecomunicaciones. En la realización mostrada, el *hardware* 725 de la estación base 720 incluye además la circuitería de procesamiento 728, que puede comprender uno o más de uno de los procesadores programables, circuitos integrados para aplicaciones específicas, matrices de puertas programables o combinaciones de estos (no se muestran) adaptados para ejecutar instrucciones. Además, la estación base 720 tiene el *software* 721 almacenado internamente o accesible por medio de una conexión externa.

[1934] El sistema de comunicación 700 incluye además el UE 730 ya mencionado. Su *hardware* 735 puede incluir una interfaz de radio 737 configurada para establecer y mantener una conexión inalámbrica 770 con una estación base que sirve un área de cobertura en la cual está actualmente situado el UE 730. El *hardware* 735 del UE 730 incluye además la circuitería de procesamiento 738, que puede comprender uno o más de uno de los procesadores programables, circuitos integrados para aplicaciones específicas, matrices de puertas programables o combinaciones de estos (no se muestran) adaptados para ejecutar instrucciones. El UE 730 comprende además el *software* 731, que es almacenado en, o accesible por, el UE 730 y ejecutable por la circuitería de procesamiento 738. El *software* 731 incluye una aplicación del cliente 732. La aplicación del cliente 732 puede ser operable para proporcionar un servicio a un usuario humano o no humano por medio del UE 730, con el apoyo del equipo central 710. En el equipo central 710, una aplicación central 712 en ejecución puede comunicarse con la aplicación del cliente 732 en ejecución por medio de la conexión OTT 750 que termina en el UE 730 y el equipo central 710. Al proporcionar el servicio al usuario, la aplicación del cliente

732 puede recibir datos de solicitud desde la aplicación central 712 y proporcionar datos del usuario en respuesta a los datos de solicitud. La conexión de OTT 750 puede transferir tanto los datos de solicitud como los datos del usuario. La aplicación del cliente 732 puede interactuar con el usuario para generar los datos del usuario que proporciona.

[1935] Se observa que el equipo central 710, la estación base 720 y el UE 730 ilustrados en la Figura 224 pueden ser idénticos al equipo central 630, una de las estaciones base 612a, 612b, 612c y uno de los UE 691, 692 de la Figura 223, respectivamente. Es decir, el funcionamiento interno de estas entidades puede ser el que se muestra en la Figura 224 e, independientemente, la topología de red circundante puede ser la de la Figura 223.

[1936] En la Figura 224, la conexión OTT 750 se ha dibujado de manera abstracta para ilustrar la comunicación entre el equipo central 710 y el equipo del usuario 730 a través de la estación base 720, sin referencia explícita a un dispositivo intermedio y al enrutamiento preciso de mensajes a través de estos dispositivos. La infraestructura de red puede determinar el enrutamiento, que puede configurarse para ocultarse del UE 730 o del proveedor de servicios que opera el equipo central 710, o ambos. Si bien la conexión de OTT 750 está activa, la infraestructura de la red puede además tomar decisiones mediante las cuales cambia dinámicamente el enrutamiento (p. ej., con base en la consideración del equilibrio de carga o la reconfiguración de la red).

[1937] La conexión inalámbrica 770 entre el UE 730 y la estación base 720 está de conformidad con las enseñanzas de las realizaciones descritas a lo largo de esta divulgación. Las diversas técnicas tienen el potencial de mejorar la velocidad de datos, capacidad, latencia, fiabilidad, seguridad y/o consumo de potencia para la red y el UE 730 usando la conexión OTT 750, conforme se describe arriba en conexión con cada una de las técnicas descritas y, por lo tanto, proporcionan beneficios tales como menor tiempo de espera del usuario, mayor

capacidad, mejor capacidad de respuesta y mayor duración de la batería del dispositivo.

[1938] Para el monitoreo de la velocidad de transferencia de datos, latencia y otros factores que mejoran las una o más realizaciones puede proporcionarse un procedimiento de medición. Además, puede haber una funcionalidad de red opcional para reconfigurar la conexión OTT 750 entre el equipo central 710 y el UE 730, en respuesta a variaciones en los resultados de la medición. El procedimiento de medición y/o la funcionalidad de la red para reconfigurar la conexión OTT 750 pueden implementarse en el *software* 711 del equipo central 710 o en el *software* 731 del UE 730, o ambos. En algunas realizaciones, los sensores (no se muestran) pueden desplegarse en o estar en asociación con dispositivos de comunicación a través de los que pasa la comunicación OTT 750; los sensores pueden participar en el procedimiento de medición proporcionando valores de las cantidades monitoreadas que se ejemplificaron anteriormente, o proporcionando valores de otras cantidades físicas a partir de los cuales el *software* 711, 731 puede computar o estimar las cantidades monitoreadas. La reconfiguración de la conexión OTT 750 puede incluir formato de mensaje, configuración de retransmisión, enrutamiento preferido etc.; no es necesario que la reconfiguración afecte la estación base 720, y puede ser desconocida o imperceptible para la estación base 720. Tales procedimientos y funcionalidades pueden conocerse y practicarse en la materia. En determinadas realizaciones, las mediciones pueden involucrar una señalización propietaria de UE que facilita las mediciones de rendimiento, tiempos de propagación, latencia y similares del equipo central 710. Las mediciones pueden implementarse en el sentido que el *software* 711, 731 cause que se transmitan mensajes, en particular, mensajes vacíos o ‘simulados’, mediante la conexión OTT 750 mientras monitorea tiempos de propagación, errores etc.

[1939] La Figura 226 es un esquema de operaciones que muestra un método que se implementa en un sistema de comunicación, de conformidad con una realización. El sistema de comunicación incluye un equipo central, una estación base y un UE, que pueden ser aquellos descritos con referencia a las Figuras 229 y 230. Para simplificar la presente divulgación, solo se incluirán en esta sección las referencias de los dibujos a la Figura 226. En un primer paso 810 del método, el equipo central proporciona datos de usuario. En un subpaso opcional 811 del primer paso 810, el equipo central proporciona los datos de usuario al ejecutar una aplicación central. En un segundo paso 820, el equipo central inicia una transmisión que porta los datos de usuario al UE. En un tercer paso opcional 830, la estación base transmite al UE los datos de usuario que se portaron en la transmisión que inició el equipo central, de conformidad con las enseñanzas de las realizaciones descritas a lo largo de esta divulgación. En un cuarto paso opcional 840, el UE ejecuta una aplicación del cliente asociada con la aplicación central ejecutada por el equipo central.

[1940] La Figura 226 es un esquema de operaciones que muestra un método que se implementa en un sistema de comunicación, de conformidad con una realización. El sistema de comunicación incluye un equipo central, una estación base y un UE, que pueden ser aquellos descritos con referencia a las Figuras 223 y 224. Para simplificar la presente divulgación, solo se incluirán en esta sección las referencias de los dibujos a la Figura 226. En un primer paso 910 del método, el equipo central proporciona datos de usuario. En un subpaso opcional (no se muestra) el equipo central proporciona los datos de usuario al ejecutar una aplicación central. En un segundo paso 920, el equipo central inicia una transmisión que porta los datos de usuario al UE. La transmisión puede pasar por medio de la estación base, de conformidad con las enseñanzas de las realizaciones descritas a lo largo de esta divulgación. En un tercer paso opcional 830, el UE recibe los datos de usuario portados en la transmisión.

[1941] La Figura 227 es un esquema de operaciones que muestra un método que se implementa en un sistema de comunicación, de conformidad con una realización. El sistema de comunicación incluye un equipo central, una estación base y un UE, que pueden ser aquellos descritos con referencia a las Figuras 223 y 224. Para simplificar la presente divulgación, solo se incluirán en esta sección las referencias de los dibujos a la Figura 227. En un primer paso opcional 1010 del método, el UE recibe datos de entrada proporcionados por el equipo central. Además, o alternativamente, en un segundo paso opcional 1020, el UE proporciona datos de usuario. En un subpaso opcional 1021 del segundo paso 1020, el UE proporciona los datos de usuario al ejecutar una aplicación del cliente. En un subpaso opcional adicional 1011 del primer paso 1010, el UE ejecuta una aplicación del cliente que proporciona los datos de usuario en reacción a los datos de entrada recibidos proporcionados por el equipo central. Al proporcionar los datos de usuario, la aplicación del cliente ejecutada puede considerar además la entrada de usuario recibida del usuario. Independientemente de la manera específica en la que se proporcionan los datos de usuario, el UE inicia, en un tercer subpaso opcional 1030, la transmisión de los datos de usuario al equipo central. En un cuarto paso 1040 del método, el equipo central recibe los datos de usuario que transmite el UE, de conformidad con las enseñanzas de las realizaciones descritas en esta divulgación.

[1942] La Figura 228 es un esquema de operaciones que muestra un método que se implementa en un sistema de comunicación, de conformidad con una realización. El sistema de comunicación incluye un equipo central, una estación base y un UE, que pueden ser aquellos descritos con referencia a las Figuras 223 y 224. Para simplificar la presente divulgación, solo se incluirán en esta sección las referencias de los dibujos a la Figura 228. En un primer paso opcional 1110 del método, de conformidad con las enseñanzas de las realizaciones descritas a lo largo de esta divulgación, la estación base recibe datos de usuario desde el UE. En un segundo paso opcional 1120, la estación

base inicia la transmisión de los datos de usuario recibidos al equipo central. En un tercer paso 1130, el equipo central recibe los datos de usuario portados en la transmisión iniciada por la estación base.

[1943] Se entenderá que los métodos ilustrados en las Figuras 231 y 234 pueden combinarse con cualquiera de los diversos otros métodos descritos en el presente documento e involucrar dispositivos o nodos que son los mismos o superpuestos.

[1944] Se pueden realizar muchas variaciones y modificaciones a las realizaciones sin apartarse sustancialmente de los principios de los conceptos inventivos presentes. Todas esas modificaciones y variaciones deben incluirse en el presente documento dentro del alcance de los presentes conceptos inventivos. En consecuencia, la materia antes divulgada debe considerarse ilustrativa y no restrictiva, y los ejemplos de las realizaciones están destinados a cubrir todas aquellas modificaciones, mejoras y otras realizaciones, que se incluyen dentro del espíritu y el alcance de los conceptos inventivos presentes. Por lo tanto, en la máxima medida permitida por la ley, el alcance de los presentes conceptos inventivos debe determinarse por la interpretación más amplia permisible de la presente divulgación, incluidos los ejemplos de realizaciones y sus equivalentes, y no debe quedar restringido o limitado por la descripción detallada anterior.