

DESCRIPCIÓN

Sistemas y procedimientos para mejorar redes de malla inalámbricas

Referencia cruzada a las solicitudes relacionadas

La presente solicitud reivindica la prioridad de las siguientes solicitudes de patentes de los Estados Unidos: solicitud de patente no provisional de Estados Unidos núm. 16/680,457, presentada el 11 de noviembre de 2019 y titulada "SYSTEMS AND METHODS FOR IMPROVING WIRELESS MESH NETWORKS", que a su vez es una continuación en parte y reivindica la prioridad de la solicitud de patente no provisional de Estados Unidos núm. 16/590,217, presentada el 1 de octubre de 2019 y titulada "SYSTEMS AND METHODS FOR IMPROVING WIRELESS MESH NETWORKS", que a su vez es una continuación en parte y reivindica la prioridad de la solicitud de patente no provisional de Estados Unidos núm. 16/508,289, presentada el 10 de julio de 2019 y titulada "SYSTEMS AND METHODS FOR IMPROVING WIRELESS MESH NETWORKS", que a su vez reivindica la prioridad a las siguientes solicitudes provisionales de Estados Unidos: (i) solicitud provisional de Estados Unidos núm. 62/696,688, presentada el 11 de julio de 2018 y titulada "METHODS FOR BUILDING WIRELESS MESH NETWORK", (ii) solicitud provisional de Estados Unidos núm. 62/753,885, presentada el 31 de octubre de 2018 y titulada "METHODS OF BUILDING 60GHZ MESH BASED NETWORK INFRASTRUCTURE FOR BLOCKCHAIN TECHNOLOGY BASED PLATFORMS", (iii) solicitud provisional de Estados Unidos núm. 62/771,508, presentada el 26 de noviembre de 2018 y titulada "A METHOD FOR IMPROVING WIRELESS MESH NETWORK USING DIRECT OPTICAL-TO-RF AND DIRECT-RF-TO-OPTICAL CONVERSION MODULE", (iv) solicitud provisional de Estados Unidos núm. 62/833,485, presentada el 12 de abril de 2019 y titulada "A METHOD FOR BUILDING WIRELESS MESH NETWORK NODES", y (v) solicitud provisional de Estados Unidos núm. 62/856,697, presentada el 3 de junio de 2019 y titulada "A METHOD FOR BUILDING WIRELESS MESH NETWORK NODES". Cada una de estas solicitudes de patentes anteriores se incorpora en la presente memoria por referencia en su totalidad.

Antecedentes de la invención

Los sistemas de comunicaciones y redes alámbricas e inalámbricas se despliegan ampliamente para proporcionar varios tipos de características funcionales y de comunicación, que incluyen, pero no están limitados a aquellas para internet residencial de alta velocidad, seguridad y automatización, y/u otras. Estos sistemas pueden ser capaces de soportar la comunicación con un usuario a través de una conexión de comunicación o una acción de gestión del sistema.

Los sistemas de red de malla inalámbrica actuales presentan muchas deficiencias, incluido el hecho de no tener en cuenta la protección adicional para las rutas inalámbricas de haz estrecho de punto a punto. Dichos caminos son altamente direccionales y funcionan solo en condiciones de línea de visión perfecta o cerca de la línea de visión. Una vez que se construye la red de malla inalámbrica, ciertos eventos, como el crecimiento de la vegetación o la pérdida de un nodo intermediario, pueden afectar las rutas de visibilidad directa entre los enlaces. Esto puede resultar en fallas de uno o varios enlaces en la red.

Por lo tanto, existen múltiples necesidades en la técnica para mejorar los sistemas y procedimientos relacionados con el diseño y la operación de redes de comunicaciones de malla inalámbricas.

Descripción general

La presente divulgación, por ejemplo, se relaciona con redes inalámbricas y comunicaciones que incluyen, entre otros, servicios de Internet de banda ancha para usuarios finales, sistemas de seguridad y/o automatización, y más particularmente redes de malla de haz estrecho y operaciones y técnicas relacionadas.

De acuerdo con la presente divulgación, en la presente memoria se divulgan sistemas y procedimientos que se relacionan con redes de malla de haz estrecho, sistemas asociados y operaciones relacionadas con la comunicación de red, incluidos, en algunas realizaciones, ajustes y modificaciones. Los presentes sistemas y procedimientos pueden facilitar el diseño, la operación y/o el ajuste/modificación de las comunicaciones de las redes inalámbricas. En algunas realizaciones, los presentes sistemas y procedimientos se relacionan y tienen en cuenta los nodos de comunicación inalámbrica con capacidad para establecer un enlace de comunicación de haz estrecho punto a punto o punto a multipunto, enlace de comunicación de haz estrecho orientable punto a multipunto, una combinación de enlaces de comunicación punto a punto y punto a multipunto, entre otros.

En algunos casos, uno o varios enlaces en una red de comunicación inalámbrica pueden fallar debido a ciertos eventos, que incluyen, pero no están limitados al crecimiento de la vegetación, la pérdida de un nodo debido a varias razones que pueden cambiar las condiciones de la línea de visión (LOS) requerida para la comunicación entre dos puntos en la red de malla inalámbrica. En la presente divulgación, algunos o todos los nodos de la red de malla pueden alojar una celda pequeña basada en tecnología (eNB) 4G (LTE, LTE avanzada, LTE Pro, WiMAX, WiFi, etc.) y un UE (equipo de usuario)/CPE (equipo en las instalaciones del cliente) en un solo gabinete para proporcionar una ruta de comunicación redundante entre dos puntos en una red de malla en caso de que falle una ruta LOS directa o indirecta entre dos nodos de malla.

En otro aspecto de la presente divulgación, una red de malla inalámbrica puede incluir nodos de capacidad ultra alta que son capaces de establecer enlaces de capacidad ultra alta (por ejemplo, enlaces de comunicación bidireccional punto a punto o punto a multipunto) utilizando un espectro de ondas milimétricas, que incluye, pero no está limitado a los 28 Ghz, 39 Ghz, 37/42 Ghz, 60 Ghz (incluida la banda V) o frecuencias de banda E, como ejemplos. La mayor capacidad y/o rango extendido de estos nodos/enlaces de capacidad ultra alta se puede lograr a través de varias técnicas avanzadas de procesamiento de señales. Además, estos nodos/enlaces de capacidad ultra alta se pueden utilizar junto con otros tipos de enlaces punto a punto y/o punto a multipunto para construir una red de malla inalámbrica multicapa.

Lo anterior ha esbozado de forma bastante amplia las características y ventajas técnicas de los ejemplos de acuerdo con esta divulgación para que la siguiente descripción detallada pueda entenderse mejor. Las características y ventajas adicionales se describirán a continuación. Debe entenderse que los ejemplos específicos divulgados en la presente memoria se pueden utilizar fácilmente como base para modificar o diseñar otras estructuras para llevar a cabo las mismas operaciones divulgadas en la presente memoria. Las características de los conceptos divulgados en la presente memoria, incluida su organización y procedimiento de funcionamiento junto con las ventajas asociadas, se entenderán mejor a partir de la siguiente descripción cuando se consideren en relación con las figuras adjuntas. Debe entenderse que las figuras se proporcionan únicamente con fines ilustrativos y descriptivos.

En consecuencia, en un aspecto, divulgado en la presente memoria, es un sistema de comunicación que comprende un primer nodo de red de retorno, un segundo nodo de red de retorno y una pluralidad de sitios que comprenden cada uno un respectivo nodo semilla configurado para (1) mantener un primer enlace de comunicación con el primer nodo de red de retorno y un segundo enlace de comunicación con el segundo nodo de red de retorno, (2) funcionan en un primer modo en el que el respectivo nodo semilla participa en la comunicación con el primer nodo de red de retorno a través del primer enlace de comunicación y no participa en la comunicación con el segundo nodo de red de retorno a través del segundo enlace de comunicación, (3) detecta un evento desencadenante asociado con el primer enlace de comunicación; y (4) en respuesta a la detección del evento desencadenante, cambiar dinámicamente de operar, en el primer modo, a operar en un segundo modo en el que el nodo semilla respectivo participa en la comunicación con el segundo nodo de red de retorno a través del segundo enlace de comunicación y no participa en la comunicación con el primer nodo de red de retorno a través del primer enlace de comunicación.

En otro aspecto, divulgado en la presente memoria un nodo de comunicación que comprende un equipo de radio flexible de ondas milimétricas configurado para establecer múltiples enlaces de comunicación punto a punto o punto a multipunto. El equipo de radio flexible de ondas milimétricas puede comprender (1) un módulo de radio punto a punto configurado para establecer enlaces de comunicación punto a punto, (2) un módulo de radio punto a multipunto configurado para establecer enlaces de comunicación punto a multipunto; y (3) un módulo digital acoplado comunicativamente al módulo de radio punto a punto y al módulo de radio punto a multipunto.

En otro aspecto más, divulgado en la presente memoria es un nodo de comunicación que comprende un equipo de radio flexible de ondas milimétricas configurado para establecer múltiples enlaces de comunicación punto a punto o punto a multipunto, donde el equipo de radio flexible de ondas milimétricas comprende (1) un módulo de radio punto a punto configurado para establecer enlaces de comunicación punto a punto, (2) un módulo de radio punto a multipunto configurado para establecer enlaces de comunicación punto a multipunto y (3) un módulo digital acoplado comunicativamente al módulo de radio punto a punto y el módulo de radio punto a multipunto, en los que el módulo digital está configurado para proporcionar operaciones de conmutación para que el nodo de comunicación opere en un primer modo en el que el nodo de comunicación participa en la comunicación con un primer nodo de red de retorno o un segundo modo en el que el nodo de comunicación participa en la comunicación con un segundo nodo de red de retorno. El nodo de comunicación se puede configurar para (1) mantener un primer enlace de comunicación con el primer nodo de red de retorno y un segundo enlace de comunicación con el segundo nodo de red de retorno, (2) operar en un primer modo en el que el nodo de comunicación participa en la comunicación con el primer nodo de red de retorno a través del primer enlace de comunicación y no participa en la comunicación con el segundo nodo de red de retorno sobre el segundo enlace de comunicación, (3) detectar un evento desencadenante asociado con el primer enlace de comunicación, y (4) en respuesta a la detección del evento desencadenante, cambiar dinámicamente de operar en el primer modo, a operar en un segundo modo en el que el nodo de comunicación participa en la comunicación con el segundo nodo de red de retorno a través del segundo enlace de comunicación y no participa en la comunicación con el primer nodo de red de retorno a través del primer enlace de comunicación.

En otro aspecto, divulgado en la presente memoria, es un sistema de comunicación que comprende (1) una primera capa de una red de malla, que comprende un primer conjunto de nodos que están configurados para establecer enlaces de comunicación de capacidad ultra alta y enlaces de comunicación de capacidad no ultra alta, y (2) una segunda capa de la red de malla que comprende un segundo conjunto de nodos que están configurados para establecer enlaces de comunicación de capacidad no ultra alta pero no enlaces de comunicación de capacidad ultra alta. Cada nodo en el primer conjunto de nodos se puede acoplar comunicativamente a (a) al menos otro nodo en el primer conjunto de nodos a través de un enlace de comunicación respectivo de capacidad ultra alta y (b) al menos un nodo en el segundo conjunto de nodos a través de un enlace de comunicación respectivo de capacidad no ultra alta. Y, cada nodo en el segundo conjunto de nodos puede estar acoplado comunicativamente con al menos otro

nodo en el segundo conjunto de nodos de capacidad no ultra alta a través de un enlace de comunicación de capacidad no ultra alta respectivo.

En otro aspecto, divulgado en la presente memoria, es un sistema de comunicación que comprende (1) una primera capa de una red de malla que comprende un primer conjunto de nodos que están configurados para establecer enlaces de comunicación de capacidad ultra alta y un primer tipo de enlaces de comunicación de capacidad no ultra alta (2) una segunda capa de la red de malla que comprende un segundo conjunto de nodos que están configurados para establecer el primer tipo de enlaces de comunicación de capacidad no ultra alta pero no enlaces de comunicación de capacidad ultra alta, y (3) una tercera capa de la red de malla que comprende un tercer conjunto de nodos que están configurados para establecer un segundo tipo de enlaces de comunicación de capacidad no ultra alta pero no enlaces de comunicación de capacidad ultra alta o el primer tipo de enlaces de comunicación de capacidad no ultra alta. Cada nodo en el primer conjunto de nodos se puede acoplar comunicativamente a (a) al menos otro nodo en el primer conjunto de nodos a través de un enlace de comunicación de capacidad ultra alta respectivo y (b) al menos un nodo en el segundo conjunto de nodos a través de un primer tipo de enlace de comunicación de capacidad no ultra alta respectivo. Cada nodo en el segundo conjunto de nodos puede estar acoplado comunicativamente con al menos otro nodo en el segundo conjunto de nodos de capacidad no ultra alta a través de un primer tipo respectivo de enlace de comunicación de capacidad no ultra alta. Además, cada nodo en el tercer conjunto de nodos puede acoplarse comunicativamente a la segunda capa de la red de malla a través de uno o más del segundo tipo de enlaces de comunicación de capacidad no ultra alta y cero o más nodos en el tercer conjunto de nodos.

En otro aspecto, divulgado en la presente memoria, es un procedimiento llevado a cabo por un sistema informático, que comprende el procedimiento (1) que despliega una primera capa de una red de malla que comprende un primer conjunto de nodos que están configurados para establecer enlaces de comunicación de capacidad ultra alta y enlaces de comunicación de capacidad no ultra alta, y (2) se despliega una segunda capa de la red de malla que comprende un segundo conjunto de nodos que están configurados para establecer enlaces de comunicación de capacidad no ultra alta pero no, enlaces de comunicación de capacidad ultra alta. Cada nodo en el primer conjunto de nodos se puede acoplar comunicativamente a (a) al menos otro nodo en el primer conjunto de nodos a través de un enlace de comunicación de capacidad ultra alta respectivo, y (b) al menos un nodo en el segundo conjunto de nodos a través de un enlace de comunicación de capacidad no ultra alta respectivo. Y, cada nodo en el segundo conjunto de nodos puede estar acoplado comunicativamente con al menos otro nodo en el segundo conjunto de nodos de capacidad no ultra alta a través de un enlace de comunicación de capacidad no ultra alta respectivo.

Un experto normal en la técnica apreciará estos, así como muchos otros aspectos, al leer la siguiente divulgación.

Breve descripción de los dibujos

Una comprensión adicional de la naturaleza y las ventajas de la presente divulgación puede realizarse mediante la referencia a los siguientes dibujos.

La Figura 1 representa un ejemplo de diagrama relacionado con un sistema de comunicación y redes inalámbricas, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 2 representa un ejemplo de nodo de comunicación inalámbrica que comprende un módulo, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 3 representa un ejemplo de patrón de antena de un módulo, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 4 representa un ejemplo de enlace de comunicación entre dos nodos de comunicación inalámbricos, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 5 representa un ejemplo de nodos de comunicación inalámbrica, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 6 representa un ejemplo de nodos de comunicación inalámbrica que están acoplados comunicativamente, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 7 representa otro ejemplo de nodo de comunicación inalámbrica que comprende un módulo, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 8. representa otro ejemplo de nodo de comunicación inalámbrica que comprende un módulo, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 9 representa un ejemplo de nodo de comunicación inalámbrica que comprende dos módulos, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 10 representa otro ejemplo de nodo de comunicación inalámbrica que comprende dos módulos, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 11A representa un ejemplo de nodo de comunicación inalámbrica en un momento dado que puede cambiar dinámicamente el tipo de enlaces entre los nodos de comunicación inalámbrica, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

5 La Figura 11B representa un ejemplo de nodo de comunicación inalámbrica en otro momento dado que puede cambiar dinámicamente el tipo de enlaces entre los nodos de comunicación inalámbrica, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 12 representa un ejemplo de una ubicación de una red de comunicación que puede ser una semilla o un anclaje en casa, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

10 La Figura 13 representa otro ejemplo de ubicación de una red de comunicación que puede ser una semilla o un anclaje en casa, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 14 representa otro ejemplo de nodo de comunicación inalámbrica que comprende un módulo, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 15 representa un ejemplo de múltiples módulos conectados a una torre, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

15 La Figura 16 representa otro ejemplo de diagrama relacionado con un sistema de comunicación y redes inalámbricas, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 17 representa otro ejemplo de diagrama relacionado con un sistema de comunicación y red inalámbrica, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

20 La Figura 18 representa aún otro ejemplo de diagrama relacionado con un sistema de comunicación y redes inalámbricas, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 19 representa un ejemplo de módulo de comunicación en base a conversión directa de RF a óptica y directa de óptica a RF, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 20 representa un ejemplo de enrutador/conmutador, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

25 La Figura 21 representa un ejemplo de diagrama de bloques de un módulo de comunicación, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 22 representa un ejemplo de diagrama de bloques de un módulo de radio ptmp de un nodo de comunicación, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 23 representa un ejemplo de diagrama de bloques de un módulo de radio ptp de un nodo de comunicación, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

30 La Figura 24 representa un ejemplo de red de malla que comprende una pluralidad de nodos de comunicación, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

La Figura 25A representa otro ejemplo de red de malla que comprende una pluralidad de nodos de comunicación, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación;

35 La Figura 25B representa otro ejemplo de red de malla que comprende una pluralidad de nodos de comunicación, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación; y

La Figura 26 representa un ejemplo de una versión modificada de una caja de radio flexible de ondas milimétricas, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación.

La Figura 27 representa un ejemplo de una red de malla inalámbrica multicapa, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación.

40 La Figura 28 representa otro ejemplo de una red de malla inalámbrica multicapa, de acuerdo con varios aspectos de esta divulgación.

Descripción detallada

45 Los sistemas de red de malla inalámbrica actuales presentan muchas deficiencias, incluida la falta de protección adicional para una ruta inalámbrica de alta confiabilidad para llevar datos de red de retorno, que transportan datos de señalización de control, junto con datos de usuario, para usuarios en el segmento de red. Los sistemas de red de malla inalámbrica actuales utilizan técnicas de transmisión de haz iguales o similares para una ruta de acceso que transporta datos para un solo usuario y una ruta de red de retorno que puede afectar el rendimiento de la red, ya que las rutas de red de retorno tienden a ser más sensibles a las interferencias y otros inhibidores de señal y pueden degradar el rendimiento de todo el segmento de red. Por lo tanto, existen múltiples necesidades en la técnica para

mejorar los sistemas y procedimientos relacionados con el diseño y la operación de redes de comunicación inalámbrica.

Con referencia a la Figura 1, se ilustra una red de comunicación de datos capaz de proporcionar velocidades de Internet de varios gigabits a través de enlaces inalámbricos punto a punto y punto a multipunto. La red de comunicación 100 en la Figura 1 incluye los puntos de acceso de fibra/torre 101 y 102. Los puntos de acceso de torre/fibra 101 y 102 se pueden ubicar en el mismo lugar o se pueden ubicar en ubicaciones físicas diferentes. Los puntos de acceso de torre/fibra 101 y 102 tienen acceso a una fibra oscura de gran ancho de banda capaz de proporcionar hasta varios cientos de gigabits/segundo de rendimiento de datos. Los puntos de acceso de torre/fibra 101 y 102 proporcionan conectividad de red de retorno entre una red central/centro de datos (no se muestra en la Figura 1 para simplificar) y un hogar semilla de la red de comunicación que se describe a continuación. Los puntos de acceso de torre/fibra 101 y 102 también alojan nodos de comunicación punto a punto inalámbricos 121 y 124.

Como se muestra, los nodos de comunicación inalámbrica 121 y 124 son capaces de recibir y transmitir señales de gran ancho de banda (múltiples gigahercios) que funcionan a muy alta frecuencia (6 Ghz ~ 100 Ghz tales como 28 Ghz, banda V, banda E, etc.). Cada uno de los nodos de comunicación inalámbrica 121 y 124 comprende una unidad de banda base/digital equipada con componentes que incluyen, pero no están limitados a, un procesador, memoria, etc. Los nodos de comunicación inalámbrica 121 y 124 también comprenden cada uno una unidad de RF y una unidad de antena. El subsistema de antena de los nodos de comunicación inalámbrica 121 y 124 es capaz de recibir y transmitir señales direccionales donde una parte significativa de la energía de la señal se concentra dentro de unos pocos grados alrededor del eje de la antena (por ejemplo, dentro de un rango de 0,5 grados a 5 grados), tanto en dirección vertical como horizontal, en contraste con las antenas omnidireccionales donde la energía de la señal está casi uniformemente distribuida en 360° grados.

Como se muestra además en la Figura 1, la red de comunicación 100 incluye los hogares semilla 111 y 115. Los ejemplos de hogares semilla incluyen hogares unifamiliares independientes, unidades de viviendas múltiples (MDU), pequeñas y medianas empresas (SMB), etc., donde los nodos de equipos de comunicación se pueden desplegar en los techos. Los hogares semilla 111 y 115 alojan los nodos de comunicación punto a punto inalámbricos 122 y 123. Los nodos de comunicación inalámbrica 122 y 123 son capaces de recibir y transmitir señales de gran ancho de banda (múltiples gigahercios) que funcionan a muy alta frecuencia (6 Ghz ~ 100 Ghz tales como 28 Ghz, banda V, banda E, etc.).

Los nodos de comunicación inalámbrica 122 y 123 comprenden una unidad de banda base/digital equipada con componentes que incluyen, pero no están limitados a, un procesador, memoria, etc. Los nodos de comunicación inalámbrica 122 y 123 también comprenden una unidad de RF y una unidad de antena. El subsistema de antena de los nodos de comunicación inalámbrica 122 y 123 es capaz de recibir y transmitir señales direccionales donde una parte significativa de la energía de la señal se concentra en unos pocos grados alrededor del eje de la antena (por ejemplo, dentro de un rango de 0,5 grados a 5 grados), tanto en dirección vertical como horizontal, en contraste con las antenas omnidireccionales donde la energía de la señal está casi uniformemente distribuida en 360° grados.

El nodo de comunicación inalámbrica 121 que reside en la torre/ubicación del punto de acceso de fibra 101 y el nodo de comunicación inalámbrica 122 que reside en el hogar semilla 111, trabajan juntos para formar un enlace de datos punto a punto de comunicación bidireccional de alto ancho de banda 141 que proporciona conectividad entre la torre/el punto de acceso de fibra 101 y el segmento del hogar semilla 111 de la red de comunicación 100. De manera similar, el nodo de comunicación inalámbrica 124 que reside en la torre/ubicación del punto de acceso de fibra 102 y el nodo de comunicación inalámbrica 123 que reside en el hogar semilla 115 trabajan juntos para formar un enlace de datos punto a punto de comunicación bidireccional de alto ancho de banda 142 que proporciona conectividad entre la torre/punto de acceso de fibra 102 y el segmento del hogar semilla 115 de la red de comunicación 100.

El hogar semilla 111, además del nodo de comunicación inalámbrica 122, alberga un segundo nodo de comunicación inalámbrica 131. El segundo nodo de comunicación inalámbrica 131 comprende múltiples módulos de transmisión/recepción independientes. Cada módulo del nodo de comunicación inalámbrica 131 es capaz de recibir y transmitir señales de gran ancho de banda (múltiples gigahercios) que funcionan a muy alta frecuencia (6 Ghz ~ 100 Ghz tales como 28 Ghz, banda V, banda E, etc.). Cada módulo del nodo de comunicación inalámbrica 131 comprende una unidad de banda base/digital independiente equipada con componentes que incluyen, pero no están limitados a, un procesador, memoria, etc. Cada módulo en el nodo de comunicación inalámbrica 131 también comprende una unidad de RF independiente y una unidad de antena independiente. El subsistema de antena del módulo de cada nodo de comunicación inalámbrica 131 es capaz de recibir y transmitir señales direccionales donde una parte significativa de la energía de la señal se concentra en unos pocos grados alrededor del eje de la antena (por ejemplo, dentro de un rango de 0,5 grados a 5 grados), tanto en direcciones verticales y horizontales, en contraste con las antenas omnidireccionales donde la energía de la señal está casi uniformemente distribuida en 360° grados.

La red de comunicación 100 también incluye múltiples hogares de anclaje 112, 113 y 114. Cada uno de estos hogares de anclaje alojan un nodo de comunicación inalámbrica similar al nodo de comunicación inalámbrica 131 descrito anteriormente. Sin embargo, a diferencia de los hogares semilla, un nodo de comunicación inalámbrica en

un hogar de anclaje solo brinda conectividad inalámbrica a uno o más hogares de anclaje y/o hogares semilla, pero no brinda conectividad al punto de acceso de Torre/Fibra. Por ejemplo, el hogar de anclaje 112 alberga el nodo de comunicación inalámbrica 132. Un primer módulo de nodo de comunicación inalámbrica 132 que reside en el hogar de anclaje 112, y otro módulo de nodo de comunicación inalámbrica 131 que reside en el hogar semilla 111, trabajan juntos para formar un enlace de datos punto a punto, de comunicación bidireccional de alto ancho de banda 151, que proporciona conectividad entre el hogar semilla 111 y hogar de anclaje 112 en el segmento de la red de comunicación 100. De manera similar, como otro ejemplo, un segundo módulo de nodo de comunicación inalámbrica 132 que reside en el hogar de anclaje 112 y un módulo de nodo de comunicación inalámbrica 133 que reside en el hogar de anclaje 113 trabajan juntos para formar un enlace de datos punto a punto de comunicación bidireccional de alto ancho de banda 153 que proporciona conectividad entre el hogar de anclaje 112 y el hogar de anclaje 113. Como otro ejemplo más, un tercer módulo de nodo de comunicación inalámbrica 132 que reside en el hogar de anclaje 112 y un módulo de nodo de comunicación inalámbrica 135 que reside en el hogar semilla 115, trabajan juntos para formar un enlace de datos punto a punto de comunicación bidireccional de alto ancho de banda 154, que proporciona conectividad entre el hogar de anclaje 112 y el hogar semilla 115. Como ejemplo adicional, otro módulo de nodo de comunicación inalámbrica 131 que reside en el hogar semilla 111 y un módulo de nodo de comunicación inalámbrica 134 que reside en el hogar de anclaje 114, trabajan juntos para formar un enlace de datos punto a punto de comunicación bidireccional de alto ancho de banda 152, que proporciona conectividad entre el hogar de anclaje 114 y el hogar semilla 111. Como otro ejemplo, otro módulo de nodo de comunicación inalámbrica 134 que reside en el hogar de anclaje 114 y un módulo de nodo de comunicación inalámbrica 135 que reside en el hogar semilla 115 trabajan juntos para formar un enlace de datos punto a punto de comunicación bidireccional de alto ancho de banda 156 que proporciona conectividad entre el hogar de anclaje 114 y el hogar semilla 115. Otros ejemplos son posibles también.

Los enlaces de comunicación bidireccionales 141, 142, 151, 152, 153, 154 y 155 se muestran en la figura. 1 se pueden usar varios esquemas de acceso múltiple diferentes para la transmisión y recepción, que incluyen, pero no están limitados al acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), FDMA de un sola portadora (SC-FDMA), TDMA de un sola portadora (SC-TDMA), acceso múltiple por división de código (CDMA), acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) y/o acceso múltiple no ortogonal (NOMA) como se describe en varias generaciones de tecnologías de comunicación, incluidas 1G, 2G, 3G, 4G, 5G y 6G, etc. Los enlaces de comunicación bidireccionales 141, 142, 151, 152, 153, 154 y 155 formados por un conjunto de nodos de comunicación que comprende dos o más de 121, 122, 123, 124, 131, 132, 133, 134 y/o 135 son capaces de transferir información de datos a través de una variedad de esquemas de transmisión digital, que incluyen, pero no están limitados a la modulación de amplitud (AM), modulación de fase (PM), modulación de amplitud de pulso/modulación de amplitud en cuadratura (PAM/QAM) y/o modulación de amplitud de pulsos de ultra banda ancha (UWB) (pulsos de picosegundos), etc.

En la Figura 1, dos puntos de acceso de torre/fibra 101 y 102, dos casas semillas 111 y 115 y tres casas de anclaje 112, 113 y 114 y siete enlaces de datos bidireccionales punto a punto 141, 142, 151, 152, 153, 154 y 155 se muestran para ilustrar un ejemplo de una red de comunicaciones. Sin embargo, en general, debe entenderse que la red de comunicación 100 puede incluir un número diferente de nodos de torre/fibra, casas semillas, casas de anclaje y/o enlaces de comunicación, que pueden depender del diseño específico de una instancia particular de la red de comunicación desplegada en el campo. De manera similar, aunque la Figura 1 muestra cuatro nodos de comunicación 121, 122, 123 y 124 que proporcionan conectividad entre un punto de acceso de torre/fibra (p. ej., puntos de acceso de torre/fibra 101, 102) y un hogar semilla, cinco nodos de comunicación 131, 132, 133, 134 y 135 que brindan conectividad entre dos hogares de anclaje o entre un anclaje y un hogar semilla, la cantidad de estos nodos de comunicación puede variar de una red de comunicación a otra, lo que puede depender del tamaño y diseño específicos de una instancia particular de la red de comunicación. También debe entenderse que la red de comunicación 100 también puede contener otros nodos (por ejemplo, conmutadores/enrutadores de red, etc.) que se omiten aquí para simplificar.

Con referencia a la Figura 2, una posible realización del nodo de comunicación inalámbrica 131 de la Figura 1 se muestra como el nodo de comunicación inalámbrica 200. El nodo de comunicación inalámbrica 200 de la Figura 2 comprende un módulo etiquetado como "Módulo A". Como se muestra, el Módulo A comprende una unidad de banda base o unidad digital 201 que ejecuta el protocolo de nivel de capa física, incluida la modulación/demodulación digital (módem) y otros protocolos de capa superior, tal como la capa MAC, etc. La unidad de banda base 201 interactúa con otros nodos de la red de comunicación que son externos al nodo de comunicación inalámbrica 200 a través de un medio cableado.

El Módulo A también incluye la unidad de RF 202 que, entre otras cosas, realiza el procesamiento de señales de frecuencia intermedia (IF) y define el rango de frecuencia de las señales de radio que se pueden transmitir o recibir a través del Módulo A. La unidad de RF 202 es capaz de operar sobre una amplia gama de frecuencias (por ejemplo, frecuencias de banda V que van desde 57 GHz a 71 GHz).

Además, como se muestra, el Módulo A también comprende la unidad de antena 203 que realiza la transmisión y recepción de señales de radio por aire. La unidad de antena 203 es capaz de transmitir y recibir un haz de señales extremadamente estrecho. La unidad de antena 203 puede construirse con metamateriales que tengan excelentes propiedades para controlar la direccionalidad de las señales de radio que no pueden exhibir las antenas ordinarias.

El módulo A, con la ayuda de la unidad de antena 203, es capaz de establecer enlaces punto a punto con un módulo diferente que reside en un nodo de comunicación inalámbrica diferente.

Con referencia a la Figura 3, se muestra un ejemplo de un patrón de antena del Módulo A creado por la unidad de antena 203. Se puede ver en el patrón de antena en la Figura 3 que el ancho del haz de la unidad de antena 203 del Módulo A es extremadamente estrecho (menos de un grado) y los niveles de potencia de los lóbulos laterales comienzan a caer rápidamente. Por ejemplo, como se muestra, aproximadamente a 5-6 grados del lóbulo principal, los niveles de potencia pueden caer más de 30 dB.

Debe entenderse que el patrón de antena de la unidad de antena 203 se muestra en la Figura 3 es solo un ejemplo que muestra la capacidad de generación de patrones de antena de haz extremadamente estrecho del Módulo A. En otros casos, debido al cambio en los elementos de la antena, tamaño, frecuencia, etc., se pueden generar diferentes patrones. Además, aunque el Módulo A puede construirse utilizando los metamateriales descritos anteriormente, debe entenderse que el Módulo A puede construirse utilizando una antena parabólica u otros tipos de antenas. Sin embargo, debe entenderse que la característica principal de la generación de un patrón de haz de antena extremadamente estrecho es común a todas las instancias del Módulo A.

Con referencia a la Figura 4, se muestra un enlace de comunicación inalámbrica punto a punto 400 establecido entre dos nodos de comunicación inalámbrica 401 y 402. Cada uno de los nodos de comunicación inalámbrica 401 y 402 aloja un solo módulo de comunicación (es decir, "Módulo A") que puede tener una forma similar al Módulo A representado en la Figura 2 y descrito anteriormente. Como se muestra en la Figura 4, debido a las características de la unidad de antena del Módulo A en el nodo de comunicación inalámbrica 401 y 402, el enlace bidireccional punto a punto 400 puede tener un haz extremadamente estrecho. Esta capacidad de transmisión y recepción de señales de radio sobre un haz extremadamente estrecho a través del enlace punto a punto 400, proporciona inmunidad a la interferencia en escenarios donde hay una gran cantidad de enlaces de comunicación inalámbrica, establecidos por múltiples nodos de comunicación inalámbrica concentrados en un área pequeña y operando en la misma frecuencia.

En algunas implementaciones, el Módulo A puede proporcionar además características de maniobrabilidad del haz además de la capacidad de transmitir y recibir datos a través de haces extremadamente estrechos, como se explicó anteriormente y se ilustra en el contexto de las Figuras 2-4.

Por ejemplo, con referencia a la Figura 5, se muestra un nodo de comunicación inalámbrica 501 que comprende el Módulo A, un segundo nodo de comunicación inalámbrica 502 que comprende el Módulo A y un tercer nodo de comunicación inalámbrica 503 que comprende el Módulo A. Durante el tiempo T1, el Módulo A del nodo de comunicación inalámbrica 501 y el Módulo A del nodo de comunicación inalámbrica 502 trabajan juntos para establecer un enlace bidireccional basado en un haz extremadamente estrecho 500 para el intercambio de datos de información entre los nodos de comunicación inalámbrica 501 y 502. Debido a algún desencadenante, el Módulo A del nodo de comunicación inalámbrica 501 puede invocar la capacidad de dirección del haz del módulo y cambiar la dirección del haz de transmisión y recepción de la antena hacia el nodo de comunicación inalámbrica 503, y trabajar junto con el Módulo A del nodo de comunicación inalámbrica 503, para dinámicamente establecer un enlace bidireccional basado en un haz extremadamente estrecho 500 entre el nodo de comunicación inalámbrica 501 y el nodo de comunicación inalámbrica 503 durante el tiempo T2. El desencadenante de este direccionamiento del haz puede deberse a cambios en la condición del enlace entre el nodo de comunicación inalámbrica 501 y el nodo de comunicación inalámbrica 502 que pueden implicar varios factores, que incluyen, pero no están limitados a un cambio de una ruta LOS a una ruta sin LOS debido a un cambio en el entorno, mayor interferencia, un cambio en la posición del nodo de comunicación inalámbrica 502 con respecto al nodo de comunicación inalámbrica 501 y/o instrucciones de capas superiores, etc.

En una realización, el nodo de comunicación inalámbrica 503 puede ser diferente del nodo de comunicación inalámbrica 502. En otra realización, el nodo de comunicación inalámbrica 503 puede ser el mismo que el nodo de comunicación inalámbrica 502 pero en una ubicación física diferente.

En algunas realizaciones, los nodos de comunicación inalámbrica definidos anteriormente y discutidos en el contexto de las Figuras 2-5 pueden alojar más de un módulo. Esto permite que un nodo de comunicación inalámbrica se comunique simultáneamente con múltiples nodos de comunicación inalámbrica al establecer múltiples enlaces bidireccionales de haz extremadamente estrecho con la ayuda de múltiples módulos (por ejemplo, múltiples Módulos A) pertenecientes a diferentes nodos de comunicación inalámbrica que trabajan juntos.

Como un ejemplo para ilustrar, con referencia a la Figura 6, los nodos de comunicación inalámbrica 601 y 602 alojan cada uno dos Módulos A etiquetados como "1" y "2", mientras que los nodos de comunicación inalámbrica 603 y 604 alojan cada uno un solo Módulo A. Como se muestra, un 1^{er} Módulo A del nodo de comunicación inalámbrica 601 y un 1^{er} Módulo A del nodo de comunicación inalámbrica 602 trabajan en conjunto para establecer un enlace basado en un haz bidireccional extremadamente estrecho 600 para proporcionar una conexión inalámbrica entre el nodo de comunicación inalámbrica 601 y 602. Similarmente, un 2^{do} Módulo A del nodo de comunicación inalámbrica 601 y 602 y un 1^{er} (y solo) el Módulo A del nodo de comunicación inalámbrica 603 y 604 respectivamente trabajan juntos

para establecer enlaces basados en haces bidireccionales extremadamente estrechos 610 y 620 para proporcionar una conexión inalámbrica entre los nodos de comunicación inalámbrica 601-603 y 602-604 respectivamente.

En una realización, el 1^{er} y 2^{do} Módulo A de los nodos de comunicación inalámbrica 601 y 602 puede estar dentro del mismo gabinete físico y en otras realizaciones, el 1^{er} Módulo A de los nodos de comunicación inalámbrica 601 y 603 puede estar dentro de un gabinete físico y los 2^{do} Módulo A de los nodos de comunicación inalámbrica 601 y 603 puede estar dentro de un gabinete físico diferente. En realizaciones en las que diferentes Módulos A pertenecientes al mismo nodo de comunicación inalámbrica están contenidos en recintos físicos separados, estos Módulos A pueden conectarse a través de un enlace por cable ya que están ubicados en el mismo hogar semilla o hogar de anclaje.

En la Figura 6, se muestra que un máximo de dos Módulos A están contenidos en un nodo de comunicación inalámbrica que permite que el nodo de comunicación inalámbrica establezca dos enlaces bidireccionales independientes con diferentes nodos de comunicación inalámbrica simultáneamente. Sin embargo, debe entenderse que un nodo de comunicación inalámbrica puede alojar más de dos Módulos A y que el número máximo de Módulos A que puede alojar un nodo de comunicación inalámbrica puede depender de la potencia total máxima disponible para el nodo de comunicación inalámbrica.

Además, debe entenderse que, en una realización, todos los Módulos que pertenecen al mismo nodo de comunicación inalámbrica pueden operar en las mismas frecuencias portadoras de una banda de frecuencia, y en otras realizaciones, diferentes Módulos que pertenecen al mismo nodo de comunicación inalámbrica pueden operar en diferentes frecuencias portadoras de una banda de frecuencia.

Con referencia a la Figura 7, otra realización del nodo de comunicación inalámbrica 131 de la Figura 1 se muestra como el nodo de comunicación inalámbrica 700. El nodo de comunicación inalámbrica 700 de la Figura 7 comprende un solo módulo etiquetado como "Módulo B". El módulo B comprende la unidad de banda base o la unidad digital 701 que ejecuta el protocolo de nivel de capa física, incluida la modulación/demodulación digital (módem) y otros protocolos de capa superior, como la capa MAC, etc. La unidad de banda base 701 interactúa con otros nodos de la red de comunicación que son externos al nodo de comunicación inalámbrica 700 a través de un medio cableado.

El Módulo B también incluye la unidad RF 702, que, entre otras cosas, procesa señales de frecuencia intermedia (IF) y define el rango de frecuencia de las señales de radio que se pueden transmitir o recibir con el Módulo B. La unidad RF 702 es capaz de operar en una amplia gama de frecuencias (por ejemplo, frecuencias de banda V que van desde 57 GHz a 71 GHz).

Además, el Módulo B comprende la unidad de antena 703, que realiza la transmisión y recepción de señales de radio por aire. La unidad de antena 703 puede ser un sistema de antena activa (AAS) que comprende un conjunto en fase de transmisores y receptores que son capaces de formar haces y crear múltiples haces simultáneamente en diferentes direcciones. En virtud de la creación simultánea de múltiples haces en diferentes direcciones, el AAS de la unidad de antena 703 permite que el nodo de comunicación inalámbrica 700 establezca enlaces de comunicación inalámbrica punto a multipunto con múltiples nodos de comunicación inalámbrica. Por lo tanto, el Módulo B, con la ayuda de la unidad de antena 703, es capaz de establecer enlaces punto a multipunto con un módulo diferente que reside en un nodo de comunicación inalámbrica diferente.

Como se muestra además en la Figura 7, se muestra que el módulo B que reside en el nodo de comunicación inalámbrica 700 crea de 1 a N haces múltiples con la ayuda del AAS de la unidad de antena 703. El valor N depende del número de antenas de transmisión y recepción en AAS de la unidad de antena 703. Específicamente, se puede ver que la unidad de comunicación inalámbrica 700 está conectada a la unidad de comunicación inalámbrica 710, la unidad de comunicación inalámbrica 720 y la unidad de comunicación inalámbrica 7N0 a través del haz bidireccional 1, haz 2 y haz N respectivamente. También se puede ver en el patrón de antena en la Figura 7 que el ancho del haz de los haces punto a multipunto de la unidad de antena 703 del módulo B no sea extremadamente estrecho (por ejemplo, 3 dB de ancho de haz de 7~10 grados) y que los niveles de potencia de los lóbulos laterales no empiecen a caer a una velocidad rápida que es en contraste con el patrón de antena de la unidad de antena que pertenece al Módulo A descrito anteriormente y discutido en el contexto de las Figuras. 2-6.

Además, el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 700 también difiere del Módulo A (discutido anteriormente en el contexto de las Figuras 2-6) con respecto a la limitación de que los enlaces bidireccionales múltiples operan en un solo rango de frecuencia en un momento dado. Por ejemplo, los haces de señales 1 a N que conectan el nodo de comunicaciones inalámbricas 700 a los nodos de comunicaciones inalámbricas 710 a 7N0 respectivamente solo pueden operar dentro del mismo rango de frecuencia en un instante de tiempo dado. Cabe señalar que, en un instante diferente, todos los haces 1 a N pueden cambiar para operar en un rango de frecuencia diferente del rango de frecuencia utilizado en el instante de tiempo anterior, sin embargo, el rango de frecuencia de un haz individual permanece igual que el rango de frecuencia de todos los demás haces N-1 en un instante de tiempo dado. Por lo tanto, con respecto al Módulo B, aunque debido a que los conjuntos de antenas en fase pueden crear múltiples haces, para crear enlaces punto a multipunto para conectar un nodo de comunicación inalámbrica con múltiples nodos de comunicación inalámbrica como se muestra en la Figura 7, un perfil de interferencia en el lado del receptor con dicha red punto a multipunto es inferior a un perfil de interferencia de una red punto a

multipunto donde un nodo de comunicación inalámbrica aloja múltiples Módulos A y crea múltiples enlaces punto a punto como se muestra en la Figura 6, donde el nodo de comunicación inalámbrica 601 usa dos Módulos A para conectarse al nodo de comunicación inalámbrica 602 y al nodo de comunicación inalámbrica 603 simultáneamente. Las razones principales de la alta interferencia con el Módulo B pueden deberse a (1) haces basados en conjuntos de antenas en fase individuales, que no son tan estrechos como los haces extremadamente estrechos generados por la antena basada en metamateriales del Módulo A y/o (2) todos los haces de Módulo B, que pertenece a una unidad de comunicación inalámbrica que no puede operar en diferentes rangos de frecuencia a diferencia de múltiples haces estrechos punto a punto del nodo de comunicación inalámbrica que alojan múltiples Módulos A.

Con referencia a la Figura 8, otra posible realización del nodo de comunicación inalámbrica 131 de la Figura 1 se muestra como el nodo de comunicación inalámbrica 800 y el nodo de comunicación inalámbrica 810. El nodo de comunicación inalámbrica 800 de la Figura 8 comprende un módulo etiquetado como "Módulo C". El módulo C comprende una unidad de banda base o unidad digital que ejecuta el protocolo de nivel de capa física, incluida la modulación/demodulación digital (módem) y otros protocolos de capa superior, como la capa MAC, etc. La unidad de banda base del Módulo C interactúa con otros nodos de una red de comunicación que son externos al nodo de comunicación inalámbrica 800 a través de un medio alámbrico.

El módulo C también incluye una antena de banda ultra ancha integrada con la unidad de banda base. El módulo C es capaz de generar, transmitir y recibir pulsos de duración extremadamente corta (unos pocos picosegundos de duración) y utiliza la modulación de pulso (y sus variaciones, como la modulación de amplitud de pulso, etc.) para transmitir datos a velocidades extremadamente altas (por ejemplo, mayor de 100 Gbps) mediante la transmisión de señales en una amplia gama de frecuencias. En una realización, los pulsos usados para la comunicación por el Módulo C pueden usar frecuencias que van desde unos pocos cientos de megahercios hasta unos pocos cientos de gigahercios. Un experto normal en la técnica apreciará que el rango de frecuencias utilizado por los pulsos generados por el Módulo C de la unidad de comunicación inalámbrica 800 también puede tener un rango diferente. Además, se pueden colocar varios módulos C juntos para crear un conjunto de 1, 2 o 3 dimensiones. Los elementos de este conjunto (por ejemplo, el módulo C) son capaces de realizar una transmisión sincronizada en el tiempo para la formación del haz. Esto permite que la energía de la señal de RF de los pulsos de Pico segundo/UWB se enfoque en una dirección deseada (receptor) y también puede permitir la creación de energía de señal de RF nula o baja del pulso de Pico segundo/UWB en otras direcciones para evitar interferencias.

Una diferencia fundamental entre las características de las señales generadas por el Módulo C y las señales generadas por el Módulo A y/o el Módulo B es que estas señales generadas por el Módulo C son señales de banda ultra ancha (UWB) y su densidad espectral de potencia en todo el rango de frecuencias es muy bajo. En este sentido, estas señales UWB no crean interferencias con otras señales que operan en una banda estrecha de frecuencias, ya que estas señales UWB son tratadas como ruido por los receptores de los nodos normales de comunicación inalámbrica.

Como se muestra además en la Figura 8, el Módulo C del nodo de comunicación inalámbrica 800 y el Módulo C de la unidad de comunicación inalámbrica 810 establecen un enlace 801 al trabajar juntos. Como se ha explicado anteriormente, dicho enlace de comunicación 801 funciona en una gama ultra amplia de frecuencias. Sin embargo, incluso en presencia de otros nodos de comunicación inalámbrica (no mostrados en la Figura 8) tales como nodos de comunicación inalámbrica con Módulo A o Módulo B que operan en una banda estrecha de frecuencias en comparación con el Módulo C del nodo de comunicación inalámbrica 800, el rendimiento de la red no se ve afectada ya que la densidad espectral de potencia en el rango de frecuencia del enlace de comunicación 801, que se superpone con los rangos de frecuencia en los que opera un nodo de comunicación inalámbrico cercano que usa señales de banda estrecha, que usa, por ejemplo, el Módulo A y/o el Módulo B, es muy baja y se trata como ruido por parte de los receptores del Módulo A y/o del Módulo B.

En otra realización preferente, en línea con la discusión anterior, el nodo de comunicación inalámbrica 131 en la Figura 1 puede alojar dos tipos de módulos. Esto permite que un nodo de comunicación inalámbrica se comunique simultáneamente con múltiples nodos de comunicación inalámbrica y con dos perfiles de interferencia diferentes.

Como un ejemplo para ilustrar, con referencia a la Figura 9, el nodo de comunicación inalámbrica 910 aloja un Módulo A y un Módulo B. El Módulo A del nodo de comunicación inalámbrica 910 y un módulo de comunicación del nodo de comunicación inalámbrica 920, trabajan juntos para establecer un enlace 901 basado en un haz bidireccional extremadamente estrecho para proporcionar una conexión inalámbrica entre nodos de comunicación inalámbrica 910 y 920. Simultáneamente, el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 910 que está basado en AAS y genera múltiples haces simultáneamente, crea un enlace punto a multipunto que conecta el nodo de comunicación inalámbrica 910 con los nodos de comunicación inalámbrica 930, 940, 950 y 960. Específicamente, el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 910 se coordina con (1) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 930 para establecer un haz bidireccional 902, (2) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 940 para establecer un haz bidireccional 903, (3) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 950 para establecer un haz bidireccional 904, y (4) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 960 para establecer un haz bidireccional 905. En una realización, el haz extremadamente estrecho 901 y el grupo de haces que incluyen 902, 903, 904 y 905 pueden operar todos dentro del mismo rango de frecuencias portadoras en un momento dado. En otra realización, el haz extremadamente estrecho 901 puede operar dentro de un rango de frecuencias diferente en

comparación con el rango de frecuencias utilizado por el grupo de haces que incluye 902, 903, 904 y 905 en un momento dado.

En una realización, el Módulo A y el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 910 pueden estar dentro del mismo gabinete físico. En otras realizaciones, el Módulo A y el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 910 pueden estar dentro de dos recintos físicos separados. En tales realizaciones donde el Módulo A y el Módulo B pertenecen al mismo nodo de comunicación inalámbrica contenido en recintos físicos separados, el Módulo A y el Módulo B se pueden conectar a través de un enlace por cable ya que están ubicados en el mismo hogar semilla o hogar de anclaje.

En la Figura 9, se muestra que un máximo de dos módulos (es decir, un solo Módulo A y un solo Módulo B) que están contenidos en un nodo de comunicación inalámbrica 910 que permite que el nodo de comunicación inalámbrica establezca dos tipos independientes y diferentes de enlaces bidireccionales con diferentes nodos de comunicación inalámbrica simultáneamente. Sin embargo, debe entenderse que el nodo de comunicación inalámbrica 910 puede alojar más de dos módulos (por ejemplo, una combinación de uno o más Módulos A y uno o más Módulos B) y el número máximo de módulos totales que un nodo de comunicación inalámbrica puede alojar puede depender de la potencia total máxima disponible para el nodo de comunicación inalámbrica. Además, debe entenderse que, en una realización, todos los módulos que pertenecen al mismo nodo de comunicación inalámbrica pueden operar en las mismas frecuencias portadoras de una banda de frecuencia, pero en otras realizaciones, diferentes módulos que pertenecen al mismo nodo de comunicación inalámbrica pueden operar en diferentes frecuencias portadoras de una banda de frecuencia.

Como se señaló anteriormente, los nodos de comunicación inalámbrica 131 en la Figura 1 puede alojar más de un tipo de módulo. Esto permite que un nodo de comunicación inalámbrica se comuniquen simultáneamente con múltiples nodos de comunicación inalámbrica y con diferentes perfiles de interferencia.

Como otro ejemplo para ilustrar, con referencia a la Figura 10, el nodo de comunicación inalámbrica 1010 aloja un módulo C y un módulo B. El módulo C del nodo de comunicación inalámbrica 1010 y el módulo C del nodo de comunicación inalámbrica 1020 trabajan juntos para establecer un enlace con una tasa de datos extremadamente alta, frecuencia ultra ancha y densidad espectral de baja potencia basada en haz 1001, para proporcionar una conexión inalámbrica entre los nodos de comunicación inalámbrica 1010 y 1020. El módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 1010, que se basa en AAS y genera múltiples haces simultáneamente, crea un enlace punto a multipunto que conecta el nodo de comunicación inalámbrica 1010 con los nodos de comunicación inalámbrica 1030, 1040, 1050 y 1060. Específicamente, el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 1010 se coordina con (1) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 1030 para establecer un haz bidireccional 1002, (2) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 1040 para establecer un haz bidireccional 1003, (3) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 1050 para establecer un haz bidireccional 1004, y (4) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 1060 para establecer un haz bidireccional 1005.

En una realización, el Módulo C y el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 1010 pueden estar dentro del mismo gabinete físico. En otras realizaciones, el Módulo C y el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 1010 pueden estar dentro de dos recintos físicos separados. En una realización de este tipo en la que el Módulo C y el Módulo B pertenecen al mismo nodo de comunicación inalámbrica contenido en recintos físicos separados, el Módulo C y el Módulo B se pueden conectar a través de un enlace por cable, ya que están ubicados en el mismo hogar semilla o hogar principal.

En la Figura 10, se muestra que un máximo de dos módulos (es decir, un solo Módulo C y un solo Módulo B) están contenidos en un nodo de comunicación inalámbrica 1010 que permite que el nodo de comunicación inalámbrica establezca dos tipos independientes y diferentes de enlaces bidireccionales con diferentes nodos de comunicación inalámbrica simultáneamente. Sin embargo, debe entenderse que el nodo de comunicación inalámbrica 1010 puede alojar más de dos tipos de módulos (por ejemplo, una combinación de Módulo A, Módulo B y/o Módulo C) y el número máximo de módulos totales que un nodo de comunicación inalámbrica puede alojar puede depender de la potencia total máxima disponible para el nodo de comunicación inalámbrica. También debe entenderse que en una realización, todos los módulos que pertenecen al mismo nodo de comunicación inalámbrica pueden operar en las mismas frecuencias portadoras de una banda de frecuencia, mientras que en otras realizaciones, diferentes módulos que pertenecen al mismo nodo de comunicación inalámbrica pueden operar en diferentes frecuencias portadoras de una banda de frecuencia.

En otra realización preferida, los nodos de comunicación inalámbrica 131 en la Figura 1 puede alojar más de un tipo de módulo y cambiar dinámicamente el tipo de enlace entre los nodos de comunicación inalámbrica. Esto permite que un nodo de comunicación inalámbrica se comuniquen simultáneamente con múltiples nodos de comunicación inalámbrica y con diferentes perfiles de interferencia y se adapte a los cambios en el entorno de la red.

Como un ejemplo para ilustrar, con referencia a la Figura 11A, el nodo de comunicación inalámbrica 1110 aloja un Módulo C o un Módulo A junto con un Módulo B. Durante el tiempo T1, el Módulo A/Módulo C del nodo de comunicación inalámbrica 1110 y el módulo de comunicación del nodo de comunicación inalámbrica 1010 trabajan juntos para establecer, cualquiera de los dos, un enlace de una tasa extremadamente alta de haz de densidad

espectral de baja potencia de frecuencia ultra ancha o un enlace basado en haz extremadamente estrecho 1101, para proporcionar una conexión inalámbrica entre los nodos de comunicación inalámbrica 1110 y 1120. Prácticamente con la misma duración de tiempo T1, el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 1110 que se basa en AAS y genera múltiples haces simultáneamente, crea un enlace punto a multipunto que conecta el nodo de comunicación inalámbrica 1110 con los nodos de comunicación inalámbrica 1130, 1140, 1150 y 1160. Específicamente, el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 1110 se coordina con (1) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 1130 para establecer un haz bidireccional 1102, (2) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 1140 para establecer un haz bidireccional 1103, (3) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 1150 para establecer un haz bidireccional 1104, y (4) un módulo del nodo de comunicación inalámbrica 1160 para establecer un haz bidireccional 1105.

Con referencia a la Figura 11B, en un momento diferente T2, debido a alguna activación, el Módulo A/Módulo C del nodo de comunicación inalámbrica 1110 puede cambiar dinámicamente su enlace inalámbrico del nodo de comunicación inalámbrica 1120 al nodo de comunicación inalámbrica 1140 dirigiendo el haz hacia el nodo de comunicación inalámbrica 1140. Al mismo tiempo o después de recibir instrucciones de una capa superior, el Módulo B del nodo de comunicación inalámbrica 1110 desconecta su enlace con el nodo de comunicación inalámbrica 1140 a través del haz 1103 y genera un nuevo haz 1113 en la dirección del nodo de comunicación inalámbrica 1120 y establece una conexión con nodo de comunicación inalámbrico 1120. La activación de este direccionamiento del haz puede deberse a cambios en la condición del enlace entre el nodo de comunicación inalámbrica 1110 y el nodo de comunicación inalámbrica 1120 o 1140, lo que puede implicar varios factores, que incluyen, pero no están limitados al cambio de una ruta LOS, a una ruta sin LOS debido a un cambio en el entorno, el incremento de la interferencia, un cambio en la posición del nodo de comunicación inalámbrica 1120 o 1140 con respecto al nodo de comunicación inalámbrica 1110, instrucciones de capas superiores, etc.

Como se muestra en las Figuras 11A-B, la conmutación de enlace dinámico puede ocurrir entre los nodos de comunicación inalámbrica 1110, 1120 y 1140. Sin embargo, debe entenderse que la conmutación dinámica también puede ocurrir entre diferentes nodos de comunicación.

En algunos casos, uno o más nodos de comunicación inalámbrica pueden abandonar la red de comunicación. En tal caso, los enlaces entre nodos pueden caerse y la red de comunicación puede realinearse dinámicamente ajustando/cambiando los tipos de enlace entre el número restante de nodos de comunicación inalámbrica en la red de comunicación para adaptarse mejor a las necesidades de los nodos de comunicación inalámbrica y a la red de comunicación.

En algunas realizaciones, los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 pueden alojar múltiples módulos del mismo tipo o de tipos diferentes. Por ejemplo, uno o más de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 pueden alojar un Módulo A y un Módulo B. Por lo tanto, cuando el nodo de comunicación inalámbrica 1110 realiza un enlace punto a punto utilizando su Módulo A o Módulo C con un primer módulo de comunicación (por ejemplo, Módulo A o C) de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160, luego un segundo módulo de comunicación (por ejemplo, Módulo B) de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 puede crear simultáneamente enlaces de comunicación inalámbrica punto a multipunto con otros módulos de nodos de comunicación inalámbrica en la red de malla que no se muestran aquí. De manera similar, cuando el nodo de comunicación inalámbrica 1110 realiza un enlace punto a multipunto usando su Módulo B con el primer módulo de comunicación (por ejemplo, Módulo A o C) de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160, entonces el segundo módulo de comunicación (por ejemplo, el Módulo B) de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 puede crear simultáneamente enlaces de comunicación inalámbrica punto a multipunto con otros módulos de nodos de comunicación inalámbrica en la red de malla que no se muestran aquí.

Como otro ejemplo, uno o más de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 pueden alojar dos Módulos A o Módulos C. Por lo tanto, cuando el nodo de comunicación inalámbrica 1110 realiza un enlace punto a punto usando su Módulo A o Módulo C con el primer Módulo A o C de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160, entonces el segundo Módulo A o Módulo C de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 pueden crear simultáneamente enlaces de comunicación inalámbrica punto a punto con otros módulos de nodos de comunicación inalámbrica en la red de malla que no se muestran aquí. De manera similar, cuando el nodo de comunicación inalámbrica 1110 realiza un enlace punto a multipunto usando su Módulo B con los primeros módulos de comunicación (Módulo A o C) de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160, entonces el segundo Módulo A o C de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 pueden crear simultáneamente enlaces de comunicación inalámbrica punto a punto con otros módulos de nodos de comunicación inalámbrica en la red de malla que no se muestran aquí.

Como otro ejemplo más, los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 pueden alojar múltiples Módulos A o Módulos C y un Módulo B. Por ejemplo, uno o más de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 pueden alojar dos Módulos A o Módulos C y un Módulo B. Por lo tanto, cuando el nodo de comunicación inalámbrica 1110 realiza un enlace punto a punto utilizando su Módulo A o Módulo C con un primer Módulo A o C de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160, entonces un

segundo Módulo A o Módulo C de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 puede crear simultáneamente enlaces de comunicación inalámbrica punto a punto con un tercer módulo de comunicación (por ejemplo, Módulo B) de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 pueden crear simultáneamente enlaces de comunicación inalámbrica punto a multipunto con otros módulos de nodos de comunicación inalámbrica en la red de malla que no se muestran aquí. De manera similar, cuando el nodo de comunicación inalámbrica 1110 realiza un enlace punto a multipunto usando su Módulo B con el primer módulo de comunicación (por ejemplo, Módulo A o C) de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160, entonces el segundo módulo de comunicación (por ejemplo, Módulo A o C) de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 puede crear simultáneamente enlaces de comunicación inalámbrica punto a punto con otros módulos de nodos de comunicación inalámbrica en la red de malla que no se muestran aquí, y un tercer módulo de comunicación (por ejemplo, el Módulo B) de los nodos de comunicación inalámbrica 1120, 1130, 1140, 1150 y 1160 puede crear simultáneamente enlaces de comunicación inalámbrica punto a multipunto con otros módulos de nodos de comunicación inalámbrica en la red de malla que no se muestran aquí.

Cabe señalar que los enlaces de comunicación inalámbrica establecidos por el Módulo A o el Módulo C tienen una alta fiabilidad debido a la inmunidad a las interferencias, ya sea debido a haces extremadamente estrechos o debido a la transmisión de datos a través de un ancho de banda ultra alto. Estas características hacen que estos enlaces sean más adecuados para transportar información y datos de control para múltiples usuarios de una red de malla de comunicación inalámbrica. Por lo tanto, los enlaces establecidos por el Módulo A o el Módulo C pueden actuar como una red de retorno inalámbrico para una red de malla, mientras que los enlaces establecidos con el Módulo B pueden proporcionar acceso a usuarios individuales de una red de comunicación.

En una realización, una malla inalámbrica completa puede estar compuesta por enlaces punto a punto donde ambos enlaces que proporcionan red de retorno y acceso tienen inmunidad a interferencias. Aunque tales enlaces son más caros debido al requisito de módulos separados para establecer enlaces individuales, tales enlaces son adecuados cuando se requiere garantizar cierta alta calidad de servicio o confiabilidad para todos los clientes de la red.

Por ejemplo, la Figura 12 muestra una ubicación 1200 de una red de comunicación que puede ser un hogar semilla o un hogar de anclaje. La ubicación 1200 aloja un nodo de comunicación inalámbrica 1201 que contiene un total de 6 módulos de comunicación que pertenecen al Módulo A o al Módulo C. Por lo tanto, el nodo de comunicación inalámbrica 1201 es capaz de establecer seis enlaces punto a punto. Como se muestra, el nodo de comunicación inalámbrica 1201 utiliza un 1^{er} y 4^{to} Módulo A/Módulo C para establecer conexiones con la ubicación 1210 y la ubicación 1260 que sirven como enlaces de red de retorno, mientras que el nodo de comunicación inalámbrica 1201 usa un 2^{do}, 3^{ro}, 5^{to} y 6^{to} Módulo A/Módulo C para establecer enlaces punto a punto con la ubicación 1220, 1230, 1250 y 1240 para brindar enlaces de acceso. A este respecto, los enlaces entre las ubicaciones 1200 y 1220, las ubicaciones 1200 y 1230, las ubicaciones 1200 y 1240 y las ubicaciones 1200 y 1250 solo transportan datos para usuarios individuales, mientras que los enlaces entre las ubicaciones 1200 y 1260 y las ubicaciones 1200 y 1210 transportan señalización y datos para todas las ubicaciones, incluidas 1200, 1210, 1220, 1230, 1240, 1250 y 1260.

En otra realización, una malla inalámbrica completa puede estar compuesta por una combinación de enlaces punto a punto y enlaces punto a multipunto donde los enlaces punto a punto actúan como enlaces de red de retorno y los enlaces punto a multipunto actúan como enlaces de acceso a usuarios individuales. Aunque tales redes inalámbricas en malla, debido a la presencia de enlaces punto a multipunto, proporcionan inmunidad a las interferencias para todos los usuarios de la red de comunicación, tales redes inalámbricas en malla son menos costosas debido a que no se requieren módulos separados para establecer enlaces individuales.

Por ejemplo, la Figura 13 muestra una ubicación 1300 de una red de comunicación que puede ser un hogar semilla o un hogar de anclaje. La ubicación 1300 aloja un nodo de comunicación inalámbrica 1301 que contiene un total de 4 módulos de comunicación que pertenecen al Módulo A/Módulo C o al Módulo B. Por lo tanto, este nodo de comunicación inalámbrica es capaz de establecer dos enlaces punto a punto y dos enlaces punto a multipunto. Como se muestra, el nodo de comunicación inalámbrica 1301 utiliza un 1^{er} y 4^{to} Módulo A/Módulo C para establecer conexiones con la ubicación 1310 y la ubicación 1360 que sirven como enlaces de red de retorno, mientras que el nodo de comunicación inalámbrica 1301 usa un 2^{do} Módulo B para establecer enlaces punto a multipunto con las ubicaciones 1320, 1330 y utiliza un 3^{ro} Módulo B para establecer enlaces punto a multipunto con las ubicaciones 1350 y 1340 para proporcionar enlaces de acceso. En otras palabras, los enlaces entre las ubicaciones 1300 y 1320, las ubicaciones 1300 y 1330, las ubicaciones 1300 y 1340 y las ubicaciones 1300 y 1350 solo transportan datos para usuarios individuales, mientras que los enlaces entre las ubicaciones 1300 y 1360 y las ubicaciones 1300 y 1310 transportan señalización y datos para todas las ubicaciones que incluyen 1300, 1310, 1320, 1330, 1340, 1350 y 1360.

Con referencia a la Figura 14, otra posible realización del nodo de comunicación inalámbrica 131 de la Figura 1 se muestra como el nodo de comunicación inalámbrica 1400. El nodo de comunicación inalámbrica 1400 comprende un solo módulo etiquetado como "Módulo D". El Módulo D comprende la unidad de banda base o unidad digital 1401 que ejecuta el protocolo de nivel de capa física que incluye modulación/demodulación digital (módem) y otros protocolos de capa superior como la capa MAC, etc. La unidad de banda base 1401 interactúa con otros nodos de la red de comunicación que son externos al nodo de comunicación inalámbrica 1400 a través de un medio cableado.

El Módulo D también incluye la unidad RF 1402, que, entre otras cosas, procesa señales de frecuencia intermedia (IF) y define el rango de frecuencia de las señales de radio que se pueden transmitir o recibir con el Módulo D. La unidad RF 1402 es capaz de operar en un amplio rango de frecuencias (por ejemplo, frecuencias de banda de 5 Ghz que van desde 5 Ghz a 6 Ghz).

Además, como se muestra, el Módulo D también comprende la unidad de antena 1403 que realiza la transmisión y recepción de señales de radio por aire. La unidad de antena 1403 es capaz de transmitir y recibir un haz de señales extremadamente estrecho. La unidad de antena 1403 se puede construir con conjuntos de elementos de antena unidimensionales o bidimensionales que tienen excelentes propiedades para controlar la direccionalidad de las señales de radio usando formación de haz y pueden propagarse incluso en un entorno sin visibilidad directa. El módulo D, con la ayuda de la unidad de antena 1403, es capaz de establecer enlaces punto a multipunto con una torre capaz de realizar haces masivos MIMO (múltiples entradas, múltiples salidas). En una realización, el Módulo D puede diseñarse y fabricarse, al menos en parte, al usar ASIC (Circuito Integrado Específico de la Aplicación) y una unidad de RF integrada denominada RFIC.

Con referencia a la Figura 15, se muestra un ejemplo de varios Módulos D conectados a una torre 1500. Específicamente, el nodo de comunicación inalámbrica 1501 que aloja un Módulo D descrito anteriormente, está conectado a la torre 1500 a través de un enlace de haz MIMO masivo 1510, que puede ser con y sin línea de visión, el nodo de comunicación inalámbrica 1502 que aloja un Módulo D descrito con anterioridad, está conectado a la torre 1500 a través de un enlace de haz MIMO masivo 1520 que puede ser tanto con línea de visión como sin línea de visión, y el nodo de comunicación inalámbrica 1503 que aloja un Módulo D descrito anteriormente, está conectado a la torre 1500 a través de un enlace de haz de MIMO masivo 1530 que puede ser tanto con línea de visión como sin línea de visión. La torre 1500 está equipada con un módulo Massive MIMO que puede crear múltiples enlaces bidireccionales de haz estrecho simultáneamente en todas las direcciones con un área de cobertura de 360 grados. En una realización, la torre 1500 puede operar en la banda de 5 Ghz que incluye frecuencias que van desde 5.000 Mhz a 6.000 Mhz. En otras realizaciones, la torre 1500 y los nodos de comunicación inalámbrica asociados 1501, 1502 y 1503 pueden operar dentro de una banda de frecuencia diferente.

Se debe entender que, mientras que la Figura 15 muestra solo una torre y tres nodos de comunicación inalámbrica que alojan el Módulo D en la red, una red determinada puede tener múltiples torres similares a la torre 1500 y cada una de estas torres puede conectarse a una gran cantidad de nodos de comunicación inalámbrica que alojan a otros módulos.

De acuerdo con la presente divulgación, la ruta que toma un paquete particular desde un origen hasta un destino puede seleccionarse dinámicamente en base a factores que incluyen, pero no están limitados a la calidad del enlace, la carga, la latencia, etc. Por ejemplo, con referencia a la Figura 16, se muestra el sistema de comunicación 1600 que es similar al sistema de comunicación 100 y tiene todos los componentes descritos en el contexto de la Figura 1. Además, el sistema 1600 de la Figura 16 incluye una torre 1610 que es similar a la torre 1500 descrita en el contexto de la Figura 15. En contraste con el sistema de comunicación 100 en la Figura 1, los nodos de comunicación inalámbrica 131, 132, 133, 134 y 135 alojan un Módulo D adicional además del Módulo A/Módulo B o Módulo C que permite que estos nodos de comunicación inalámbrica establezcan opcionalmente enlaces bidireccionales con las características descritas en el contexto de las Figuras 14-15 con la torre 1610 utilizando capacidades masivas de formación de haces MIMO. Dichos enlaces etiquetados como 1601, 1602, 1603, 1604 y 1605 pueden funcionar tanto en un entorno de línea de visión como sin línea de visión y pueden proporcionar una ruta de comunicación alternativa a los nodos de comunicación inalámbrica 131, 132, 133, 134 y 135 en un evento en el que los enlaces punto a punto o punto a multipunto, que conectan un nodo de comunicación inalámbrica a un nodo de comunicación inalámbrica par para formar una red de malla, fallan o experimentan una degradación del rendimiento debido a varios motivos, que incluyen, pero no están limitados a cambios en la línea de visión del enlace de ondas milimétricas entre dos nodos de comunicación inalámbrica.

En la Figura 16, solo se muestra una torre (es decir, la torre 1610) capaz de realizar comunicaciones masivas MIMO punto a multipunto, conectada a cinco nodos de comunicación inalámbrica 131-135. Sin embargo, debe entenderse que un sistema de comunicación también puede tener más de una torre, cada una conectada a múltiples nodos de comunicación inalámbrica diferentes que alojan otros módulos.

En áreas dentro del área de cobertura de la torre 1500 (y otras torres del mismo tipo), una red de comunicación determinada puede comenzar inicialmente de manera punto a multipunto, donde la torre 1500 (y otras torres del mismo tipo) proporcionan acceso a clientes individuales utilizando sub haces masivos punto-multipunto MIMO de 6 Ghz. Posteriormente, los nodos en la red de comunicación dada pueden conectarse de manera oportunista con otros nodos usando módulos regulares (por ejemplo, Módulo A/Módulo B/Módulo C) en presencia de línea de visión. De esta manera, la red de comunicación dada puede evolucionar a una red de malla con conexión punto a punto y punto a multipunto entre nodos, además de que cada nodo de comunicación tenga una ruta directa (sin línea de visión) a la torre 1500 (y otras torres del mismo tipo) que caen dentro del área de cobertura.

Un experto en la técnica apreciará que una ruta que toma un paquete determinado desde un origen hasta un destino en esta red puede optimizarse considerando varios factores, incluidos la latencia, la congestión, la confiabilidad, etc.

Un experto en la técnica también apreciará que una red de comunicación dada puede agregar más tarde hogares

semilla (por ejemplo, hogares semilla 111 y 115 en la Figura 1) junto con puntos de acceso de torre/fibra 101 y 102 para proporcionar una red de retorno alternativo en función de las necesidades.

En otra realización, en lugar de proporcionar una capacidad de red de punto a multipunto de MIMO masiva utilizando una torre terrestre, la capacidad de MIMO masiva de punto a multipunto para redes de nodos de comunicación inalámbrica también puede ser proporcionada por un satélite, por ejemplo, un satélite de órbita terrestre baja (LEO). Por ejemplo, con referencia a la Figura 17, se muestra el sistema de comunicación 1700 que es similar al sistema de comunicación 100 y tiene todos los componentes descritos en el contexto de la Figura 1. Además, el sistema 1700 de la Figura 17 incluye un satélite 1710 que es capaz de transmitir y recibir MIMO masivamente en frecuencias que incluyen, pero no están limitados a 5-6 Ghz, similar a la torre 1500 descrita en el contexto de la Figura 15. En contraste con el sistema de comunicación 100 en la Figura 1, los nodos de comunicación inalámbrica 131, 132, 133, 134 y 135 alojan un Módulo D adicional (además del Módulo A/Módulo B o Módulo C) que permite que estos nodos de comunicación inalámbrica establezcan opcionalmente enlaces bidireccionales con las características descritas en el contexto de las Figuras 14-15 con el satélite 1710 que usa capacidades masivas de formación de haces MIMO. Dichos enlaces etiquetados como 1701, 1702, 1703, 1704 y 1705 pueden proporcionar una ruta de comunicación alternativa a los nodos de comunicación inalámbrica 131, 132, 133, 134 y 135 en un evento donde los enlaces punto a punto o punto a multipunto que conectan un nodo de comunicación inalámbrica a otro nodo de comunicación inalámbrica para formar una red de malla falla o experimenta una degradación del rendimiento debido a varias razones que incluyen, pero no están limitadas a cambios en el perfil de la línea de visión del enlace de ondas milimétricas entre dos nodos de comunicación inalámbrica.

En la Figura 17, solo se muestra un satélite 1710 capaz de realizar comunicaciones masivas MIMO punto a multipunto conectado a cinco nodos de comunicación inalámbrica 131-135. Sin embargo, debe entenderse que un sistema de comunicación también puede tener más de un satélite, cada uno conectado a múltiples nodos de comunicación inalámbrica diferentes que alojan otros módulos.

En otra realización, algunos de los nodos de comunicación inalámbrica que brindan funcionalidad de red de retorno pueden estar equipados con múltiples módulos de comunicación que permiten que estos nodos de comunicación inalámbrica proporcionen datos de red de retorno de transporte entre un usuario final y una red usando múltiples tipos diferentes de enlaces de comunicación. Por ejemplo, con referencia a la Figura 18, se muestra el sistema de comunicación 1800 que es similar al sistema de comunicación 100 y tiene todos los componentes descritos en el contexto de la Figura 1. Además, el sistema 1800 de la Figura 18 incluye un satélite 1810 que es capaz de transmitir y recibir MIMO masivamente en frecuencias que incluyen, pero no están limitadas a, 5-6 Ghz, similar a la torre 1500 descrita en el contexto de la Figura 15. El sistema 1800 también incluye una torre de cable MIMO masiva 1820 que también es similar a la torre 1500 descrita en el contexto de la Figura 15.

En contraste con el sistema de comunicación 100 en la Figura 1, los nodos de comunicación inalámbrica 131, 132, 133, 134 y 135 alojan un Módulo D adicional (además del Módulo A/Módulo B o Módulo C) que permite que estos nodos de comunicación inalámbrica establezcan opcionalmente enlaces bidireccionales con las características descritas en el contexto de las Figuras 14-15 con el satélite 1810 y la torre 1820 se usan capacidades masivas de formación de haces MIMO. Dichos enlaces etiquetados como 1801, 1802, 1803 y 1804 pueden proporcionar una ruta de comunicación alternativa a los nodos de comunicación inalámbrica 131, 132, 133, 134 y 135 en un evento donde los enlaces punto a punto o punto a multipunto que conectan un nodo de comunicación de una red inalámbrica a otro nodo de comunicación inalámbrica para formar una red de malla, falla o experimenta una degradación del rendimiento debido a varios motivos, que incluyen, pero no están limitados a cambios en el perfil de la línea de visión de un enlace de ondas milimétricas entre dos nodos de comunicación inalámbrica. Específicamente, el satélite 1810 en la Figura 18 está conectado al hogar semilla 115 que utiliza el nodo de comunicación inalámbrica 135 a través del enlace 1804 y al hogar de anclaje 112 que utiliza el nodo de comunicación inalámbrica 132 a través del enlace 1803. El hogar semilla 115 tiene así múltiples opciones para enrutar el tráfico de red de retorno a la red.

En una realización, el hogar semilla 115 que utiliza el nodo de comunicación inalámbrica 135 en un momento dado, puede elegir un enlace satelital 1804 para transportar datos de red de retorno y, en base a algún desencadenante en un momento diferente, indicar al módulo de comunicación inalámbrica 135 que cambie los enlaces para la transmisión de datos de red de retorno desde 1804 a un enlace basado en ondas milimétricas punto a punto o punto a multipunto (por ejemplo, banda E) acoplado al punto de acceso de torre/fibra 102. Dicho desencadenante puede incluir latencia, ancho de banda, requisitos de pérdida de paquetes, etc. de una aplicación en particular.

La Figura 18 también muestra un hogar de usuario final 113 donde el nodo de comunicación inalámbrica 133 transporta los datos que utiliza el nodo de comunicación inalámbrica 132 del hogar de anclaje 112. Se muestra que el nodo de comunicación inalámbrica 132 tiene múltiples opciones para transportar los datos del usuario final del hogar 113, incluida la conexión de enlace satelital directo que utiliza 1803, la conexión de enlace satelital indirecto que utiliza 1804 a través del nodo de anclaje 135, o mediante conexiones punto a punto/punto multipunto que utilizan ondas milimétricas mediante las torres 101 o 102 a través de hogares semilla 111 y 115 respectivamente, entre otras opciones.

En una realización, el nodo de comunicación inalámbrica 132 puede cambiar dinámicamente su enlace de conexión para enrutar datos hacia y desde el hogar del usuario final 113. Por ejemplo, debido a algún desencadenador similar a los desencadenadores descritos anteriormente, el nodo de comunicación inalámbrica 132 puede cambiar dinámicamente del enlace satelital 1803 al enlace satelital 1804 a través del nodo de comunicación inalámbrica 135 para transportar datos hacia y desde el hogar del usuario final 113.

Debe entenderse que los enlaces 1803 y 1804 pueden ser parte del mismo haz MIMO masivo o los enlaces 1803 y 1804 pueden ser parte de diferentes haces MIMO masivos. También debe entenderse que los enlaces de satélite 1802 y 1804 pueden usar el mismo rango de frecuencia de comunicaciones o pueden operar en diferentes rangos de frecuencia. Además, aunque la Figura 18 muestra solo un satélite (es decir, el satélite 1810) capaz de realizar comunicaciones masivas MIMO punto a multipunto que está conectado a dos nodos de comunicación inalámbrica 132 y 135, debe entenderse que un sistema de comunicación también puede tener más de un satélite, cada uno conectado a múltiples nodos de comunicación inalámbrica diferentes que alojan otros módulos.

Como se muestra además en la Figura 18, la torre 1820 está conectada al hogar semilla 111 usando el nodo de comunicación inalámbrica 135 a través del enlace 1804 y al hogar de anclaje 112 que utiliza el nodo de comunicación inalámbrica 131 a través del enlace 1801 y al hogar de anclaje 114 que utiliza el nodo de comunicación inalámbrica 134 a través del enlace 1802. Esto proporciona al hogar de anclaje 114 opciones para enrutar paquetes a la red de múltiples maneras, incluyendo (a) a través de enlaces 152 o 155 basados en ondas milimétricas punto a punto o punto a multipunto, y (b) a través de enlaces basados en MIMO masivos directos con la torre 1820 a través del enlace 1802.

De manera similar, el hogar semilla 111 tiene múltiples opciones para enrutar el tráfico de red de retorno a la red. En una realización, el hogar semilla 111 que usa el nodo de comunicación inalámbrica 131 en un momento dado puede seleccionar un enlace satelital 1801 para transportar datos de red de retorno y, en base a algún desencadenante en un momento diferente, instruir al módulo de comunicación inalámbrica 131 para que cambie los enlaces para la transmisión de datos de red de retorno desde 1801 a un enlace punto a punto o punto a multipunto basado en ondas milimétricas (por ejemplo, banda E) acoplado al punto de acceso de torre/fibra 101. Dicho desencadenante puede incluir latencia, ancho de banda, requisitos de pérdida de paquetes, etc. de una aplicación en particular.

En la Figura 18, solo se muestra una torre (es decir, la torre 1820) capaz de realizar comunicaciones masivas MIMO punto a multipunto conectada a dos nodos de comunicación inalámbrica 131 y 134. Sin embargo, debe entenderse que un sistema de comunicación también puede tener un número diferente de torres MIMO masivas, cada una conectada a múltiples nodos de comunicación inalámbrica diferentes que alojan otros módulos.

En otra realización, uno o más nodos de comunicación inalámbrica descritos anteriormente y discutidos con respecto a las Figuras 1-18 también puede ser un nodo de computación perimetral al alojar un procesador (separado o compartido), memoria, contenido digital, software y almacenamiento, entre otros componentes para la computación y otras operaciones requeridas para la computación perimetral, además de la capacidad de conexión en red de alta velocidad y baja latencia que ya se ha descrito anteriormente. Esto permite que un sistema de comunicación dado brinde servicios en la nube de manera distribuida más cerca de un usuario final, ya que los nodos de comunicación inalámbrica se distribuyen a través de la red y brindan una interfaz entre la red y un usuario final. Esta unidad de memoria puede almacenar una copia de contenidos digitales locales y, además, puede almacenar porciones de contenido digital que no son locales. Los contenidos digitales no locales, entre otras cosas, pueden incluir contenidos digitales pertenecientes a otros nodos. Esto proporciona redundancia de contenido en un sistema de comunicación. Por lo tanto, cuando un usuario final de un sistema de comunicación solicita contenido digital, este mecanismo de computación perimetral permite cumplir una solicitud de diversas maneras, incluida una solicitud procesada por un nodo local y/o un nodo remoto en base a varios criterios, que incluyen, pero no están limitados a la latencia, la congestión de la red, etc. de la aplicación que realiza la solicitud.

En otra realización, uno o más nodos de comunicación inalámbrica descritos anteriormente y discutidos con respecto a las Figuras 1-18 puede ser adicionalmente un nodo de cadena de bloques alojando una computadora que comprende al menos un procesador, memoria, contenido digital, software, etc., que está conectado a una red de cadena de bloques que comprende un cliente que es capaz de almacenar, validar y/o retransmitir transacciones además de la capacidad de la red de alta velocidad y baja latencia que ya se ha descrito anteriormente. Esto permite que el sistema de comunicación y sus nodos descritos en esta divulgación y discutidos en el contexto de las Figuras 1-18 para proporcionar una plataforma ideal para bases de datos de cadenas de bloques, bases de datos de cadenas de bloques empresariales, cadenas de bloques autorizadas/privadas, híbridas y otros tipos similares de bases de datos, dado que, (1) el espacio de almacenamiento de archivos/datos/registros está inherentemente distribuido a medida que los nodos de comunicación inalámbrica se distribuyen a través del área de cobertura geográfica y (2) la comunicación de baja latencia entre los nodos y a través de la red debido a los enlaces inalámbricos de alta velocidad, permiten una latencia mejorada y mejoran el rendimiento de las transacciones de las bases de datos basadas en cadenas de bloques.

En otra realización preferente, uno o más nodos de comunicación inalámbrica pueden actuar adicionalmente como nodos de almacenamiento de datos distribuidos basados en cadenas de bloques agregando capacidad de almacenamiento dedicada o compartida a estos nodos. Una ventaja clave de implementar el almacenamiento de

datos distribuido basado en cadenas de bloques en un sistema de comunicación determinado y los nodos de comunicación inalámbrica descritos en esta divulgación es que los nodos de almacenamiento están inherentemente distribuidos y, debido a la baja latencia y el alto ancho de banda de los enlaces de comunicación inalámbrica entre los nodos de comunicación descrito anteriormente y la proximidad de los nodos de ubicación de almacenamiento a un usuario final, el acceso al contenido de datos puede ser más rápido en comparación con otros enfoques.

En concordancia con la presente divulgación, el equipo de nodo de red de malla inalámbrica (módulos de enlace punto a punto, módulos de enlace punto a multipunto, múltiples módulos de enlace punto a punto, combinación de enlaces de múltiples módulos punto a punto y punto a multipunto, antenas para celdas celulares pequeñas/CPE y equipos de ondas milimétricas, cable, soportes, cajas de suministro de energía, etc.) que se despliega e instala en la azotea de una infraestructura privada, como una casa unifamiliar, puede ser financiada por el consumidor. Por ejemplo, en el caso de que un cliente cumpla con un cierto umbral de puntuación de crédito (o cualquier otro criterio de verificación de crédito), el equipo requerido para agregar un nodo de malla de ondas milimétricas en las instalaciones del cliente (es decir, para agregar al cliente a la red de malla inalámbrica) y proporcionar un servicio de Internet de alta velocidad puede ser financiado por un banco en nombre del cliente, y el cliente puede acordar con el banco financiador reembolsar el monto financiado por el banco durante un período de tiempo determinado mediante pagos periódicos (por ejemplo, mensuales) en base a los términos y condiciones del acuerdo. De esta manera, el cliente se convierte en propietario del equipo (un nodo de red de malla inalámbrica) una vez que el monto total financiado se entrega al banco financiador. Este cliente puede, en una realización, arrendar el equipo de nodo de red de malla inalámbrica instalado en su propiedad al operador de red de malla inalámbrica que instaló el equipo de red de malla inalámbrica en su propiedad y proporcionar servicio de datos de Internet de alta velocidad. En otra realización, este cliente puede volver a arrendar el equipo del nodo de la red inalámbrica en malla instalado en su propiedad al operador de la red inalámbrica en malla que instaló el equipo de la red inalámbrica en malla en su propiedad y proporcionar el servicio de datos de Internet de alta velocidad por un período determinado (por ejemplo, 18 meses, 24 meses, 36 meses, etc.).

En algunos casos, es posible que se requiera que este cliente arriende el equipo solo al operador que originalmente instaló el equipo en la ubicación del cliente y proporcionó servicios de datos de Internet de alta velocidad. En otros casos, este cliente puede arrendar el equipo a cualquier operador de red inalámbrica de Internet. En otro caso, el arrendamiento posterior del equipo a un operador que no sea el operador que instaló originalmente el equipo de red en la ubicación del cliente, solo puede ocurrir con el permiso del operador de la red inalámbrica de Internet que instaló originalmente ese equipo en la ubicación del cliente. En otro caso, dicho arrendamiento a un operador de red inalámbrica de Internet diferente solo puede ocurrir después del vencimiento del plazo del arrendamiento con el operador original de la red inalámbrica de Internet.

Para un operador de red de Internet inalámbrica que construya y opere una red de malla inalámbrica, el tipo de despliegue de red basada en financiamiento de clientes descrito anteriormente se convierte en un mecanismo de implementación de infraestructura basado en contratación colectiva o financiación colectiva, donde en lugar de una o unas pocas entidades grandes, se obtiene CAPEX de un grupo de personas que, en algunos casos, son clientes del operador de la red de malla inalámbrica. Dichos clientes pueden obtener servicio de datos de Internet de alta velocidad del operador de la red de malla inalámbrica (que opera con módulos ptp/ptmp, otros nodos y equipos de comunicación y diversas variaciones discutidas anteriormente en esta divulgación) a una tarifa subsidiada/con descuento. En ciertos casos, dichos clientes pueden recibir dos facturas separadas periódicamente, una por el servicio de datos de Internet de alta velocidad y otra por el financiamiento del equipo por parte del banco. En otro caso, los clientes pueden obtener una sola factura consolidada de un operador de malla inalámbrica.

En algunos casos, todos los clientes de un operador de malla inalámbrica pueden basarse en el financiamiento de consumo explicado anteriormente en un vecindario o mercado donde el operador de malla inalámbrica ofrece su servicio de datos de Internet de alta velocidad. En otros casos, los clientes de la red de malla inalámbrica en un mercado o vecindario pueden financiarse a través de una variedad de formas diferentes, incluida la financiación del operador, donde el operador de malla inalámbrica paga por el equipo del nodo de malla inalámbrica, financiado a través de una agrupación con una utilidad privada o servicio que tiene un tamaño de mercado relativamente más pequeño (por ejemplo, seguridad en el hogar/automatización, energía solar, etc.) en comparación con el tamaño del mercado de Internet de alta velocidad donde se ofrece un servicio combinado y el operador de malla inalámbrica utiliza el marketing/comisiones de ventas recibidas de la utilidad privada o del proveedor del servicio para financiar el equipo del nodo de malla inalámbrica, a través de los ingresos generados por la ejecución de servicios basados en la plataforma de cadena de bloques en los nodos de la red de malla inalámbrica junto con el financiamiento basado en el consumidor/cliente que se explicó anteriormente en esta divulgación.

Además, de acuerdo con la presente divulgación, el equipo de comunicaciones que incluye varios tipos de módulos ptp/ptmp, celdas pequeñas celulares, etc. que se describieron anteriormente se puede usar para establecer múltiples enlaces punto a punto y/o punto a multipunto se encuentran ambos nodos de red de un enlace inalámbrico, uno desde donde se origina un enlace y el segundo desde donde termina un enlace (en general, los nodos pueden cambiar roles dinámicamente entre el originador del enlace y el terminador del enlace en base a la dirección del flujo de datos), en las diferentes ubicaciones de los clientes y brindando servicio de internet de alta velocidad a los habitantes de la propiedad donde se despliega e instala el nodo de red de malla inalámbrica. En algunos casos, uno de los dos nodos del enlace puede estar en un lugar donde el equipo desplegado proporciona servicio de Internet de

alta velocidad a los habitantes de la propiedad en ese lugar. En otros casos, ambos nodos del enlace pueden estar en un lugar donde el equipo desplegado no brinda servicio de Internet de alta velocidad a los habitantes de la propiedad en ese lugar.

Debe entenderse que la longitud de los enlaces de comunicación de una red de malla inalámbrica descrita anteriormente puede variar. Por ejemplo, la longitud de los enlaces de comunicación de una red de malla inalámbrica establecida con la ayuda de los diversos módulos y equipos de comunicación descritos anteriormente puede ser inferior a 300 metros en promedio. Alternativamente, la longitud de los enlaces de comunicación de una red de malla inalámbrica también puede ser mayor a 300 metros en promedio.

De acuerdo con la presente divulgación, se divulgan además en la presente memoria módulos de comunicación que emplean RF directa (microondas/ondas milimétricas) a óptica y directa de óptica a RF (microondas/ondas milimétricas). En una implementación de ejemplo, se pueden usar los fotodetectores de alta velocidad que traducen directamente una señal óptica en una señal de microondas. Un experto en la técnica apreciará que se pueden utilizar otros enfoques para la conversión óptica directa a RF. De manera similar, una antena dipolo acoplada directamente a un modulador plasmónico permite la conversión directa del mundo RF al mundo óptico. Un experto en la técnica apreciará que se pueden utilizar diferentes enfoques para la conversión directa de señales de RF a señales ópticas. Estos módulos de conversión directa de óptico a RF y de RF a óptico eliminan la necesidad del uso de módulos de analógico al digital y de digital a analógico (ADC/DAC) que requieren las implementaciones de módem tradicionales. Estos componentes de señal mixta (es decir, ADC/DAC) consumen una gran cantidad de energía y también aumentan el costo ya que se requiere que cada antena esté conectada a módulos ADC/DAC separados.

La Figura 19 muestra un módulo de comunicación en base a una conversión directa de RF a óptico y directa de óptico a RF. El módulo de comunicación de la Figura 19 contiene un único submódulo directo de RF a óptico y un único submódulo óptico a RF. Sin embargo, el módulo de comunicación de la Figura 19 puede alojar cualquier número entero de submódulos directos de RF a óptico mayor o igual a cero y cualquier número entero de submódulos directos de óptico a RF mayor o igual a cero. En una realización de ejemplo, esta tecnología de conversión directa de RF a óptica y directa de óptica a RF puede implementarse en un circuito integrado (IC) o chip.

En base a la explicación anterior con respecto al módulo de comunicación de ejemplo de la Figura 19, en una realización de ejemplo, el núcleo de la red de malla inalámbrica puede ser un enrutador/conmutador alámbrico o óptico alámbrico donde cada puerto se asigna, ya sea a través de una conexión directa o a través de una línea óptica/alámbrica, a una conversión directa individual Óptico a RF o chip de RF a óptico que luego enfoca, tanto en el lado del receptor como en el del transmisor, toda la energía de RF en un haz estrecho de alta ganancia que puede ser tanto fijo como orientable. En una realización de ejemplo, se podría usar un enrutador/conmutador estándar de 8 puertos x 10G, con un puerto que se usa como una caída de datos al edificio/sitio local y los otros 7 puertos se conectan a través de un cable de fibra óptica a varios puntos extremos de óptico a RF o de RF a óptico que están ubicados en múltiples ubicaciones externas (y/o internas) distribuidas en/dentro del edificio/sitio como se muestra en la Figura 20. Un experto en la técnica comprenderá que el enrutador/conmutador también puede tener un número diferente de puertos.

Estas múltiples ubicaciones distribuidas se pueden determinar de antemano en base a el uso de algoritmos de optimización de potencial de conexión, donde el algoritmo comprende la relación entre la colocación del punto extremo y los socios de conexión potenciales. Además, los haces PtP individuales se pueden dirigir dinámicamente entre posibles socios de conexión PtP para facilitar los algoritmos de optimización de ruta y/o para responder a la congestión de la red y/o fallas en los elementos de la red. En una realización, estos puntos extremos de óptico a RF o de RF a óptico que establecen haces ptp/ptmp se pueden colocar debajo de los aleros de un techo y en otras realizaciones, estos puntos finales se pueden colocar encima de los aleros de un techo. En algunas otras realizaciones, algunos de los puntos finales de óptico a RF o de RF a óptico se pueden colocar debajo de los aleros de un techo y algunos se pueden colocar sobre los aleros de un techo y la ubicación real puede depender del perfil de la línea de visión del lugar/sitio.

Debe entenderse que el módulo de comunicación de ejemplo discutido en el contexto de las Figuras 19-20 se puede implementar en otros módulos de comunicación que se analizaron en el contexto de las Figuras 1-18. Por ejemplo, los módulos discutidos en el contexto de las Figuras 1-18 puede tener tecnología directa de RF a óptica y directa de óptica a RF integrada de modo que se puedan establecer enlaces de haz estrecho, haz extremadamente estrecho y/o ptp/ptmp/múltiples ptp sin necesidad de ADC/DAC, circuito de señal mixta que consume una gran cantidad de energía y requiere ser conectado individualmente con cada antena.

De acuerdo con la presente divulgación, ahora se discutirá una versión modificada de los nodos de comunicación discutidos anteriormente para construir una red de malla inalámbrica. En una realización, un nodo de comunicación puede ser un equipo de radio flexible de ondas milimétricas capaz de establecer múltiples enlaces punto a punto y/o punto a multipunto que operan sobre frecuencias de ondas milimétricas y puede comprender 3 submódulos diferentes: (1) módulo digital/de red, (2) módulo de radio punto a punto y (3) módulo de radio punto a multipunto. Un módulo de red/digital es responsable de interconectar la caja de radio de ondas milimétricas (nodo de comunicación) anterior con una red de retorno o de fibra. Específicamente, proporciona capacidad de conmutación para dirigir el

tráfico entre los módulos de radio punto a punto o punto a multipunto de la caja de radio de ondas milimétricas (nodo de comunicación) y la red de fibra o retorno. La conectividad entre uno o varios módulos de radio punto a punto y/o punto a multipunto de la caja de radio de ondas milimétricas y la red de retorno o de fibra, se puede basar en una variedad de interfaces que incluyen, pero no están limitadas a, interfaces de bus PCI/PCle y ethernet.

- 5 En una realización, PCI/PCle se puede usar cuando una radio punto a punto o punto a multipunto que necesita conectarse, está incluida en la misma caja con un módulo digital/de red y la separación entre el módulo digital/red y el módulo punto a punto está limitado a unas pocas pulgadas, como 3-6 pulgadas o menos.

- 10 En una realización, un módulo digital/de red proporciona conectividad a un único módulo punto a punto o punto a multipunto a través de una única interfaz de bus PCI/PCle. En una realización diferente, un módulo digital/de red proporciona conectividad a 3 módulos punto a punto o 3 punto a multipunto o una combinación de 3 módulos punto a punto/punto a multipunto, a través de tres interfaces de bus PCI/PCle separadas. En otra realización, un módulo de red/digital proporciona conectividad a N módulos punto a punto o N módulos punto a multipunto o una combinación de N módulos punto a punto/punto a multipunto a través de N interfaces de bus PCI/PCle separadas, donde N es un número entero positivo mayor que cero.

- 15 Se puede usar una interfaz ethernet, como un puerto RJ45 compatible con varios gigabits, que incluyen, pero no limitados a, 1 Gb, 2,5 Gb, 5 Gb, 10 Gb, etc., para conectar módulos de radio punto a punto o punto a multipunto con un módulo digital/de red. En una realización, se puede usar una interfaz ethernet cuando la radio punto a punto o punto a multipunto que necesita conectarse no está incluida en la misma caja con un módulo digital/de red y la separación entre el módulo digital/red y el módulo de punto a punto es mayor que 3-6 pulgadas. En algunas realizaciones, la longitud puede ser de 10 metros o más.

- 20 En una realización, un módulo de red/digital brinda la capacidad de conectar hasta 4 radios punto a punto/punto a multipunto o hasta 3 radios punto a punto/punto a multipunto y una celda pequeña sobre 4 interfaces ethernet. En una realización diferente, un módulo digital/de red brinda la capacidad de conectar hasta N radios punto a punto/punto a multipunto o hasta N-1 radio punto a punto/punto a multipunto y una pequeña celda sobre N interfaces ethernet, donde N es un número entero positivo mayor que cero. El módulo de red/digital también contiene una interfaz SFP/SFP+ o cualquier otra interfaz para conectar el módulo de red/digital con una red de fibra/retorno.

- 25 El módulo de radio punto a multipunto del nodo de comunicación discutido anteriormente es responsable de establecer enlaces bidireccionales basados en ondas milimétricas punto a multipunto para conectarse a radios de ondas milimétricas pares en la red. El módulo de radio punto a multipunto comprende un submódulo de banda base y un módulo de RF. El módulo de banda base maneja el procesamiento de banda base y, entre otros aspectos, es responsable del procesamiento de banda base relacionado con la formación de haces. El módulo de RF contiene un conjunto de antenas en fase que funciona junto con el módulo de banda base para generar haces de ondas milimétricas de punto a multipunto.

- 30 El módulo de radio punto a punto del nodo de comunicación descrito anteriormente es responsable de establecer enlaces bidireccionales basados en ondas milimétricas punto a punto para conectarse a una radio de ondas milimétricas del mismo nivel en la red. El módulo de radio punto a punto comprende un submódulo de banda base, un módulo de RF y un módulo de estrechamiento del haz. El módulo de banda base maneja el procesamiento de banda base y, entre otros aspectos, es responsable del procesamiento de banda base relacionado con la formación de haces. El módulo de RF contiene un conjunto de antenas en fase que trabajan en conjunto con el módulo de banda base para generar un haz de ondas milimétricas de punto a punto. Un módulo de estrechamiento de haz es responsable de estrechar el haz, enfocando la mayor parte de la energía de la señal radiada en la dirección deseada y bajando los lóbulos laterales de la antena para minimizar la interferencia en una red de malla.

- 35 En una realización, el módulo de estrechamiento del haz puede ser una antena de lente integrada con un módulo de RF. En otra realización, el módulo de estrechamiento del haz puede ser una antena parabólica integrada con un módulo de RF. En otra realización más, el módulo de estrechamiento del haz podría ser un módulo que no sea una lente o una antena parabólica y basarse en un enfoque diferente para estrechar el haz que se origina en un módulo de RF basado en un conjunto en fase.

- 40 Con referencia a la Figura 21, se muestra un diagrama de bloques lógicos del módulo de comunicación descrito anteriormente. Como se explicó anteriormente, un nodo de radio flexible de ondas milimétricas contiene dentro de un gabinete (generalmente al aire libre) un módulo de red/digital que tiene una unidad de procesamiento de red y está configurado para proporcionar operaciones de conmutación de red entre la interfaz de red de retorno de fibra óptica y el módulo de radio punto a punto o punto a multipunto, conectados a través de una interfaz PCI/PCle o a través de puertos ethernet multigigabit. Un módulo de radio flexible de ondas milimétricas también contiene dentro del gabinete 3 radios punto a punto o punto a multipunto. Para proporcionar flexibilidad en el despliegue de la red de malla, también se puede conectar un nodo a radios ptp/ptmp externos a través de puertos ethernet. Un nodo puede funcionar con energía solar o puede alimentarse a través de la toma de corriente eléctrica del hogar donde está instalado el nodo. La Figura 21 también muestra que este nodo de radio flexible de ondas milimétricas solo puede necesitar una única unidad de procesamiento de red (NPU) que controle todos los módulos de RF punto a punto o punto a multipunto, ya sea conectados a través de una interfaz PCI/PCle o a través de una multiinterfaz gigabit

ethernet. Por lo tanto, este nodo de radio flexible de ondas milimétricas de ejemplo elimina la necesidad de usar una NPU dedicada para cada módulo RF ptp/ptmp.

La Figura 22 muestra un diagrama de bloques de un módulo de radio ptmp del nodo de comunicación descrito anteriormente. Como se muestra, este módulo de radio contiene un módulo de banda base y un módulo de RF que tiene el conjunto de antenas de fase para proporcionar la capacidad de formación de haces.

La Figura 23 muestra un diagrama de bloques del módulo de radio ptp del nodo de comunicación discutido anteriormente. Este módulo de radio contiene un módulo de banda base, un módulo de RF que tiene el conjunto de antenas de fase para brindar capacidad de formación de haces, junto con un módulo de estrechamiento de haz. El módulo de estrechamiento del haz, en base a varias técnicas discutidas anteriormente, estrecha el haz generado por el conjunto de antenas de fase del módulo de RF.

Con referencia a la Figura 24, varios casos de uso diferentes del nodo de comunicación descritos anteriormente y explicados en el contexto de las Figuras 21-23 se muestran. La Figura 24 muestra una red de malla que comprende 5 nodos de comunicación 3700. Cada uno de los nodos de comunicación 3700 puede ser un nodo de comunicación flexible de ondas milimétricas que se ha comentado anteriormente.

En el "Sitio A" de la red de malla, un nodo de comunicación 3700 puede ser alimentado por energía solar y montado en el poste. Este nodo 3700 en el Sitio A puede tener 3 enlaces ptp generados por 3 módulos de radio ptp integrados con el módulo digital/de red. En el "Sitio B", un nodo de comunicación 3700 puede alimentarse con una toma de corriente eléctrica del hogar y puede tener un enlace ptp a través de un único módulo de radio ptp integrado y 2 enlaces ptmp a través de dos módulos de radio ptmp que no están integrados con un módulo digital/de red, sino conectado a través de la interfaz ethernet al nodo de comunicación. De manera similar, en el "Sitio C", un nodo de comunicación 3700 puede alimentarse con una toma de corriente eléctrica del hogar y puede tener dos enlaces ptp a través de dos módulos de radio ptp integrados y un módulo de radio ptmp integrado con un módulo de red/digital. En el "Sitio E", un nodo de comunicación 3700 puede alimentarse con una toma de corriente eléctrica del hogar y puede tener dos enlaces ptp a través de dos módulos de radio ptp integrados. Además, en el "Sitio D", un nodo de comunicación 3700 puede alimentarse con una toma de corriente eléctrica del hogar y puede tener dos enlaces ptp a través de dos módulos de radio ptp integrados y un módulo de radio ptmp integrado con el módulo de red/digital.

Con referencia a la Figura 25A, se muestra otro caso de uso del nodo de comunicación descrito anteriormente. En particular, la Figura 25A muestra un ejemplo de red de malla que incluye nodos de comunicación 3700 en los 5 sitios descritos anteriormente con respecto a la Figura 24, así como un nodo de comunicación adicional 3700 en el "Sitio A2". Al igual que el nodo de comunicación 3700 en el "Sitio A", el nodo de comunicación 3700 en el "Sitio A2" se puede montar en un poste (entre otras posibilidades).

En base a la divulgación anterior (por ejemplo, la descripción en relación con las Figuras 5-7, 9-11, 13 y 16-18), un experto en la técnica apreciará que cada nodo de comunicación 3700 en un sitio determinado puede tener la capacidad de comunicarse con muchos otros nodos de comunicación en muchos otros sitios. Por ejemplo, el nodo de comunicación 3700 en el "Sitio B" puede tener la capacidad de comunicarse con los respectivos nodos de comunicación 3700 en el "Sitio A" y el nodo de comunicación 3700 en el "Sitio A2". De manera similar, el nodo de comunicación respectivo 3700 en cada "Sitio C", "Sitio D" y "Sitio E" puede tener la capacidad de comunicarse con los respectivos nodos de comunicación 3700 tanto en el "Sitio A" como en el "Sitio A2".

Además, en base a la divulgación anterior (por ejemplo, la divulgación en relación con las Figuras 5, 11 y 18), un experto en la técnica apreciará que cada nodo de comunicación 3700 en un sitio determinado (por ejemplo, el nodo de comunicación 3700 en "Sitio B") puede tener la capacidad de cambiar dinámicamente su enlace de comunicación activo desde un primer nodo de comunicación 3700 en un primer sitio (por ejemplo, el nodo de comunicación 3700 en el "Sitio A") a un segundo nodo de comunicación 3700 en un segundo sitio (por ejemplo, el nodo de comunicación 3700 en el "Sitio A2") basado en algún desencadenador que es similar a los desencadenadores descritos anteriormente (por ejemplo, cambios en la condición del enlace, como un cambio de una ruta LOS a una ruta que no es LOS debido a un cambio en el entorno, mayor interferencia, instrucciones de capas superiores, latencia, ancho de banda y/o requisitos de pérdida de paquetes de una aplicación en particular, etc.).

Por ejemplo, en el escenario que se muestra en la Figura 25A, el nodo de comunicación respectivo 3700 en cada uno de los "Sitio B", "Sitio C", "Sitio D" y "Sitio E" puede configurarse inicialmente para comunicarse activamente con el nodo de comunicación 3700 en el "Sitio A" (que puede cumplir la función de enrutar el tráfico de red de retorno hacia y/o desde otros sitios). Sin embargo, en algún momento posterior, el nodo de comunicación 3700 puede cambiar dinámicamente su enlace de comunicación activo desde el nodo de comunicación 3700 en el "Sitio A" al nodo de comunicación 3700 en el "Sitio A2" (que también puede funcionar para enrutar el tráfico de red de retorno a y/o de otros sitios) debido a algún desencadenador similar a los desencadenadores descritos anteriormente. Tal escenario se muestra en la Figura 25B.

Debe entenderse que las Figuras 24-25 se describen de tal manera en aras de la claridad y la explicación y que las redes de malla de ejemplo descritas en las Figuras 24-25 también puede tomar varias otras formas. Por ejemplo, las redes de malla de ejemplo pueden incluir más o menos nodos de comunicación, y un nodo de comunicación dado

puede tomar varias otras formas y puede montarse de varias otras maneras y/o montarse también en varios otros objetos (por ejemplo, montado en un pedestal). Además, de acuerdo con la divulgación anterior, uno o más de los nodos de comunicación (por ejemplo, los nodos de comunicación 3700 en el "Sitio A" y el "Sitio A2") pueden montarse en un objeto que esté en o cerca de un punto de acceso de fibra. Además, las redes de malla de ejemplo

5

pueden tener varias configuraciones diferentes de módulos ptp o ptmp integrados o conectados a través de una interfaz ethernet y alimentados a través de varias opciones de energía diferentes.

Otro aspecto importante del nodo de comunicación 3700 es que los módulos de radio integrados pueden ser enchufables. En otras palabras, en base a un caso de uso específico, la cantidad y los tipos de módulos de radio integrados con un módulo digital/de red a través de la interfaz PCI/PCIe se pueden cambiar fácilmente conectando la

10

cantidad y el tipo deseados de módulos de radio con total flexibilidad en lugar de tener una configuración específica.

Hasta ahora, la versión modificada de los nodos de comunicación discutidos anteriormente y también descritos en el contexto de las Figuras 21-25 asume que los módulos punto a punto o punto a multipunto conectados a un módulo digital/de red con una NPU a través de una interfaz de alta velocidad (por ejemplo, PCI/PCIe/Thunderbolt) también están ubicados dentro de un mismo gabinete. Debe entenderse que los módulos punto a punto o punto a multipunto

15

conectados a un módulo digital/de red a través de una interfaz de alta velocidad, también pueden ubicarse fuera del módulo digital/de red con la NPU y dentro de una caja/gabinete independiente conectada a través de un cable exterior compatible con el protocolo de comunicación de alta velocidad PCI/PCIe/Thunderbolt al gabinete del módulo digital/de red.

Como un ejemplo, la Figura 26 muestra una versión modificada de una caja de radio flexible de ondas milimétricas , donde los módulos de RF punto a punto o punto a multipunto están ubicados fuera de un módulo de red/digital con gabinete NPU y dentro de una caja/gabinete independiente y conectados a través de un cable alámbrico para exteriores capaz de admitir una interfaz de comunicación de alta velocidad (por ejemplo, interfaz PCI/PCIe/Thunderbolt). Como se muestra, 3 módulos punto a punto o punto a multipunto están conectados a través de interfaces PCIe/Thunderbolt al módulo digital/de red con la NPU mediante un cable exterior compatible.

20

En general, debe entenderse que se puede conectar una cantidad N de módulos punto a punto o punto a multipunto en gabinetes independientes separados a través de un cable exterior compatible con PCIe/thunderbolt, donde N es un número entero mayor que cero. También debe entenderse que la longitud del cable exterior compatible con el protocolo de comunicación de alta velocidad, como PCIe/thunderbolt, depende del límite máximo definido por la tecnología. En una realización, el cable PCIe/thunderbolt puede tener una longitud de hasta 3 metros. En otras realizaciones, la longitud del cable exterior compatible con PCI/PCIe/thunderbolt puede ser inferior o superior a 3 metros.

25

30

En otra realización adicional de la presente divulgación, una red de malla inalámbrica puede incluir nodos de capacidad ultra alta, capaces de establecer enlaces de capacidad ultra alta (por ejemplo, enlaces de comunicación bidireccional punto a punto o punto a multipunto) utilizando un espectro de ondas milimétricas, que incluye, pero no están limitados a 28 Ghz, 39 Ghz, 37/42 Ghz, 60 Ghz (incluida la banda V) o frecuencias de banda E, como ejemplos. Estos enlaces de capacidad ultra alta pueden tener un rango mayor en comparación con otros enlaces punto a punto o punto a multipunto, incluidos, pero no limitados a enlaces punto a punto o punto a multipunto del tipo mencionado con anterioridad con referencia a las Figuras 1-26.

35

Por ejemplo, como una posibilidad, un enlace punto a punto o punto a multipunto del tipo discutido anteriormente con referencia a las Figuras 1-26 puede tener un alcance promedio de hasta 100 metros, mientras que un enlace de capacidad ultra alta puede tener un alcance de más de 100 metros. Como otra posibilidad, un enlace punto a punto o punto a multipunto del tipo discutido anteriormente con referencia a las Figuras 1-26 puede tener un alcance promedio de hasta 500 metros, mientras que un enlace de capacidad ultra alta puede tener un alcance de más de 500 metros. Como otra posibilidad adicional, un enlace punto a punto o punto a multipunto del tipo discutido anteriormente con referencia a las Figuras 1-26 puede tener un alcance promedio de hasta 1.000 metros, mientras que un enlace de capacidad ultra alta puede tener un alcance de más de 1.000 metros.

40

45

Sin embargo, en otras implementaciones, es posible que la longitud de un enlace de capacidad ultra alta sea similar a la longitud de un enlace punto a punto o punto a multipunto del tipo discutido anteriormente con referencia a las Figuras 1-26, pero sin embargo puede proporcionar una mayor capacidad, de modo que se puede utilizar un número menor de nodos/enlaces de capacidad ultra alta (en comparación con los nodos/enlaces punto a punto o punto a multipunto del tipo discutido con anterioridad con referencia a las Figuras 1-26) para construir una red troncal principal de alta capacidad a través de la malla (es decir, los nodos/enlaces de capacidad ultra alta pueden ser más escasos).

50

La mayor capacidad y/o el rango ampliado de estos nodos/enlaces de capacidad ultra alta se pueden lograr a través de varias técnicas avanzadas de procesamiento de señales, que incluyen, pero no están limitadas a múltiples entradas, múltiples salidas (MIMO), como 2x2 MIMO, 4x4 MIMO, 8x8 MIMO o un MIMO de orden aún mayor, uso de polarización vertical y horizontal (V y H), mayor capacidad de conmutación del módulo de red digital debido a una mayor potencia de procesamiento, como compatibilidad con puertos de 8x25 Gbps (flujo de tráfico agregado de 200 Gbps), modulación de orden superior que incluye 16 QAM , 64 QAM, 256 QAM, 512 QAM, 1.024 QAM,

55

multiplexación de momento angular orbital (OAM) y/o mayores ganancias de antena, entre otras posibilidades. Además, en algunas implementaciones, la mayor capacidad y/o el rango extendido de estos nodos/enlaces de capacidad ultra alta se pueden lograr utilizando un subconjunto de las técnicas avanzadas de procesamiento de señales mencionadas anteriormente.

- 5 Estos nodos/enlaces de capacidad ultra alta se pueden usar junto con otros enlaces punto a punto y/o punto a multipunto, incluidos, pero no limitados a enlaces punto a punto o punto a multipunto del tipo discutido anteriormente con referencia a las Figuras 1-26, para diseñar una red de malla inalámbrica multicapa.

10 Para ilustrar con un ejemplo, la Figura 27 muestra un ejemplo de una red de malla inalámbrica multicapa en la que los enlaces triplemente compuestos representan los enlaces de capacidad ultra alta descritos anteriormente, los anillos doblemente compuestos representan enlaces punto a punto del tipo discutido anteriormente con referencia a las Figuras 1-26, y los enlaces de una sola línea representan enlaces punto a multipunto del tipo discutido anteriormente con referencia a las Figuras 1-26.

15 Como se muestra en la Figura 27, se pueden usar enlaces más largos de capacidad ultra alta para brindar un alto nivel de capacidad a la red de malla inalámbrica, que luego se puede entregar a un usuario/cliente final a través de un enlace punto a punto o punto a multipunto más corto (que puede no ser de capacidad ultra alta). También debe entenderse que, si bien los enlaces punto a multipunto pueden servir principalmente para brindar flexibilidad en la construcción de la red de malla inalámbrica debido a la capacidad de direccionamiento del haz y la capacidad de establecer múltiples enlaces desde una sola radio, estos enlaces punto a multipunto también se pueden usar para conectar indirectamente dos enlaces punto a punto a través de múltiples saltos de enlace punto a multipunto que pueden agregar confiabilidad adicional a la red.

20 Además, debe entenderse que una red de malla inalámbrica multicapa como la ilustrada en la Figura 27 se puede desplegar de varias maneras. Por ejemplo, en una implementación, se pueden desplegar en paralelo diferentes capas de la red de malla multicapa. En otra implementación, se pueden desplegar diferentes capas de la red de malla inalámbrica multicapa en diferentes fases. Por ejemplo, un enfoque de despliegue para una red de malla inalámbrica multicapa puede implicar primero construir una red troncal central (por ejemplo, una red de ultra alta velocidad) que utilizan nodos/enlaces de capacidad ultra alta y luego densificar la red durante uno o más fases posteriores que utilizan otros tipos de nodos/enlaces punto a punto o punto a multipunto, que incluye, pero no están limitados a enlaces de radio punto a punto o punto a multipunto, del tipo discutidos anteriormente con referencia a las Figuras 1-26. En otro ejemplo, un enfoque de despliegue para una red de malla inalámbrica multicapa puede implicar primero construir una red de nodos/enlaces punto a punto que no sean de capacidad ultra alta y luego actualizar la capacidad al agregar nodos de capacidad ultra alta/enlaces. Una red de malla inalámbrica multicapa también se puede desplegar de otras maneras.

35 Una variación de la arquitectura de malla multicapa descrita anteriormente es que los enlaces de capacidad ultra alta pueden diseñarse para crear rutas específicas en base a un requisito de tráfico y/o algún otro criterio definido por el operador. Para ilustrar con un ejemplo, la Figura 28 muestra otro ejemplo de una red de malla inalámbrica multicapa en la que algunos de los enlaces punto a punto de capacidad no ultra alta preexistentes incluidos en el ejemplo de red de malla inalámbrica multicapa de la Figura 27 se reemplazan por enlaces de capacidad ultra alta (que se muestran como enlaces de triplemente compuestos) para proporcionar capacidad ultra alta a segmentos específicos de la red de malla inalámbrica. Esto se puede hacer complementando el hardware de los nodos de capacidad no ultra alta preexistentes en la ubicación del cliente con hardware nuevo (por ejemplo, una nueva radio u otro hardware asociado) capaz de establecer enlaces de capacidad ultra alta o reemplazar el hardware de los nodos preexistentes de capacidad no ultra alta en la ubicación del cliente con hardware nuevo (por ejemplo, una nueva radio u otro hardware asociado) capaz de establecer enlaces de capacidad ultra alta.

45 Otra variación de la arquitectura de malla multicapa descrita anteriormente es que se pueden desplegar diferentes capas de la red de malla inalámbrica a diferentes alturas, lo que puede crear una separación de enlace físico al permitir la reutilización del espectro de frecuencia disponible. Por ejemplo, en una implementación, una red de malla inalámbrica multicapa puede tener al menos 2 capas de enlaces de capacidad ultra alta que operan en el mismo rango de frecuencia, pero a diferentes alturas. Para ilustrar con un ejemplo, una primera capa de enlaces de capacidad ultra alta se puede desplegar a una altura más baja, por ejemplo, instalando el hardware requerido a una altura más baja dentro de una estructura que aloja el hardware de malla inalámbrica (por ejemplo, en un piso más bajo de un edificio), y una segunda capa de enlaces de capacidad ultra alta se puede desplegar a una altura mayor, por ejemplo, instalando el hardware requerido a una altura mayor de la estructura que aloja el hardware de malla inalámbrica (por ejemplo, en un piso más alto del edificio). En este sentido, el despliegue de estas diferentes capas de enlaces de capacidad ultra alta a diferentes alturas puede servir para aumentar la capacidad de la red de malla inalámbrica multicapa.

55 Si bien el ejemplo anterior implica el despliegue de múltiples capas diferentes de enlaces de capacidad ultra alta a múltiples alturas diferentes, debe entenderse que este ejemplo se proporciona simplemente con fines ilustrativos, y que múltiples capas de enlaces de malla inalámbricos de cualquier tipo pueden desplegarse a diferentes alturas para mejorar la capacidad general de la red de malla inalámbrica multicapa, que incluyen, pero no están limitados a capas

de enlaces de capacidad ultra alta, enlaces punto a punto de capacidad no ultra alta, y/o enlaces punto a multipunto de capacidad no ultra alta.

Otra variación más de la arquitectura de malla multicapa descrita anteriormente es que los enlaces punto a multipunto que no son de capacidad ultra alta (que se muestran en las Figuras 27 y 28 como enlaces de una sola línea) pueden reemplazarse por enlaces cableados, como un bucle de cable coaxial, un bucle de fibra o algún otro tipo de enlace por cable. Para ilustrar con un ejemplo, una red de malla multicapa puede incluir enlaces cableados que comprenden la porción coaxial del HFC (Coaxial de Fibra Híbrida) utilizado por las compañías de cable, en cuyo caso esta porción coaxial del HFC puede llevar la conectividad de la red de malla a los usuarios finales, mientras que la porción de fibra del HFC puede traer Internet de alta velocidad al vecindario. A este respecto, los enlaces mallados inalámbricos que consisten en enlaces de capacidad ultra alta (que se muestran en las Figuras 27 y 28 como enlaces triplemente compuestos) y/o enlaces punto a punto de capacidad no ultra alta pueden jugar el papel de la porción equivalente de fibra del HFC al traer alta capacidad desde un POP de fibra al vecindario.

Las realizaciones de ejemplo de las innovaciones divulgadas se han descrito anteriormente. Como se indicó anteriormente, debe entenderse que las figuras se proporcionan únicamente con fines ilustrativos y descriptivos y que varios componentes (por ejemplo, módulos) ilustrados en las figuras anteriores se pueden agregar, quitar y/o reorganizar en diferentes configuraciones, o utilizados como base para modificar y/o diseñar otras configuraciones para llevar a cabo las operaciones de ejemplo divulgadas en la presente memoria. A este respecto, los expertos en la técnica comprenderán que se pueden realizar cambios y modificaciones en las realizaciones descritas anteriormente sin apartarse del verdadero ámbito y espíritu de la presente invención, que quedará definido por las reivindicaciones.

Además, en la medida en que los ejemplos descritos en la presente memoria involucren operaciones realizadas o iniciadas por actores, como humanos, operadores, usuarios u otras entidades, esto es solo para fines de ejemplo y explicación. Las reivindicaciones no deben interpretarse como que requieren la acción de dichos actores a menos que se reciten explícitamente en el lenguaje de la reivindicación.