

ESTIMACIÓN DE ÁNGULO DE LLEGADA EN UNA RED DE COMUNICACIONES RADIOELÉCTRICAS

CAMPO TÉCNICO

Las formas de realización aquí presentadas se refieren a un método, un dispositivo transceptor radioeléctrico, un programa de computación y un producto de programa de computación para estimar el ángulo de llegada de una señal radioeléctrica de una red de comunicaciones radioeléctricas.

ANTECEDENTES

En las redes de comunicaciones, puede ser un desafío obtener buen desempeño y capacidad para un protocolo de comunicaciones predeterminado, sus parámetros y el ambiente físico en que se despliega la red de comunicaciones.

Por ejemplo, para las futuras generaciones de sistemas de comunicaciones móviles, podrían necesitarse bandas de frecuencias en muchas diferentes frecuencias portadoras. Por ejemplo, podrían necesitarse tales bandas de frecuencias bajas a fin de lograr suficiente cobertura de red para los dispositivos inalámbricos y bandas de frecuencias más altas (por ej. a longitudes de onda de milímetros (mmW), es decir podría necesitarse cerca y por encima de 30 GHz) para alcanzar la capacidad de red requerida. En términos generales, a altas frecuencias son más complicadas las propiedades de propagación del canal radioeléctrico y la formación de haz tanto en el nodo de la red en el lado de la red como en los dispositivos inalámbricos en el lado del usuario podría requerirse llegar a suficiente presupuesto del enlace.

Los dispositivos inalámbricos y/o el punto de transmisión y recepción (TRP, transmission and recepción point) del nodo de red podrían implementar la formación de haz por medio de formación de haz analógica, formación de haz digital o formación de haz híbrida. Cada forma de realización tiene sus

ventajas y desventajas. Una forma de realización de formación de haz digital es la más flexible de las tres pero también la más costosa debido a la gran cantidad de cadenas radioeléctricas y cadenas de banda base necesaria. Una forma de realización de formación de haz analógica es la menos flexible pero la más barata de fabricar debido a una cantidad reducida de cadenas radioeléctricas y cadenas de banda base en comparación con la forma de realización de formación de haz digital. Una forma de realización de formación de haz híbrida es un compromiso entre las formas de realización de formación de haz analógica y digital. Como comprende la persona especializada, según los requisitos de costo y desempeño de diferentes dispositivos inalámbricos, serán necesarias de diferentes formas de realización.

Una finalidad de la así llamada gestión de haces es que el nodo de red realice un seguimiento de los dispositivos inalámbricos que atiende con haces angostos (como los utilizados en el TRP y/o en los dispositivos inalámbricos) para incrementar la cobertura y el caudal. Debido a la rotación, el movimiento y/o bloqueos de los dispositivos inalámbricos atendidos, el haz (en el TRP y/o dispositivos inalámbricos) debe ser actualizado dinámicamente para mantener una buena calidad de canal entre el nodo de red y los dispositivos inalámbricos atendidos. En caso de que un dispositivo inalámbrico servidor pierda una conexión operativa con el nodo de red, por ejemplo debido a un bloqueo, puede iniciarse un procedimiento de recuperación de haces para restablecer la conexión de haz. Tal procedimiento de recuperación de haces podría comprender, por ejemplo, barrer a través de todas las distintas combinaciones de haces, tanto en el TRP como en el dispositivo inalámbrico. Cuando hay muchos haces candidatos, tal procedimiento de barrido de haces podría ser costoso en términos de consumo de tiempo y señalización de tara. Es posible que el acondicionamiento del haz exija una importante señalización

de tara y consuma mucho tiempo especialmente en el caso de implementaciones de matrices de antenas híbridas en las que los haces se deben barrer secuencialmente. Si se usan matrices de antenas con formación de haz análoga tanto en el TRP como en los dispositivos inalámbricos, esto presentaría un desafío aún mayor en una búsqueda de haces exhaustiva, por cada haz TRP se deben probar todos los haces candidatos en el dispositivo inalámbrico.

Por ende, existe aún la necesidad de gestión de haces mejorada.

RESUMEN

Un objetivo de las formas de realización de la presente es proporcionar un ángulo de llegada eficiente que se pueda utilizar para una gestión de haces eficiente.

De acuerdo con un primer aspecto se presenta un método para estimar el ángulo de llegada de una señal radioeléctrica de una red de comunicaciones radioeléctricas. Al método lo implementa un dispositivo transceptor radioeléctrico. El dispositivo transceptor radioeléctrico comprende una matriz de antenas que, mediante la formación de haz analógica, está configurada para desplazarse entre al menos dos posiciones de centro de fase. El método comprende obtener mediciones de la señal radioeléctrica recibida por la matriz de antenas usando dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes (es decir, dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes de al menos dos posiciones de centro de fase). El método comprende estimar el ángulo de llegada de la señal radioeléctrica mediante las mediciones obtenidas utilizando las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes.

De acuerdo con un segundo aspecto se presenta un dispositivo transceptor radioeléctrico para estimar el ángulo de llegada de una señal radioeléctrica de

una red de comunicaciones radioeléctricas. El dispositivo transceptor radioeléctrico comprende una matriz de antenas que, mediante la formación de haz analógica, está configurada para desplazarse entre al menos dos posiciones de centro de fase. El dispositivo transceptor radioeléctrico comprende circuitos de procesamiento. Los circuitos de procesamiento están configurados para hacer que el dispositivo transceptor radioeléctrico obtenga mediciones de la señal radioeléctrica recibida por la matriz de antenas usando dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes (es decir, dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes de al menos dos posiciones de centro de fase). Los circuitos de procesamiento están configurados para hacer que el dispositivo transceptor radioeléctrico estime el ángulo de llegada de la señal radioeléctrica valiéndose de las mediciones obtenidas utilizando dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes. De acuerdo con un tercer aspecto se presenta un dispositivo transceptor radioeléctrico para estimar el ángulo de llegada de una señal radioeléctrica de una red de comunicaciones radioeléctricas. El dispositivo transceptor radioeléctrico comprende una matriz de antenas que, mediante la formación de haz analógica, está configurada para desplazarse entre al menos dos posiciones de centro de fase. El dispositivo transceptor radioeléctrico comprende además circuitos de procesamiento y un medio de almacenamiento. El medio de almacenamiento guarda instrucciones que, al ejecutarlas los circuitos de procesamiento, hacen que el dispositivo transceptor radioeléctrico implemente operaciones o pasos. Las operaciones, o pasos, hacen que el dispositivo transceptor radioeléctrico obtenga mediciones de la señal radioeléctrica recibida por la matriz de antenas usando dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes (es decir, dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes de al menos dos

posiciones de centro de fase). Las operaciones o pasos están configurados para hacer que el dispositivo transceptor radioeléctrico estime el ángulo de llegada de la señal radioeléctrica valiéndose de las mediciones obtenidas utilizando dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes.

De acuerdo con un cuarto aspecto se presenta un dispositivo transceptor radioeléctrico para estimar el ángulo de llegada de una señal radioeléctrica de una red de comunicaciones radioeléctricas. El dispositivo transceptor radioeléctrico comprende una matriz de antenas que, mediante la formación de haz analógica, está configurada para desplazarse entre al menos dos posiciones de centro de fase. El dispositivo transceptor radioeléctrico comprende además un módulo de obtención configurado para obtener mediciones de la señal radioeléctrica recibida por la matriz de antenas usando dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes (es decir, dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes de al menos dos posiciones de centro de fase). El dispositivo transceptor radioeléctrico comprende un módulo de estimación configurador para estimar el ángulo de llegada de la señal radioeléctrica valiéndose de las mediciones obtenidas utilizando dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes.

De acuerdo con un quinto aspecto, se presenta un programa de computación para estimar el ángulo de llegada de una señal radioeléctrica de una red de comunicaciones radioeléctricas, comprendiendo el programa de computación el código de programa de computación que, cuando se ejecuta en un dispositivo transceptor radioeléctrico hace que este último ejecute un método de acuerdo con el primer aspecto. El dispositivo transceptor radioeléctrico comprende una matriz de antenas que, mediante la formación de haz analógica, está configurada para desplazarse entre al menos dos posiciones de centro de fase.

De acuerdo con un sexto aspecto, se presenta un producto de programa de computación que comprende un programa de computación de acuerdo con el quinto aspecto y un medio de almacenamiento legible por computadora en que se guarda el programa de computación. El medio de almacenamiento legible por computadora podría ser un medio de almacenamiento legible por computadora no transitorio.

De manera ventajosa en este método, estos dispositivos transceptores, este programa de computación y este producto de programa de computación proporcionan una estimación de ángulo de llega eficiente habilitando a su vez una gestión de haces eficiente.

De manera ventajosa en este método, estos dispositivos transceptores, este programa de computación y este producto de programa de computación evitan el uso de un barrido de haces secuencial en el dispositivo transceptor radioeléctrico que recibe la señal radioeléctrica. Esto reduce el tiempo para hallar el par de haces analógico óptimo y la tara asociada con la transmisión de señales de referencia de hallazgo de haces.

Debe notarse que cualquier característica de los aspectos primero, segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto puede aplicarse a cualquier otro aspecto, cuando sea apropiado. Del mismo modo, cualquier ventaja del primer aspecto puede corresponder igualmente al segundo, tercero, cuarto, quinto y/o sexto aspecto, respectivamente, y viceversa. Otros objetivos, características y ventajas de las formas de realización adjuntas resultarán evidentes a partir de la siguiente divulgación detallada, de las reivindicaciones dependientes anexadas así como también de las figuras.

En general, todos los términos utilizados en las reivindicaciones deben interpretarse según su significado común y corriente en el campo técnico a menos que se indique expresamente lo contrario. Todas las referencias a

"un/uno/el elemento, aparato, componente, medio, módulo, paso, etc." deben interpretarse abiertamente como referidos al menos a una instancia del elemento, aparato, componente, medio, módulo, paso, etc., a menos que explícitamente se señale otra cosa. Los pasos de cualquier método divulgado en la presente no tienen que implementarse en el orden exacto divulgado, a menos que se indique explícitamente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Se describirá ahora el concepto de la invención, a modo de ejemplo, con respecto a las figuras que acompañan, en las cuales:

La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una red de comunicaciones de acuerdo con las formas de realización;

La Figura 2 ilustra esquemáticamente matrices de antenas que podrían ser parte de un TRP o una interfaz de comunicaciones de un dispositivo transceptor radioeléctrico de acuerdo con una forma de realización;

La Figura 2 ilustra esquemáticamente matrices de antenas de acuerdo con una forma de realización;

Las Figuras 4, 8 y 9 son diagramas de flujo de métodos de acuerdo con las formas de realización;

La Figura 5 ilustra esquemáticamente matrices de antenas que funcionan en dos intervalos de acuerdo con una forma de realización;

La Figura 6 ilustra esquemáticamente la generación de mitades de símbolos OFDM de acuerdo con una forma de realización;

La Figura 7 ilustra esquemáticamente matrices de antenas que funcionan en cuatro intervalos de acuerdo con una forma de realización

La Figura 10 es un diagrama esquemático que muestra las unidades funcionales de un dispositivo transceptor radioeléctrico de acuerdo con una forma de realización;

La Figura 11 es un diagrama esquemático que muestra los módulos funcionales de un dispositivo transceptor radioeléctrico de acuerdo con una forma de realización; y

La Figura 12 muestra un ejemplo de un producto de programa de computación que comprende el medio de almacenamiento legible por computadora de acuerdo con una forma de realización.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FIGURAS

Se describirá ahora y de aquí en adelante más totalmente el concepto de la invención con respecto a las figuras que acompañan, donde se muestran ciertas formas de realización del mismo. Este concepto de la invención, sin embargo, puede plasmarse de muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitado a las formas de realización aquí expuestas; más bien, esas formas de realización se proporcionan a modo de ejemplo de manera que esta divulgación resulte exhaustiva y completa y comunique totalmente el alcance del concepto de la invención a los expertos en la técnica. Los números iguales se refieren a elementos iguales en toda la descripción. Cualquier paso o característica que se ilustra mediante líneas de guiones deben considerarse optativos.

La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una red de comunicaciones 100 donde pueden aplicarse las formas de realización aquí presentadas. La red de comunicaciones 100 podría ser una red de telecomunicaciones de tercera generación (3G), una red de telecomunicaciones de cuarta generación (4G) o una red de telecomunicaciones de quinta generación (5G) y admitir cualquier norma de telecomunicaciones 3GPP. La red de comunicaciones 100 comprende al menos el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 configurado para brindar acceso, a través del punto TRP 205, al dispositivo transceptor radioeléctrico

300 a una red de acceso radioeléctrico 110. La red de acceso radioeléctrico 110 está operativamente conectada a una red central 120. La red central 120 a su vez está operativamente conectada a una red de servicios 130, tal como Internet. El dispositivo transceptor radioeléctrico 300 queda así habilitado, por el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 y el dispositivo transceptor radioeléctrico 200, para acceder a los servicios de la red 130 e intercambiar datos con ella. El nodo de red 200 proporciona acceso de red en la red de acceso radioeléctrico 110 transmitiendo y recibiendo señales del dispositivo transceptor radioeléctrico 200. Un TRP 205 del dispositivo transceptor radioeléctrico podría transmitir y recibir señales. El TRP 205 podría formar parte del dispositivo transceptor radioeléctrico 200 o estar separado físicamente del dispositivo transceptor radioeléctrico 200.

Para facilitar la descripción, el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 representa un dispositivo transceptor radioeléctrico de recepción y el dispositivo transceptor radioeléctrico 300 representa un dispositivo transceptor radioeléctrico de transmisión aunque ambos, tal como lo entiende un experto en el arte, ambos dispositivos transceptores radioeléctricos, el 200 y el 300, podrían configurarse tanto para la transmisión como la recepción. En particular, el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 está configurado, a través del TRP 205, para recibir señales radioeléctricas tales como las transmite el dispositivo transceptor radioeléctrico de 300.

Las formas de realización divulgadas en la presente pueden aplicarse en un dispositivo transceptor radioeléctrico implementado tanto como un nodo de red de acceso radioeléctrico como un dispositivo inalámbrico o bien, incluso como un dispositivo transceptor radioeléctrico implementado como un nodo de enlace de retroceso o un nodo de enlace lateral. De ese modo, aunque el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 en al menos algunas de las formas

de realización divulgadas en la presente se conceptualiza como un nodo de red de acceso radioeléctrico y el dispositivo transceptor radioeléctrico 300, como un dispositivo inalámbrico, la funcionalidad del dispositivo transceptor radioeléctrico aquí divulgado 200 podría implementarse igualmente en un dispositivo inalámbrico.

Los ejemplos de nodos de red de acceso radioeléctrico son estaciones radioeléctricas de base, estaciones transceptoras de base, nodos nodoB, nodos nodoB evolucionados, nodos nodoB de gigabits, puntos de acceso y nodos de acceso. Los ejemplos de dispositivos inalámbricos son las estaciones móviles, los teléfonos móviles, microteléfonos, teléfonos inalámbricos de bucle local, equipo de usuario (UE, user equipment), teléfonos inteligentes, computadoras laptop, computadoras tableta, sensores equipados con red, vehículos equipados con red y los así llamados dispositivos de Internet de las cosas.

La señal radioeléctrica transmitida por el dispositivo transceptor radioeléctrico 300 se recibe en un ángulo de llegada α . En general, el ángulo de llegada α se determina respecto del nodo en que se recibe físicamente la señal radioeléctrica por la interfaz radioeléctrica. En el ejemplo que se ilustra en la Figura 1, este nodo, para señales recibidas por el dispositivo transceptor radioeléctrico 200, se representa mediante el TRP 205. El ángulo de llegada α dependerá en general de posición del centro de fase de la matriz de antenas empleada para recibir las señales. La Figura 1 ilustra esquemáticamente tres posiciones de centro de fase diferentes p_0 , p_1 , p_2 . Sin embargo, para con matrices de antenas más prácticas, el cambio de posición del centro de fase será tan pequeña que el ángulo de llegada será sustancialmente el mismo (es decir, que la diferencia de ángulo de llegada estará en el orden de una fracción de grado o incluso podría ser menor). Por consiguiente, la diferencia en el

ángulo de llegada para las diferentes posiciones de centro de fase p_0 , p_1 y p_2 se representa de manera exagera en la Figura 1 con fines ilustrativos. Lo que sí cambia es la fase eléctrica como función del ángulo de llegada (simplemente porque la longitud del trayecto es diferente). La relación es $\varphi = 2 \cdot \pi / d_r \cdot \sin(\alpha)$, donde φ es la fase eléctrica, d_r es el cambio de posición del centro de fase (como por ejemplo, entre p_0 y p_1 o entre p_0 y p_2) expresada en longitudes de onda y α es el ángulo de llegada (en relación con una normal a la matriz de antenas del TRP). A continuación se describirá cómo mover el centro de fase de p_0 a p_1 y de p_0 a p_2 .

La Fig. 2 ilustra dos matrices de antenas 190a, 190b que podrían ser parte de un TRP 205 o de una interfaz de comunicaciones 220 del dispositivo transceptor radioeléctrico 200. En el ejemplo ilustrativo de la Figura 2, hay dos matrices de antenas 190a, 190b, cada una de las cuales tiene M elementos de antena individuales polarizados 160a, 160b, operativamente conectados a su propia red de distribución analógica 180a, 180b (configurados para la formación de haz analógica) con un desfasador 186a, 186b y/o control de ganancia 182a, 182b, como por ejemplo un amplificador de potencia (PA) o un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) y, opcionalmente, un conmutador 184a, 184b por elemento de antena. Se describirán configuraciones alternativas del PS/LAN en relación con la Figura 3. A su vez, cada red de distribución analógica 180a, 180b está operativamente conectada a su propia cadena individual de banda base (BB baseband) 170a, 170b. Los elementos de antena individuales polarizados 160a, 160b tienen polarizaciones mutuamente ortogonales. Las formas de realización divulgadas en la presente no están limitadas en términos de cantidad de matrices de antenas 190a, 190b. En términos generales, el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 o el

punto TRP 205 del mismo comprende al menos una matriz de antenas 190a, 190b.

La Figura 3 ilustra esquemáticamente dos ejemplos de implementación de PA y LNA que representan elementos de control de ganancia 182a, 182b en una matriz de antenas. La Figura 3 ilustra una configuración común (es decir, con un PA/LNA 182a, 182b en común para todos los elementos de la antena). La Figura 3(b) ilustra una configuración PA/LNA distribuida (es decir, con PA/LAN 182a, 182b individuales por cada elemento de antena).

Se supone que los dispositivos transceptores radioeléctricos 200, 300 están configurados para usar formación de haz cuando se comunican entre sí. Por ende, puede necesitarse la gestión de haces a fin de que los dispositivos transceptores radioeléctricos 200, 300 determinen qué haces emplearán los dispositivos transceptores radioeléctricos 200, 300 para comunicarse entre sí. Como ya se divulgó, cuando hay muchos haces candidatos tanto en el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 como el dispositivo transceptor radioeléctrico 300, usar un procedimiento de barrido de haces podría ser costoso en términos de consumo de tiempo y señalización de tara.

Las formas de realización divulgadas en la presente se refieren a mecanismos para estimar el ángulo de llegada α de una señal radioeléctrica de una red de comunicaciones radioeléctricas 100. A fin de obtener tales mecanismos, se provee un dispositivo transceptor radioeléctrico 200, un método implementado por el dispositivo transceptor radioeléctrico 200, un producto de programa de computación que comprende el código, por ejemplo en la forma de un programa de computación que, cuando se ejecuta en un dispositivo transceptor radioeléctrico 200, hace que el mismo implemente el método.

Las Figuras 4 y 8 son diagramas de flujo que ilustran formas de realización de métodos para estimar el ángulo de llegada α de una señal radioeléctrica de

una red de comunicaciones radioeléctricas 100. El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 implementa los métodos. Los métodos se proporcionan ventajosamente como programas de computación 1220.

Se hace ahora referencia a la Figura 4 que ilustra un método para estimar el ángulo de llegada α de una señal radioeléctrica en una red de comunicaciones radioeléctricas 100, tal como lo implementa el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 de acuerdo con una forma de realización.

El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 comprende una matriz de antenas 190a, 190b (al igual que en la Figura 2) que, la mediante la formación de haz analógica, está configurada para desplazarse entre al menos dos posiciones de centro de fase p1, p2. Al menos una de las dos posiciones centrales de fase p1, p2 está desplazada una posición central inicial p0 de la matriz de antenas 190a, 190b.

Se supone que el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 envía señales al dispositivo transceptor radioeléctrico 300 para transmitir algún tipo de señal radioeléctrica, como señales de referencia, por ejemplo, señal de referencia de sondeo de enlace ascendente (SRS) o señales de referencia de información de estado del canal de enlace descendente (CSI-RS), según el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 implemente las funciones de un nodo de red o de un dispositivo inalámbrico, de modo que dispositivo transceptor radioeléctrico 200 pueda determinar el ángulo de llegada (AOA), denotado como α , de la señal radioeléctrica. Se supone además que el dispositivo transceptor radioeléctrico 300 transmite señales radioeléctricas que podrían comprender dichas señales radioeléctricas. Por ende, el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 está configurado para ejecutar el paso S102:

S102: El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 obtiene mediciones de la señal radioeléctrica recibida por la matriz de antenas 190a, 190b usando dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p_1 , p_2 . Estas dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p_1 , p_2 son entonces dos de las, al menos dos, anteriormente mencionadas dos posiciones de centro de fase entre las cuales la matriz de antenas 190a, 190b está configurada para desplazarse.

Las mediciones de la señal radioeléctrica se utilizan entonces para estimar el ángulo de llegada α de la señal radioeléctrica. Por ende, el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 está configurado para ejecutar el paso S104:

S104: El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 estima el ángulo de llegada de la señal radioeléctrica valiéndose de las mediciones obtenidas utilizando dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p_1 , p_2 .

En algunos aspectos el ángulo de llegada α es representado por la fase eléctrica φ (según la relación descrita anteriormente). Por ende, el hecho de que el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 estime el ángulo de llegada de la señal radioeléctrica valiéndose de las mediciones obtenidas utilizando dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p_1 , p_2 podría interpretarse de la siguiente manera: el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 estima, para la señal radioeléctrica utilizando las mediciones, el desplazamiento de fase eléctrica causado por la señal radioeléctrica recibida por la matriz de antenas 190a, 190b utilizando las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p_1 , p_2 .

El desplazamiento de la fase eléctrica es similar al definido más arriba con la salvedad de que representa el campo de posición del centro de fase p_1 y p_2 (es decir, no entre p_0 y p_1 ni entre p_0 y p_2). Por consiguiente al desplazamiento de la fase eléctrica le corresponde la relación $\varphi_s = 2 \cdot \pi / d_{r,p1-}$

$p_2 \cdot \sin(\alpha)$, donde φ_s representa el desplazamiento de la fase eléctrica, $d_{r,p1-p2}$ representa la distancia entre p_1 y p_2 y α representa el ángulo de llegada. Podría ser que p_1 y p_2 estén separadas en cada caso de p_0 por la d_r en direcciones opuestas de modo que $d_{r,p1-p2} = 2d_r$.

Se divulgarán a continuación las formas de realización relativas a los detalles adicionales para estimar el ángulo de llegada α de una señal radioeléctrica en una red de comunicaciones radioeléctricas 100, tal como implementa dicha estimación el dispositivo transceptor radioeléctrico 200.

En algunos aspectos la señal radioeléctrica cuyas mediciones se obtienen comprende señales de referencia, tales como SRS de enlace ascendente o CSI-RS de enlace descendente, y las mediciones se realizan en las señales de referencia.

Como se ha indicado anteriormente, en algunos aspectos el ángulo de llegada α se estima utilizando una diferencia de fase entre las mediciones para los diferentes centros de fase p_1 , p_2 . Esta diferencia de fase es igual al desplazamiento de la fase eléctrica φ_s . En particular, de acuerdo con una forma de realización el ángulo de llegada (α) de la señal radioeléctrica se estima utilizando una diferencia de fase entre las mediciones obtenidas utilizando una de las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes (por ejemplo, p_1) y las mediciones obtenidas utilizando la otra de una de las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes (por ejemplo, p_2). Para este propósito, se pueden utilizar técnicas estándar de ángulo de llegada, como la Clasificación de la señal múltiple (MUSIC; un algoritmo utilizado para estimar la frecuencia y la ubicación del emisor), la Estimación de los parámetros de señal a través de técnicas de invariancia rotacional (ESPRIT), la formación de haz convencional, los espectros espaciales, etc.

En algunos aspectos, los diferentes centros de fase se logran mediante el uso alternativo de conjuntos de elementos de antena parcialmente superpuestos al recibir las señales radioeléctricas. Con más detalle, como se describe más arriba, la matriz de antenas 190a, 190b comprende elementos de antena 160a, 160b. Se podría usar un conjunto de elementos de antena cuando la señal radioeléctrica es recibida por la matriz de antenas 190a, 190b utilizando una (por ejemplo, p1) de las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p1, p2. Se podría usar entonces un segundo conjunto de elementos de antena cuando la señal radioeléctrica es recibida por la matriz de antenas 190a, 190b utilizando una (por ejemplo, p2) de las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p1, p2. El segundo conjunto se superpone de manera parcial, aunque no total, con el primer conjunto. Por ejemplo, el primer conjunto y el segundo conjunto podrían tener todos menos dos, o incluso uno, elementos de antena en común, pero no todos los elementos de antena en común.

Podría haber diferentes formas de desplazamiento entre al menos dos posiciones de centro de fase p1, p2. En algunos aspectos, ciertos elementos de antena se desactivan realmente durante la recepción de las señales radioeléctricas utilizando la matriz de antenas 190a, 190b. En particular, de acuerdo con una forma de realización la matriz de antenas 190a, 190b comprende elementos de antena 160a, 160b, y donde la matriz de antenas 190a, 190b está configurada para desplazarse entre las, al menos dos, posiciones de centro de fase p1, p2 activando o desactivando al menos uno de los elementos de antena 160a, 160b. Al desactivar distintos elementos de antena en distintos momentos, el haz de recepción tendrá distintos centros de fase en distintos momentos.

Puede haber distintas maneras de activar realmente los distintos elementos de antena durante la recepción de señales radioeléctricas. En algunos aspectos, los distintos elementos de antena se desactivan desactivando los LNA 182a, 182b de ciertos elementos de antena (sólo en configuraciones de LNA distribuidos, como se muestra en la Figura 3 (b)), mediante el uso de atenuadores o conmutadores (aplicable a ambas configuraciones LNA comunes, como las que se muestra en la Figura 3(a)) y configuraciones LNA distribuidos, como se muestra en la Figura 3(b)). Por ende, de acuerdo con una forma de realización al menos uno de los elementos de antena 160a, 160b se configura activando y desactivando selectivamente mediante la activación y desactivación selectiva de un amplificador de bajo nivel de ruido (182a, 182b), un atenuador o un conmutador (184a, 184b) de dicho al menos uno de los elementos de antena 160a, 160b.

En otros aspectos, los elementos de antena no se desactivan totalmente sino que se usan LNA 182a, 182b para reducir la potencia recibida por los distintos elementos de antena (sólo se aplica a configuraciones de LNA distribuido, como se muestra en la Figura 3 (b)). Por ende, de acuerdo con una forma de realización la matriz de antenas 190a, 190b comprende elementos de antena 160a, 160b y la matriz de antenas 190a, 190b está configurada para desplazar entre al menos dos posiciones de centro de fase p_1 , p_2 aumentando y reduciendo selectivamente la ganancia de un LNA 182a, 182b de al menos uno de los elementos de antena 160a, 160b. Esto permite cierta flexibilidad en la ubicación del centro de fase de la matriz de antenas 190a, 190b, es decir que es posible tener una diferencia entre las posiciones de centro de fase de 0,5 longitudes de onda entre los haces de recepción de la matriz de antenas 190a, 190b, aun cuando la separación entre los elementos de antena en la matriz de antenas 190a, 190b supere el 0,5 longitudes de banda.

La formación de haz de doble polarización se puede utilizar para los elementos de antena activos de la matriz de antenas 190a, 190b para minimizar la pérdida en la intensidad de la señal recibida debido a la desconexión o reducción de la ganancia de algunos de los elementos de antena 160a, 160b. En particular, de acuerdo con una forma de realización la matriz de antenas 190a, 190b comprende elementos de antena 160a, 160b y la señal radioeléctrica para cada una de las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p_1 , p_2 es recibida en al menos un haz de recepción creado por la formación de haz analógica en la matriz de antenas 190a, 190b utilizando únicamente los desplazamientos de fase (implementados por los desfasadores 186a, 186b) de los elementos de antena 160a, 160b que se usan para crear al menos un haz de recepción.

Una forma de crear haces anchos así como también angostos con desplazamientos de fase solo aplicados en la matriz de antenas 190a, 190b se logra mediante la técnica de expansión de la matriz descrita en WO2016141961 A1. La patente WO2016141961 A1 se refiere a la formación de haz que usa una matriz de antenas que comprenden elementos de antena polarizados dobles. Se generan uno o dos puertos de haz, donde el uno o dos puertos de haz se definen combinando al menos dos submatrices que no se superponen de los elementos de antena. Cada submatriz tiene dos puertos, que tienen idénticos patrones de potencia y polarización mutuamente ortogonal. Las al menos dos submatrices que no se superponen se combinan por ponderaciones de expansión. Las ponderaciones de expansión correlacionan el uno o dos puertos de haz con los puertos de submatriz, de manera que el uno o dos puertos de haz tienen el mismo patrón de potencia que las submatrices. Al menos algunos de los ponderaciones de expansión

tienen idéntica magnitud no cero y se relacionan en fase para formar un lóbulo de transmisión.

Además, aplicando los principios divulgados en el documento WO2011/050866A1 es posible, por ejemplo, generar anchos de haz de matriz tan anchos como el ancho de haz del elemento independientemente de cuántos elementos de antena haya en la matriz de antenas, lo cual da así como resultado formación de haz de doble polarización. La formación de haz de doble polarización puede utilizarse de ese modo para hacer más anchos o más angostos selectivamente los haces según sea necesario. Por ende, pueden aplicarse los principios del documento WO2011/050866A1 a la red de formación de haz analógica a fin de crear los haces.

Otros ejemplos de principios que podrían utilizarse para generar haces anchos así como también haces angostos según sea necesario se basan en optimizar las ponderaciones complejas de la matriz de antenas 190a, 190b, o en enmudecer algunos elementos de antena de la matriz de antenas 190a, 190b. En particular, de acuerdo con una forma de realización la matriz de antenas 190a, 190b comprende elementos de antena 160a, 160b y la señal radioeléctrica para cada una de las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p_1 , p_2 es recibida en al menos un haz de recepción creado por la formación de haz analógica en la matriz de antenas 190a, 190b utilizando una combinación de desplazamientos de fase (implementada por los desfadores 186a, 186b) y ahusamiento de amplitud (implementado por los LNA 182a, 182b) de aquellos de los elementos de antena 160a, 160b que se usan para crear el al menos un haz de recepción.

En algunos aspectos las matrices de antena 190a, 190b comprenden colectivamente elementos de antena de dos polarizaciones. Ambas polarizaciones de los elementos de antena 160a, 160b podrían desactivarse

al mismo tiempo. Así, de acuerdo con una forma de realización los elementos de antena 160a, 160b tienen dos polarizaciones mutuamente ortogonales, y donde ambas polarizaciones ortogonales se activan y desactivan simultáneamente cuando el al menos uno de los elementos de antena 160a, 160b se activa o desactiva selectivamente.

Asimismo, para al menos algunos canales de propagación radioeléctrica el ángulo de llegada es típicamente el mismo independientemente de la polarización, de modo que dos estimaciones de ángulo de llegada, uno para cada polarización, se pueden combinar en una sola estimación. Es decir, de acuerdo con una forma de realización se estima un valor intermedio del ángulo de llegada α para cada una de las dos polarizaciones mutuamente ortogonales. El ángulo de llegada α se estima entonces utilizando una combinación de los valores intermedios.

Asimismo, de acuerdo con una forma de realización la matriz de antenas 190a, 190b está configurada para recibir simultáneamente las señales radioeléctricas en las dos polarizaciones mutuamente ortogonales. Un motivo para ello es que la polarización de la onda entrante de la señal radioeléctrica es típicamente desconocida. Para obtener mediciones confiables de la recepción de la señal radioeléctrica se podrían realizar ambas polarizaciones simultáneamente. Sin embargo, el hecho de que la señal radioeléctrica sea recibida en un elemento determinado o no depende entre otras cosas de cómo se ha polarizado la señal radioeléctrica.

De acuerdo con una forma de realización la señal radioeléctrica es recibida por la matriz de antenas 190a, 190b utilizando una primera (por ejemplo, p1) de las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p1, p2 en un primer intervalo y una segunda (por ejemplo, p2) de las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p1, p2 en un segundo intervalo. La

Figura 5 ilustra esquemáticamente una matriz de antenas unidimensional 190a, en la que se utilizan conmutadores para activar y desactivar selectivamente elementos de antena 160a, 160b. La matriz de antenas 190a se ilustra como una matriz que funciona en dos intervalos de tiempo. En un primer intervalo (Intervalo N.º 1) el elemento de antena superior está desactivado y el haz de recepción se genera aplicando una formación de haz de doble polarización sobre los elementos de antena activos restantes. Al activar el elemento superior, el centro de fase de la matriz de antenas 190a se moverá hacia abajo de la posición predeterminada p_0 un 0,25 de longitud de onda hacia la posición del centro de fase p_1 (dado el caso de que todos los elementos de antena se usen con la misma amplitud, es decir, suponiendo que no se produzca ningún ahusamiento de las matrices de antenas y que los elementos de antena 160a, 160b estén separados por un 0,5 de longitud de onda). En el segundo intervalo de tiempo (Intervalo N.º2) el elemento de antena se desactiva. De este modo, el centro de fase de la matriz de antenas 190b se moverá hacia arriba un 0,25 de longitud de onda en relación con la posición p_0 hacia la posición del centro de fase 2. Al realizar mediciones en las señales radioeléctricas recibidas para los dos intervalos de tiempo, las estimaciones de ángulo de llegada se podrán obtener sin ambigüedad debido a una separación de centro de fase total de 0,5 longitudes de onda entre los dos haces de recepción en los respectivos intervalos de tiempo.

Con la arquitectura de formación de haz analógica supuesta para la matriz de antenas 190a, 190b, se prefieren las mediciones secuenciales para la señal radioeléctrica con el fin de obtener mediciones para ambas polarizaciones ortogonales (como se describió anteriormente). Una forma sencilla de lograr esto es que el dispositivo transceptor radioeléctrico 300 transmita la señal radioeléctrica en dos símbolos consecutivos de multiplexación por división de

frecuencia ortogonal (OFDM) y que el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 mida la señal radioeléctrica en estos dos símbolos OFDM consecutivos. También es posible realizar las dos mediciones en un solo símbolo OFDM midiendo primero la señal radioeléctrica utilizando una primera posición del centro de fase p_1 en la primera mitad de un símbolo OFDM y luego midiendo la señal radioeléctrica en la segunda mitad del mismo símbolo OFDM utilizando una ubicación del centro de la segunda fase p_2 . De este modo, de acuerdo con una forma de realización cada medición de la señal radioeléctrica, corresponde a cada símbolo OFDM completo o a una fracción del mismo, de manera que se recibe un solo símbolo OFDM completo o una fracción en que se basa una respectiva de las mediciones, utilizando cada una de las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p_1 , p_2 . La fracción (del símbolo OFDM) podría corresponder al factor de repetición de la llamada multiplexación por división de frecuencia ortogonal intercalada (IOFDM).

Un modo de lograr eso es que el dispositivo transceptor radioeléctrico de transmisión 300 transmita una señal de referencia de haz (que define la señal radioeléctrica) que ocupe sólo cada k subportadora, donde k representa el factor de repetición. Como ejemplo, transmitir en cada segunda subportadora significa una inserción cero entre cada muestra por medio del dominio de frecuencia. Por las propiedades de la transformada Fourier discreta (DFT, discrete Fourier transform), eso implica una repetición periódica doble de la señal de dominio de tiempo, tal como se ilustra en la Figura 6. La Figura 6 ilustra esquemáticamente cómo generar mitades de símbolos OFDM transmitiendo en cada segunda subportadora. Por ende, transmitir en cada segunda subportadora significa que el símbolo OFDM resultante consta de dos mitades idénticas y las mediciones del primer haz de recepción pueden

implementarse en la primera mitad y del segundo haz de recepción en la segunda mitad (o viceversa).

Transmitir señales de referencia en cada segunda subportadora es una práctica común en las redes de comunicaciones basadas en evolución a largo plazo (LTE), donde la SRS de enlace ascendente se transmite usando un así llamado patrón de peine, donde cada segunda o cada cuarta subportadora está ocupada por un símbolo de referencia. Por lo tanto, implementar la estimación de ángulo de llegada propuesta en un solo símbolo OFDM podría utilizarse con estructuras de señales de referencia tipo SRS. Las ventajas respecto de implementar mediciones en ambas posiciones de centro de fase p_1 , p_2 en un solo símbolo OFDM reducen la tara de señales de referencia y la variación de canal entre las dos sucesivas mediciones.

En una forma de realización con dos matrices de antenas bidimensionales 190a, 190b, los elementos de antena 160a, 160b en una de las dos dimensiones pueden usarse para obtener una estimación del ángulo de llegada en esa dimensión (es decir, en acimut) y los elementos de antena 160a, 160b en la otra de las dos dimensiones se pueden utilizar para obtener una estimación del ángulo de llegada en esa dimensión (es decir, en elevación) simultáneamente, para acelerar la estimación del ángulo de llegada. Es decir, en una forma de realización donde la matriz de antenas 190a, 190b es una matriz de antenas bidimensionales, y el ángulo de llegada α podría estimarse simultáneamente en ambas dimensiones (como por ejemplo, tanto el dominio de acimut como en el dominio de elevación). Es decir, el ángulo de llegada α podría tener dos componentes; uno en cada una de las dos dimensiones. Las formas de realización aquí descritas son, por lo tanto, aplicables a matrices de antenas bidimensionales que luego se pueden usar para estimar la dirección de llegada en los dominios de acimut y de

elevación. Para ello, se deberían realizar cuatro mediciones de la señal radioeléctrica para formar un discriminador tanto en acimut como en elevación. Esto podría realizarse en un solo símbolo OFDM transmitiendo una señal de referencia en cada cuarta subportadora. La Figura 7 ilustra un ejemplo en el que se obtiene una estimación del ángulo de llegada α tanto en el dominio de acimut como en el dominio de elevación para una matriz de antenas bidimensional 190a. La matriz de antenas 190a se ilustra como una matriz que funciona en cuatro intervalos de tiempo. En los primeros dos intervalos de tiempo (intervalo de tiempo N.º 1 e intervalo de tiempo N.º 2) se obtiene una estimación del ángulo de llegada α en el dominio de elevación y en los dos últimos intervalos de tiempo (intervalo de tiempo N.º 3 e intervalo de tiempo N.º 4) se obtiene una estimación del ángulo de llegada α en el dominio de acimut. La dirección de llegada en los dominios de acimut y elevación podría incluso requerir solo tres mediciones de la señal radioeléctrica para formar un discriminador tanto en acimut como en elevación con un centro de fase que sea común para las dos dimensiones y un centro de fase adicional por dimensión. En relación con la Figura 7, esto podría lograrse, entre otras cosas, cambiando simultáneamente los elementos de antena de la fila superior y la columna izquierda (es decir, combinando la configuración de la matriz de antenas como se usa en los intervalos de tiempo N.º 1 y N.º 3).

Seleccionando correctamente qué elementos de antena 160a, 160b desactivan una separación de centro de fase de alrededor de 0,5 longitudes de onda de la frecuencia de funcionamiento de la señal radioeléctrica recibida (siempre que la separación del elemento de antena dentro de la matriz de antenas 190a, 190b sea alrededor de 0,5 longitudes de onda, que generalmente es el caso) entre los haces de recepción (para una dimensión

dada), lo que permitirá estimaciones de ángulo de llegada inequívocas (para esa dimensión dada). Más detalladamente, una separación de media longitud de onda permite una estimación inequívoca, pero si una estimación dentro de un intervalo menor que $[-\pi / 2, \pi / 2]$ es suficiente, entonces la separación podría ser mayor que la mitad de la longitud de onda. Por ejemplo, en el dominio de elevación, los elementos de antena 160a, 160b podrían estar separados por unas 0,7-0,8 longitudes de onda, dado que el intervalo angular de interés a menudo es más pequeño en el dominio de elevación que en el dominio de acimut. Si una fila (sea la fila superior o la fila inferior) de elementos de antena está desactivada, como en la Figura 7, la posición del centro de fase se moverá por separación de elementos de antena en la matriz de antenas. En la mayoría de los casos prácticos, esta distancia es menor que la longitud de onda. En particular, de acuerdo con una forma de realización las dos posiciones de centro de fase mutuamente diferentes p_1 , p_2 están separadas al menos por la mitad de una longitud de la frecuencia de funcionamiento de la señal radioeléctrica recibida. De acuerdo con otra forma de realización elementos de antena 160a, 160b adyacentes de la matriz de antenas 190a, 190b están separados al menos por media longitud de onda de la frecuencia operativa de la señal radioeléctrica recibida.

En algunos aspectos podría ser necesario que la matriz de antenas 190a, 190b esté calibrada con cierto nivel de precisión. Esto podría ser necesario para facilitar la formación de haz analógica. La calibración no es necesaria en diferentes matrices de antenas 190a, 190b.

Se hace ahora referencia a la Figura 8 que ilustra métodos para estimar el ángulo de llegada α de la señal radioeléctrica en una red de comunicaciones radioeléctricas 100 tal como lo implementa el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 de acuerdo con formas de realización adicionales. Se

supone que los pasos S102, S104 se ejecutan del modo descrito precedentemente con respecto a la Figura 4 y se omite por lo tanto una descripción repetida.

Como ya se divulgó, en algunos aspectos, la señal radioeléctrica es una señal de referencia de haz recibida de otro dispositivo transceptor radioeléctrico 300. El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 por lo tanto podría configurarse para que utilice el ángulo de llegada α estimado a fin de determinar cuál o cuáles haces emplear en la comunicación de datos subsiguiente con el así llamado dispositivo transceptor radioeléctrico 300. En particular, de acuerdo con una forma de realización en que la señal radioeléctrica se recibe de otro dispositivo transceptor radioeléctrico 300, el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 está configurado para implementar el paso S106:

S106: El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 se comunica con el así llamado dispositivo transceptor radioeléctrico de transmisión 300 en un haz, en que los puntos de haz están en una dirección seleccionada de acuerdo con el ángulo de llegada α . El haz podría ser un haz de recepción y/o un haz de transmisión.

Vale decir que suponiendo que el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 esté configurado para comunicarse en múltiples haces angostos, el dispositivo transceptor radioeléctrico 200, en base al ángulo de llegada α estimado, podría seleccionar el haz que esté más cerca del ángulo de llegada α estimado para usar en la comunicación de datos subsiguiente con el así llamado otro dispositivo transceptor radioeléctrico 300.

A continuación se describirá una forma de realización particular (haciendo referencia al diagrama de señalización de la Figura 9) para estimar el ángulo de llegada α de una señal radioeléctrica en una red de comunicaciones

radioeléctrica 100 realizada por el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 basado en al menos algunas de las formas de realización descritas anteriormente.

S201: El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 envía señales al dispositivo transceptor radioeléctrico 300 para transmitir señales de referencia, tales como SRS o CSI-RS.

S202: El dispositivo transceptor radioeléctrico 300 transmite las señales de referencia. Las señales de referencia se deberían transmitir en intervalos de tiempo ortogonales de modo que el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 puede usar distintas posiciones de centro de fase p_1 , p_2 para distintas señales de referencia.

S203: Durante la recepción cada señales de referencia, uno o múltiples elementos de antena se desactiva para usar una posición de centro de fase adecuado para el haz de recepción de la matriz de antenas. Los elementos de antena activos restantes se usan para formar un haz de recepción con formas deseadas valiéndose de la formación de haz polarizada. Una manera de implementar el paso S203 es realizar el paso S102.

S204: El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 estima el ángulo de llegada de las señales de referencia recibidas utilizando técnicas de estimación de ángulo de llegada estándar. Una manera de implementar el paso S204 es realizar el paso S104.

S205: El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 usa el ángulo de llegada α estimado como entrada para la gestión haces para encontrar el haz de transmisión y/o recepción adecuado. Una manera de implementar el paso S205 es realizar el paso S106.

S206: El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 se comunica con el dispositivo transceptor radioeléctrico 300 en un haz de transmisión y/o

recepción, donde los puntos de haz de transmisión y/o recepción están en una dirección seleccionada de acuerdo con el ángulo de llegada α . Una manera de implementar el paso S206 es realizar el paso S106.

La Figura 10 ilustra esquemáticamente, en términos de una cantidad de unidades funcionales, los componentes de un dispositivo transceptor radioeléctrico 200 de acuerdo con una forma de realización. Se proveen circuitos de procesamiento 210 que usan cualquier combinación de uno o más de una adecuada unidad central de procesamiento (CPU), multiprocesador, microcontrolador, procesador de señales digitales (DSP), etc., apto para ejecutar las instrucciones de software almacenadas en un producto de programa de computación 1210 (como en la FIGURA 12), por ej. en la forma de un medio de almacenamiento 230. Los circuitos de procesamiento 210 pueden además proporcionarse como al menos un circuito integrado específico de aplicación (ASIC) o matriz de puertas programables en campo (FPGA).

En particular, los circuitos de procesamiento 210 están configurados para hacer que el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 implemente un conjunto de operaciones o pasos S102-S106, como ya se divulgó. Por ejemplo, el medio de almacenamiento 230 puede guardar el conjunto de operaciones, y los circuitos de procesamiento 210 pueden estar configurados para recuperarlos de dicho medio a fin de hacer que el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 implemente el conjunto de operaciones. El conjunto de operaciones puede proporcionarse como un conjunto de instrucciones ejecutables.

De ese modo, los circuitos de procesamiento 210 se disponen para ejecutar los métodos tal como aquí divulgados. El medio de almacenamiento 230 también puede comprender almacenaje persistente, que puede ser, por

ejemplo, cualquiera individual o combinación de memoria magnética, memoria óptica, memoria en estado sólido o incluso memoria montada remotamente. El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 puede comprender además una interfaz de comunicaciones 220, al menos configurada para las comunicaciones con otras entidades, nodos y dispositivos de la red de comunicaciones 100, tal como un dispositivo transceptor radioeléctrico de transmisión 300. De manera que la interfaz de comunicaciones 220 puede comprender uno o más transmisores y receptores, que comprenden componentes analógicos y digitales. En particular, el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 comprende al menos matriz de antenas analógicas 190a, 190b que podría ser parte de la interfaz de comunicaciones 220. Los circuitos de procesamiento 210 controlan la operación general del dispositivo transceptor radioeléctrico 200 por ej. enviando señales de datos y control a la interfaz de comunicaciones 220 y el medio de almacenamiento 230, recibiendo datos e informes de la interfaz de comunicaciones 220 y recuperando datos e instrucciones del medio de almacenamiento 230. Se omiten otros componentes, así como también la funcionalidad relacionada, del dispositivo transceptor radioeléctrico 200 a fin de no opacar los conceptos aquí presentados.

La Figura 11 ilustra esquemáticamente, en términos de una cantidad de módulos funcionales, los componentes de un dispositivo transceptor radioeléctrico 200, de acuerdo con una forma de realización. El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 de la Figura 11 podría comprender al menos una matriz de antenas analógicas 190a, 190b además de una cantidad de módulos funcionales; un módulo de obtención 210a configurado para implementar el paso S102 y un módulo de estimación 210b configurado para implementar el paso S104. El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 de la

Figura 11 puede comprender además una serie de módulos funcionales opcionales, tales como un módulo de comunicaciones 210c configurado para realizar el paso S106. En términos generales, módulo funcional 210a-210c puede implementarse en una forma de realización sólo en hardware y en otra forma de realización con la ayuda del software, es decir, la última forma de realización que tiene las instrucciones del programa de computación guardado en el medio de almacenamiento 230 que, cuando se ejecuta en los circuitos de procesamiento 210, hace que el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 implemente los correspondientes pasos antes mencionados conjuntamente con la Figura 11. También debe mencionarse que incluso aunque los módulos corresponden a partes de un programa de computación, no necesitan ser módulos separados en la presente, sino que el modo en que se implementen en software depende del lenguaje de programación usado. Preferentemente uno o más o todos los módulos funcionales 210a-210c pueden implementarse con los circuitos de procesamiento 210, posiblemente en cooperación con la interfaz de comunicaciones 220 y/o el medio de almacenamiento 230. Los circuitos de procesamiento 210 de ese modo pueden estar configurados para ejecutar, a partir de las instrucciones que trae el medio de almacenamiento 230 tal como lo proporciona un módulo funcional 210a-210c, implementando así cualquier paso del modo aquí divulgado.

El dispositivo transceptor radioeléctrico 200 puede proveerse como un dispositivo autónomo o como parte de al menos un dispositivo adicional. Como se ha descrito anteriormente, el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 podría ser un nodo de red de acceso radioeléctrico. Por ejemplo, el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 puede proveerse en un nodo de la red de acceso radioeléctrico 110 o en un nodo de la red central 120. Como alternativa, la funcionalidad del dispositivo transceptor radioeléctrico 200

puede distribuirse entre al menos dos dispositivos o nodos. Estos al menos dos nodos, o dispositivos, pueden ser parte de la misma parte de la red (como la red de acceso radioeléctrico 110 o la red central 120) o pueden entre al menos dos de esas partes de la red.

De ese modo, una primera porción de las instrucciones implementadas por el dispositivo transceptor radioeléctrico 200 se ejecuta en un primer dispositivo, y una segunda porción, en un segundo dispositivo; pueden ejecutarse las formas de realización divulgadas en la presente que no estén limitadas a ninguna cantidad particular de dispositivos en que las instrucciones implementadas por el dispositivo transceptor radioeléctrico 200. Por ende, los métodos de acuerdo con las formas de realización divulgadas en la presente son adecuados para que los implemente un dispositivo transceptor radioeléctrico 200 que resida en un entorno computacional de nube. Por lo tanto, aunque en la Figura 10 se ilustra un solo conjunto de circuitos de procesamiento 210, los circuitos de procesamiento 210 pueden distribuirse entre una pluralidad de dispositivos o nodos. Lo mismo se aplica a los módulos funcionales 210a-210c de la Figura 11 y al programa de computación 1220 de la Figura 12 (véase más abajo).

La Figura 12 muestra un ejemplo de un producto de programa de computación 1210 que comprende el medio de almacenamiento legible por computadora 1530. En este medio de almacenamiento legible por computadora 1230, puede guardarse un programa de computación 1220, que hace que los circuitos de procesamiento 210 y las entidades y dispositivos operativamente acoplados en ellos, tales como la interfaz de comunicaciones 220 y el medio de almacenamiento 230, ejecuten los métodos de acuerdo con las formas de realización descritas en la presente. El programa de computación 1220 y/o el

producto de programa de computación 1210 puede de ese modo proporcionar los medios para implementar cualquier paso como aquí se divulga.

En el ejemplo de la Figura 12, el producto de programa de computación 1210 también podría plasmarse como una memoria, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de sólo lectura (ROM), una memoria de sólo lectura borrrable y programable (EPROM) o una memoria de sólo lectura eléctricamente borrrable y programable (EEPROM) y más en particular como un medio de almacenamiento no volátil de un dispositivo de una memoria externa, tal como una memoria USB (Universal Serial Bus, bus universal en serie) o una memoria Flash, tal como una memoria Flash compacta. De ese modo, si bien el programa de computación 1220 se muestra aquí esquemáticamente como una pista en el disco óptico representado, el programa de computación 1220 puede guardarse de cualquier modo que sea adecuado para el producto de programa de computación 1210.

El concepto de la invención puede describirse principalmente con respecto a unas pocas formas de realización. Sin embargo, como de inmediato apreciará un experto en la técnica, son igualmente posibles otras formas de realización diferentes de las precedentemente divulgadas dentro del alcance del concepto de la invención, tal como se define en las reivindicaciones de patente anexas.