

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 894 889**

51 Int. Cl.:

H04B 7/0456 (2007.01)

H04B 7/06 (2006.01)

H04L 25/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.12.2016 PCT/EP2016/082720**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.07.2018 WO18121843**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.12.2016 E 16816568 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.08.2021 EP 3360265**

54 Título: **Estimación de la condición del canal**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.02.2022

73 Titular/es:
TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)
(100.0%)
164 83 Stockholm, SE

72 Inventor/es:
PETERSSON, SVEN;
NILSSON, ANDREAS;
ATHLEY, FREDRIK y
COLDREY, MIKAEL

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 894 889 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Estimación de la condición del canal

Campo Técnico

5 Las realizaciones presentadas en la presente memoria se refieren a un método, un dispositivo transceptor de radio, un programa informático, y un producto de programa informático para obtener condiciones del canal por elemento de antena del dispositivo transceptor de radio.

Antecedentes

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

10 Por ejemplo, para las generaciones futuras de sistemas de comunicaciones móviles, podrían ser necesarias bandas de frecuencia en muchas frecuencias portadoras diferentes. Por ejemplo, tales bandas de frecuencia bajas podrían ser necesarias para lograr una cobertura de red suficiente para dispositivos transceptores de radio inalámbricos y podrían ser necesarias bandas de frecuencia más altas (por ejemplo, en longitudes de onda milimétricas (mmW), es decir, cerca y por encima de 30 GHz) para conseguir la capacidad de red necesaria. En términos generales, a altas
15 frecuencias, las propiedades de propagación del canal de radio son más desafiantes y podría ser necesaria la formación de haces tanto en el nodo de acceso de la red como en los dispositivos transceptores de radio inalámbricos para alcanzar un balance de enlace suficiente.

Los dispositivos transceptores de radio inalámbricos podrían implementar formación de haces por medio de formación de haces analógica, formación de haces digital, o formación de haces híbrida. Cada implementación tiene sus ventajas y desventajas. Una implementación de formación de haces digital es la implementación más flexible de las tres, pero también la más costosa debido a la gran cantidad de cadenas de radio y cadenas de banda base necesarias. Una implementación de formación de haces analógica es la menos flexible pero más barata de fabricar debido a un número reducido de cadenas de radio y cadenas de banda base en comparación con la implementación de formación de haces digital. Una implementación de formación de haces híbrida es un compromiso entre las implementaciones de formación de haces analógica y digital. Como entiende el experto en la técnica, dependiendo de los requisitos de coste y rendimiento de los diferentes dispositivos transceptores de radio inalámbricos, se necesitarán diferentes implementaciones. Se están analizando diferentes arquitecturas de antena para diferentes bandas de frecuencia para dispositivos transceptores de radio inalámbricos. En las bandas de alta frecuencia (por ejemplo, por encima de 15 GHz) se está analizando algo llamado "paneles". Estos paneles pueden ser sistemas lineales/rectangulares uniformes (ULA/URA), por ejemplo, dirigidos usando desfasadores analógicos. Para obtener cobertura desde diferentes direcciones, se pueden montar múltiples paneles en diferentes lados de los dispositivos transceptores de radio inalámbricos.

Aunque los dispositivos transceptores de radio inalámbricos pueden ser estacionarios, y experimentar un canal de propagación de radio bastante estacionario, podría ser un desafío para un dispositivo transceptor de radio inalámbrico que aplique formación de haces analógica o híbrida para encontrar los ajustes de fase óptimos (o cercanos a los óptimos) por elemento de antena para maximizar algunas métricas (por ejemplo, el rendimiento del usuario) debido a la falta de suficiente información de estado del canal y demasiados ajustes de fase posibles.

En el documento Taillefer, E. et al: " Enhanced Reactance-Domain ESPRIT Algorithm Employing Multiple Beams and Translational-Invariance Soft Selection for Direction-of-Arrival Estimation in the Full Azimuth", de IEEE Trans. Antenna Propag., Vol. 55, n.º 8, págs. 2514-2525, de Agosto 2008 se propone un algoritmo de estimación mejorada en el dominio de la reactancia de los parámetros de la señal a través de técnicas de invarianza rotacional (RD-ESPRIT) para la estimación de la dirección de llegada (DoA) en el plano acimutal completo.

El documento US 2013/301454 A1 se refiere a un sistema de comunicación móvil inalámbrico basado en formación de haces. Más particularmente, el documento se refiere a un método y aparato de comunicación que usa formación de haces híbrida analógica y digital.

El documento US 2015/0358132 A1 se refiere a la transmisión de señales de referencia en una red inalámbrica.

Por tanto, todavía existe la necesidad de una estimación mejorada de la condición del canal.

Compendio

50 Un objeto de las realizaciones de la presente memoria es proporcionar una estimación de la condición del canal por elemento de antena.

La invención se define por las reivindicaciones independientes 1, 17 y 20. Las realizaciones se describen en las reivindicaciones dependientes.

De manera ventajosa, esto proporciona una estimación eficiente de las condiciones del canal por elemento de antena aunque solo estén disponibles las condiciones del canal para los haces.

De manera ventajosa, esto permite la estimación de las condiciones del canal en el espacio de los elementos de antena a pesar del uso de formación de haces analógica o híbrida.

- 5 De manera ventajosa, esto mejora el rendimiento de un dispositivo transceptor de radio inalámbrico que usa formación de haces analógica o híbrida en el caso de canales de propagación de radio estacionarios.

Otros objetivos, características y ventajas de las realizaciones adjuntas resultarán evidentes de la siguiente descripción detallada, de las reivindicaciones dependientes adjuntas, así como de los dibujos.

- 10 Generalmente, todos los términos usados en las reivindicaciones deben interpretarse según su significado ordinario en el campo técnico, a menos que se defina explícitamente lo contrario en la presente memoria. Todas las referencias a "un/una/el/la elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc." deben interpretarse abiertamente como que se refieren a al menos una instancia del elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc., a menos que se indique explícitamente lo contrario.

Breve descripción de los dibujos

- 15 El concepto inventivo se describe ahora, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una red de comunicaciones según las realizaciones;

La figura 2 ilustra esquemáticamente un dispositivo transceptor de radio inalámbrico según una realización;

Las figuras 3, 4 y 5 son diagramas de flujo de métodos según las realizaciones;

- 20 La figura 6 es un diagrama esquemático que muestra unidades funcionales de un dispositivo transceptor de radio inalámbrico según una realización;

La figura 7 es un diagrama esquemático que muestra módulos funcionales de un dispositivo transceptor de radio inalámbrico según una realización.

La figura 8 ilustra esquemáticamente un nodo de acceso según una realización;

La figura 9 ilustra esquemáticamente un dispositivo inalámbrico según una realización; y

- 25 La figura 10 muestra un ejemplo de un producto de programa informático que comprende un medio de almacenamiento legible por ordenador según una realización.

Descripción detallada

- 30 El concepto inventivo se describirá ahora con más detalle a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran ciertas realizaciones del concepto inventivo. Sin embargo, este concepto inventivo puede realizarse de muchas formas diferentes y no debe interpretarse como limitado a las realizaciones expuestas en la presente memoria sin apartarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Los números similares se refieren a elementos similares a lo largo de la descripción. Cualquier etapa o característica ilustrada con líneas discontinuas debe considerarse opcional.

- 35 La figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una red 100 de comunicaciones que comprende un nodo 300a de acceso que proporciona acceso de red a un dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico y, opcionalmente, al menos un nodo 300b de acceso adicional. Se supone que el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico comprende al menos una cadena receptora y está configurado para recibir señales del nodo 300a de acceso en M haces 110a, 110b, ..., 110M. El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico está así configurado para comunicarse en M haces 110a, 110b, ..., 110M (en contraste con los haces omnidireccionales).

- 40 El nodo 300a, 300b de acceso podría ser cualquiera de un nodo de red de acceso de radio, una estación base de radio, una estación transceptora base, un nodo B, un nodo B evolucionado, un g nodo B o un punto de acceso. El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico podría ser cualquiera de un dispositivo inalámbrico, estación móvil, teléfono móvil, teléfono celular, teléfono de bucle local inalámbrico, equipo de usuario (UE), teléfono inteligente, ordenador portátil, tableta, sensor inalámbrico, u otro nodo de red de acceso de radio, por ejemplo, para proporcionar retorno (en inglés, backhaul) inalámbrico.
- 45

- La figura 2 ilustra el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico según una realización. El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico está equipado con al menos una cadena 130 receptora, cada una de la cual comprende su propia cadena 140 de procesamiento de banda base (BPP). Cada cadena 140 de procesamiento de banda base está operativamente conectada a su propio formador de haces 150 analógico. Cada formador de haces 150 analógico tiene su propio conjunto de pesos del precodificador analógico (por ejemplo, definidos por un libro de
- 50

códigos) por medio de los cuales se pueden formar los M haces 110a, 110b, ..., 110M direccionales diferentes. Por tanto, en el ejemplo ilustrativo de la figura 2, el formador de haces 150 analógico conmuta entre M precodificadores analógicos; AP1 para generar el haz 110a, AP2 para generar el haz 110b, y APM para generar el haz 110M.

5 El dispositivo 200 transceptor de radio comprende además N elementos de antena, dos de los cuales están identificados con los números de referencia 160a, 160N. La fase y la ganancia para cada uno de los N elementos de antena 160a, 160N podrían controlarse individualmente por una función de control de fase y/o ganancia. Por ejemplo, según el ejemplo ilustrativo de la figura 2, cada uno de los N elementos de antena 160a, 160N podría tener su propio desfasador y ponderación de amplitud, aunque podría ser suficiente tener solo desfasadores para N-1 de los N elementos de antena. Los elementos de antena 160a, 160N en el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico
10 podrían implementarse de forma irregular y la estructura física del dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico podría afectar a los patrones de radiación de los elementos de antena 160a, 160N.

Las realizaciones descritas en la presente memoria se refieren a mecanismos para obtener condiciones del canal por elemento de antena del dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico. Para obtener tales mecanismos se proporciona un dispositivo 200 transceptor de radio, un método realizado por el dispositivo 200 transceptor de radio,
15 un producto de programa informático que comprende un código, por ejemplo en la forma de un programa informático, que cuando se ejecuta en un dispositivo 200 transceptor de radio, hace que el dispositivo 200 transceptor de radio realice el método.

Las figuras 3 y 4 son diagramas de flujo que ilustran realizaciones de métodos para obtener condiciones del canal por elemento de antena del dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico. Los métodos se realizan por el dispositivo
20 200 transceptor de radio. Los métodos se proporcionan de manera ventajosa como programas 1020 informáticos.

Ahora se hace referencia a la figura 3 que ilustra un método para obtener condiciones del canal por elemento de antena del dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico como lo realiza el dispositivo 200 transceptor de radio según una realización.

25 El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico comprende N elementos de antena 160a, 160N en un sistema de antenas con formación de haces 150 analógica y está configurado para comunicarse usando los haces 110a, 110b, 110M.

El uso de la formación de haces 150 analógica permite que las condiciones del canal para las señales recibidas por el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico en M haces 110a, 110b, 110M sean obtenidas por el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico. Por tanto, el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico está configurado para
30 realizar la etapa S104:

S104: El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico obtiene, para un canal de propagación de radio estacionario, condiciones del canal para las señales recibidas por el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico en M haces 110a, 110b, 110M, donde $M > 1$. A continuación se describirán ejemplos de cómo se pueden obtener las condiciones del canal para las señales.

35 Los M haces 110a, 110b, 110M podrían no superponerse o superponerse parcialmente, y generalmente estar dirigidos hacia el nodo 300a de acceso, o al menos en direcciones desde las cuales las señales del nodo 300a de acceso son recibidas por el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico, o en direcciones tales como para obtener unas condiciones del canal tan completas como sea posible del canal de propagación de radio.

40 Sin embargo, las condiciones del canal para los N elementos de antena 160a, 160N se pueden determinar a pesar del uso de formación de haces analógica (o híbrida) transformando las condiciones del canal para los M haces en condiciones del canal para los N elementos de antena. Por tanto, el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico está configurado para realizar la etapa S106:

45 S106: El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico transforma las condiciones del canal para los M haces 110a, 110b, 110M en condiciones del canal para los N elementos de antena 160a, 160N usando una relación. La relación está basada en pesos de formación de haces que mapean los N elementos de antena 160a, 160N a los M haces 110a, 110b, 110M. A continuación se describirán ejemplos de cómo puede realizarse la relación usada en la etapa S106.

Se describirán ahora realizaciones relacionadas con detalles adicionales de la obtención de condiciones del canal por elemento de antena del dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico como lo realiza el dispositivo 200 transceptor de radio.

50 Con referencia a la figura 2, los pesos de formación de haces podrían considerarse como pesos del precodificador; los términos pesos de formación de haces y pesos del precodificador podrían, por tanto, usarse indistintamente.

En algunos aspectos, el canal de propagación de radio es suficientemente estático (tal como que está libre de desvanecimiento rápido) cuando se obtienen las condiciones del canal para los M haces 110a, 110b, 110M. Esto necesita que el tiempo de coherencia del canal sea mayor o igual al tiempo de observación (medición).

Se hace ahora referencia a la figura 4 que ilustra métodos para obtener condiciones del canal por elemento de antena del dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico como lo realiza el dispositivo 200 transceptor de radio según realizaciones adicionales. Se supone que las etapas S104, S106 se realizan como se describió anteriormente con referencia a la figura 3 y, por tanto, se omite una descripción repetida de las mismas.

- 5 El dispositivo 200 transceptor de radio podría necesitar verificar que el canal de propagación de radio al nodo 300a de acceso es suficientemente estacionario. Esto podría conseguirse, por ejemplo, por el dispositivo 200 transceptor de radio realizando mediciones en el canal de propagación de radio para algunas muestras de tiempo diferentes y evaluando cuánto ha cambiado el canal de propagación de radio a lo largo del tiempo. Por tanto, según una realización, el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico está configurado para realizar la etapa S102:
- 10 S102: El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico verifica que el canal de propagación de radio es estacionario cuando se obtienen las condiciones del canal para los M haces 110a, 110b, 110M.

Esto podría soportarse, por ejemplo, usando sensores en el dispositivo 200 transceptor de radio que evalúen si el dispositivo 200 transceptor de radio es físicamente estacionario.

- 15 Según una realización, si el canal de propagación de radio ha cambiado menos que algún valor especificado (en comparación con un cierto umbral), el canal de propagación de radio se supone que es suficientemente estacionario. En otra realización, el dispositivo 200 transceptor de radio mide y evalúa si el canal de propagación de radio es lo suficientemente estacionario, por ejemplo, más estacionario que un umbral dado.

- 20 El dispositivo 200 transceptor de radio comienza a escanear M haces 110a, 110b, ..., 110M (por ejemplo, haces basados en la Transformada Discreta de Fourier (los llamados haces DFT)) y estima el canal de propagación de radio para estos M haces. Los M haces podrían ser creados por el dispositivo 200 transceptor de radio aplicando precodificadores de solo fase por ajustes apropiados de los desfases analógicos.

El dispositivo 200 transceptor de radio puede necesitar escanear $M \geq N$ haces para lograr estimaciones de los canales individuales para un sistema con N elementos de antena.

- 25 Cuando se hacen las mediciones, el dispositivo 200 transceptor de radio puede usar la siguiente Ecuación (1) y Ecuación (2) para transformar las estimaciones del canal para los M haces en N estimaciones del canal (es decir, una estimación del canal para cada uno de los N elementos de antena):

$$\hat{c}_b = \begin{bmatrix} \hat{c}_{b1} \\ \hat{c}_{b2} \\ \vdots \end{bmatrix} = [w_1 \quad w_2 \quad \dots]^H c_{el} = W^H c_{el} \quad (1)$$

$$\hat{c}_{el} = (WW^H)^{-1}W\hat{c}_b \quad (2)$$

- 30 En estas ecuaciones, X^H denota la transposición hermitiana de la matriz X, el parámetro \hat{c}_{bk} representa los coeficientes del canal estimados en el espacio del haz después de aplicar un peso del precodificador w_k y se encuentra como $\hat{c}_{bk} = w_k^H c_{el}$, donde c_{el} es el vector de coeficiente del canal (de dimensión N por 1) en el espacio de los elemento del canal, y el parámetro \hat{c}_{el} representa los coeficientes del canal estimados en el espacio de los elementos de antena. La matriz pseudoinverta $(WW^H)^{-1}W$ se usa en la Ecuación (2) para cubrir el caso donde $M > N$. Por tanto, según una realización,
- 35 la relación usada en la etapa S106 se define por una pseudoinverta de los pesos del precodificador.

Para el caso de $M=N$, pueden usarse (o incluso se necesitan) haces ortogonales (por ejemplo, haces DFT), según lo indicado por los pesos ortogonales del precodificador. Por tanto, según una realización donde $M=N$, los M haces 110a, 110b, 110M son mutuamente ortogonales entre sí.

- 40 El estimador de canal de la Ecuación (2) es un estimador de forzamiento cero que tiene un buen rendimiento con una relación señal a ruido (SNR) alta. Por tanto, según una realización, la relación usada en la etapa S106 se define por un estimador de forzamiento cero de las condiciones del canal para los N elementos de antena 160a, 160N.

- 45 Con una SNR baja, un estimador de error cuadrático medio mínimo lineal (LMMSE) podría ser más adecuado. Por tanto, según una realización, la relación usada en la etapa S106 se define por un estimador de LMMSE de las condiciones del canal para los N elementos de antena 160a, 160N. Para LMMSE, los coeficientes del canal estimados en el espacio de los elementos de antena se dan como:

$$\hat{c}_{el} = (R_{el}^{-1} + WR_{nb,nb}^{-1}W^H)^{-1}WR_{nb,nb}^{-1}\hat{c}_b \quad (3)$$

En esta ecuación, $R_{el} = E[c_{el}c_{el}^H]$, donde $E[x]$ es la esperanza matemática de x , el parámetro $R_{nb,nb}$ es una matriz que representa la correlación del ruido en el espacio del haz, y X^{-1} denota la inversa de la matriz X . El parámetro R_{el} no es invertible a menos que el canal tenga rango completo. Usando el lema de inversión de la matriz, los coeficientes del canal estimados en el espacio de los elementos de antena para LMMSE pueden, por tanto, formularse como:

$$\hat{c}_{el} = \left[R_{el} - R_{el} \left(R_{el} + (WR_{nb,nb}^{-1}W^H)^{-1} \right)^{-1} R_{el} \right] WR_{nb,nb}^{-1} \hat{c}_b \quad (4)$$

La estimación del haz y canal en el dispositivo 200 transceptor de radio se realiza por puerto de antena en el nodo 300a de acceso, lo que significa que las realizaciones descritas en la presente memoria podrían aplicarse en el caso de múltiples puertos en el nodo 300a de acceso, por ejemplo, donde cada puerto puede representar un haz o una antena.

Podría ser posible estimar los coeficientes del canal en el espacio de los elementos de antena para $M < N$, por ejemplo, si el dispositivo 200 transceptor de radio proporciona y considera información lateral sobre el diseño de la apertura y el modelo para la correlación entre los elementos de antena. Por tanto, en algunas realizaciones $M < N$, y la relación en la etapa S106 utiliza correlaciones entre los N elementos de antena 160a, 160N.

Podría haber diferentes formas para que el dispositivo 200 inalámbrico obtenga las condiciones del canal para los M haces 110a, 110b, 110M en la etapa S104.

En algunos aspectos, las condiciones del canal para los M haces 110a, 110b, 110M son condiciones del canal instantáneas. Por tanto, según una realización, el dispositivo 200 inalámbrico está configurado para realizar las etapas S104a, s104b como parte de la etapa S104:

S104a: El dispositivo 200 inalámbrico escanea a través de los M haces 110a, 110b, 110M y, mientras lo hace, realiza la etapa S104b:

S104b: El dispositivo 200 inalámbrico recibe las señales en los M haces 110a, 110b, 110M.

Si las condiciones del canal para los M haces 110a, 110b, 110M son condiciones del canal instantáneas, entonces podría condicionarse que las condiciones del canal no solo sean estacionarias sino estáticas. Las condiciones del canal para los N elementos de antena 160a, 160N podrían ser entonces estimaciones del canal (instantáneas) del canal de propagación de radio.

El procedimiento anterior que involucra las Ecuaciones (1) y (2) supone que los coeficientes del canal c_{el} son estables durante las mediciones. Sin embargo, si el canal de propagación de radio entre el nodo 300a de acceso y el dispositivo 200 transceptor de radio está cambiando más rápido de lo preferido, podría usarse un procedimiento más robusto. Por tanto, en algunos aspectos, las condiciones del canal para los M haces 110a, 110b, 110M no son condiciones del canal instantáneas. Según una realización, las condiciones del canal para los M haces 110a, 110b, 110M son entonces representativas de las estimaciones del canal para los M haces 110a, 110b, 110M como promedio sobre múltiples muestras de tiempo y/o frecuencia.

En este procedimiento más robusto, en lugar de usar estimaciones del canal instantáneas para encontrar (y aplicar) ajustes apropiados para los desfases, puede usarse un promedio de estimaciones del canal sobre múltiples muestras de tiempo para lograr una matriz de covarianza en el espacio del haz (denotado R_b). Entonces la matriz de covarianza en el espacio de los elementos (denotado R_{el}) se puede determinar resolviendo el parámetro R_{el} en la ecuación:

$$R_b = W R_{el} W^H \quad (5)$$

Entonces, R_{el} se usa para encontrar ajustes apropiados del desfase en el dispositivo 200 transceptor de radio, cuyos ajustes del desfase son más robustos para las condiciones del canal que varían en el tiempo. Más estrictamente, la relación entre las matrices de covarianza en el espacio de los elementos de antena y el espacio del haz viene dada por:

$$R_{el} = (WW^H)^{-1}WR_bW^H(WW^H)^{-1} \quad (6)$$

En una realización, también se determinan y se tienen en cuenta las estimaciones del canal de transmisores interferentes, tales como los nodos 300b de acceso interferentes cuando se encuentran los ajustes óptimos del desfase. Por tanto, según una realización, el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico es servido por un nodo 300a de acceso, y las condiciones del canal para los M haces 110a, 110b, 110M son indicativas de las señales como se reciben desde el nodo 300a de acceso así como las señales interferentes recibidas de al menos un otro nodo 300b de acceso. En tales realizaciones, es posible optimizar, por ejemplo, la relación señal recibida a la interferencia más ruido (SINR) o el rendimiento estimado.

- 5 Las condiciones del canal estimadas podrían usarse por el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico para calcular ajustes de fase óptimos de los desfasadores. Por tanto, según una realización, cada uno de los N elementos de antena 160a, 160N tiene su propio desfasador (como en la figura 2), y los pesos de formación de haces determinan ajustes para los desfasadores. El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico podría configurarse entonces para realizar la etapa S108a:
- S108a: El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico determina ajustes actualizados para los desfasadores basado en las condiciones del canal para los N elementos de antena 160a, 160N.
- 10 Además, o alternativamente, las condiciones del canal estimadas podrían usarse por el dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico para calcular ajustes óptimos de las ponderaciones de amplitud. Por tanto, según una realización, cada uno de los N elementos de antena 160a, 160N tiene su propia ponderación de amplitud, y los pesos de formación de haces determinan ajustes para las ponderaciones de amplitud. El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico podría configurarse entonces para realizar la etapa S108b:
- S108b: El dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico determina ajustes actualizados para las ponderaciones de amplitud basado en las condiciones del canal para los N elementos de antena 160a, 160N.
- 15 Según algunos aspectos, las condiciones del canal para los N elementos de antena 160a, 160N son indicativas de al menos una de las SINR de las señales recibidas y el rendimiento del canal del canal de propagación de radio. Los ajustes actualizados para los desfasadores y/o las ponderaciones de amplitud se podrían entonces determinar para optimizar la SINR y/o el rendimiento del canal.
- 20 La figura 5 es un diagrama de flujo de una realización particular para obtener las condiciones del canal por elemento de antena del dispositivo 200 transceptor de radio inalámbrico según lo realiza el dispositivo 200 transceptor de radio basado en al menos algunas de las realizaciones descritas anteriormente.
- S201: El dispositivo 200 transceptor de radio evalúa si el canal de propagación de radio es lo suficientemente estacionario. Si se determina que la propagación de radio es estacionaria, se entra en la etapa S202 y, de lo contrario, se entra en la etapa S205. Una forma de implementar la etapa S201 es realizar la etapa S102.
- 25 S202: El dispositivo 200 transceptor de radio selecciona M haces 110a, 119b, ..., 110M ortogonales. El dispositivo 200 transceptor de radio entonces escanea a través de estos M haces 110a, 119b, ..., 110M uno a la vez, y para cada haz 110a, 119b, ..., 110M el dispositivo 200 transceptor de radio estima el canal en el espacio del haz. Una forma de implementar la etapa S202 es realizar cualquiera de las etapas S104 y S104a.
- 30 S203: El dispositivo 200 transceptor de radio, cuando se ha alcanzado la estimación del canal para todos los M haces 110a, 119b, ..., 110M, determina la estimación del canal para cada uno de los N elementos de antena 160a, 160N en el sistema de antenas usando la Ecuación (1) y la Ecuación (2), o la Ecuación (3) y la Ecuación (4), o la Ecuación (5) y la Ecuación (6). Una forma de implementar la etapa S203 es realizar la etapa S106.
- 35 S204: El dispositivo 200 transceptor de radio, cuando se encuentran las estimaciones del canal para los N elementos de antena 160a, 160N, determina un ajuste de fase óptimo para cada desfasador y/o ajustes óptimos para cada ponderación de amplitud del sistema de antenas analógicas para optimizar alguna métrica, por ejemplo, la potencia recibida. Una forma de implementar la etapa S204 es realizar cualquiera de las etapas S108a y S108b.
- 40 S205: El dispositivo 200 transceptor de radio entra en un estado de espera antes de entrar de nuevo en la etapa S201. De esta forma, el método puede repetirse regularmente para adaptar los ajustes del desfasador a cambios potenciales para el canal de propagación de radio y/o los haces de transmisión en el nodo 300a de acceso. Alternativamente, el método puede repetirse si se activa por información externa, tal como información de un sistema de posicionamiento o un giróscopo que indicaría que el dispositivo 200 transceptor de radio se ha movido.
- 45 En resumen, el dispositivo 200 transceptor de radio en algunos aspectos evalúa si el canal de comunicación es suficientemente estacionario, o incluso estático. Si es así, el dispositivo 200 transceptor de radio realiza mediciones de enlace descendente en una serie de haces elegidos apropiadamente creados por un formador de haces analógico. El dispositivo 200 transceptor de radio usa entonces las mediciones para calcular una estimación del canal en cada elemento de antena individual del sistema de antenas analógicas. El dispositivo 200 transceptor de radio podría entonces usar estas estimaciones del canal para calcular ajustes de fase óptimos de los desfasadores del sistema analógico con respecto a alguna métrica.
- 50 La figura 6 ilustra esquemáticamente, en términos de una serie de unidades funcionales, los componentes de un dispositivo 200 transceptor de radio según una realización. El circuito 210 de procesamiento se proporciona usando cualquier combinación de una o más de una unidad central de procesamiento (CPU) adecuada, multiprocesador, microcontrolador, procesador de señal digital (DSP), etc., capaz de ejecutar instrucciones de software almacenadas en un producto 1010 de programa informático (como en la figura 10), por ejemplo, en forma de un medio 230 de almacenamiento. El circuito 210 de procesamiento puede proporcionarse además como al menos un circuito integrado específico de aplicación (ASIC), o una matriz de puertas programables en campo (FPGA).
- 55

Particularmente, el circuito 210 de procesamiento está configurado para hacer que el dispositivo 200 transceptor de radio realice un conjunto de operaciones, o etapas, S102-S108b, S201, S205, como se describió anteriormente. Por ejemplo, el medio 230 de almacenamiento puede almacenar el conjunto de operaciones, y el circuito 210 de procesamiento puede configurarse para recuperar el conjunto de operaciones del medio 230 de almacenamiento para hacer que el dispositivo 200 transceptor de radio realice el conjunto de operaciones. El conjunto de operaciones puede proporcionarse como un conjunto de instrucciones ejecutables.

Por tanto, el circuito 210 de procesamiento está dispuesto así para ejecutar métodos como se describe en la presente memoria. El medio 230 de almacenamiento también puede comprender almacenamiento persistente, que, por ejemplo, puede ser una única cualquiera o una combinación de memoria magnética, memoria óptica, memoria de estado sólido o incluso memoria montada de forma remota. El dispositivo 200 transceptor de radio puede comprender además una interfaz 220 de comunicaciones configurada al menos para comunicaciones con un nodo 300a, 300b de acceso. Como tal, la interfaz 220 de comunicaciones puede comprender uno o más transmisores y receptores, que comprenden componentes analógicos y digitales. El circuito 210 de procesamiento controla la operación general del dispositivo 200 transceptor de radio, por ejemplo, enviando datos y señales de control a la interfaz 220 de comunicaciones y al medio 230 de almacenamiento, recibiendo datos e informes de la interfaz 220 de comunicaciones, y recuperando datos e instrucciones del medio 230 de almacenamiento. Otros componentes, así como la funcionalidad relacionada, del dispositivo 200 transceptor de radio se omiten para no oscurecer los conceptos presentados en la presente memoria.

La figura 7 ilustra esquemáticamente, en términos de una serie de módulos funcionales, los componentes de un dispositivo 200 transceptor de radio según una realización. El dispositivo 200 transceptor de radio de la figura 7 comprende una serie de módulos funcionales; un módulo 210b de obtención configurado para realizar la etapa S104, y un módulo 210e de transformación configurado para realizar la etapa S106. El dispositivo 200 transceptor de radio de la figura 7 puede comprender además una serie de módulos funcionales opcionales, tales como cualquiera de un módulo 210a de determinación configurado para realizar la etapa S102, un módulo 210c de escaneo configurado para realizar la etapa S104a, un módulo 210d receptor configurado para realizar la etapa S104b, un módulo 210f de determinación configurado para realizar la etapa S108a, y un módulo 210g de determinación configurado para realizar la etapa S108b. En términos generales, cada módulo 210a-210g funcional puede implementarse en una realización solo en hardware y en otra realización con la ayuda de software, es decir, la última realización tiene instrucciones de programa informático almacenadas en el medio 230 de almacenamiento que cuando se ejecutan en el circuito de procesamiento hace que el dispositivo 200 transceptor de radio realice las etapas correspondientes mencionadas anteriormente en conjunto con la figura 7. También se debe mencionar que aunque los módulos corresponden a partes de un programa informático, no necesitan ser módulos separados en el mismo, sino la forma en que en la que se implementan en software depende del lenguaje de programación usado. Preferiblemente, uno o más, o todos los módulos 210a-210g funcionales pueden implementarse por el circuito 210 de procesamiento, posiblemente en cooperación con la interfaz 220 de comunicaciones y/o el medio 230 de almacenamiento. El circuito 210 de procesamiento puede configurarse por tanto desde el medio 230 de almacenamiento para buscar las instrucciones proporcionadas por un módulo 210a-210g funcional y ejecutar estas instrucciones, realizando así las etapas descritas en la presente memoria.

El dispositivo 200 transceptor de radio puede proporcionarse como un dispositivo independiente o como una parte de al menos un dispositivo adicional. Por ejemplo, el dispositivo 200 transceptor de radio puede implementarse en, parte de, o coubicado con, un nodo 800 de acceso (como en la figura 8) o un dispositivo 900 inalámbrico (como en la figura 9). Por tanto, según algunos aspectos, se proporciona un nodo 800 de acceso y/o un dispositivo 900 inalámbrico que comprende un dispositivo 200 transceptor de radio como se describe en la presente memoria.

Además, una primera parte de las instrucciones realizadas por el dispositivo 200 transceptor de radio puede ejecutarse en un primer dispositivo, y una segunda parte de las instrucciones realizadas por el dispositivo 200 transceptor de radio puede ejecutarse en un segundo dispositivo; las realizaciones descritas en la presente memoria no se limitan a ningún número particular de dispositivos en los que pueden ejecutarse las instrucciones realizadas por el dispositivo 200 transceptor de radio. Por tanto, los métodos según las realizaciones descritas en la presente memoria son adecuados para realizarse por un dispositivo 200 transceptor de radio que reside en un entorno informático en la nube. Por tanto, aunque en la figura 6 se ilustra un único circuito 210 de procesamiento, el circuito 210 de procesamiento puede estar distribuido entre una pluralidad de dispositivos, o nodos. Lo mismo se aplica a los módulos 210a-210g funcionales de la figura 7 y el programa 1020 informático de la figura 10 (ver más abajo).

La figura 10 muestra un ejemplo de un producto 1010 de programa informático que comprende un medio 1030 de almacenamiento legible por ordenador. En este medio 1030 de almacenamiento legible por ordenador, se puede almacenar un programa 1020 informático, cuyo programa 1020 informático puede hacer que el circuito 210 de procesamiento y las entidades y dispositivos acoplados operativamente al mismo, tales como la interfaz 220 de comunicaciones y el medio 230 de almacenamiento, ejecuten métodos según las realizaciones descritas en la presente memoria. Por tanto, el programa 1020 informático y/o el producto 1010 de programa informático pueden proporcionar medios para realizar cualquier etapa como se describe en la presente memoria.

En el ejemplo de la figura 10, el producto 1010 de programa informático se ilustra como un disco óptico, tal como un CD (disco compacto) o un DVD (disco versátil digital) o un disco Blu-Ray. El producto 1010 de programa informático también podría ser incorporado como una memoria, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria

5 de solo lectura (ROM), una memoria de solo lectura programable y borrable (EPROM), o una memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente (EEPROM) y más particularmente como un medio de almacenamiento no volátil de un dispositivo en una memoria externa tal como una memoria USB (Universal Serial Bus) o una memoria de semiconductores (en inglés, Flash memory), como una memoria Flash compacta. Por tanto, mientras que el programa 1020 informático se muestra aquí esquemáticamente como una pista en el disco óptico representado, el programa 1020 informático se puede almacenar de cualquier forma que sea adecuada para el producto 1010 de programa informático.

10 El concepto inventivo se ha descrito principalmente anteriormente con referencia a unas pocas realizaciones. Sin embargo, como se aprecia fácilmente por un experto en la técnica, otras realizaciones distintas de las descritas anteriormente son igualmente posibles dentro del alcance del concepto inventivo, como se define por las reivindicaciones de la patente adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para obtener condiciones del canal por elemento de antena, el método que se realiza por un dispositivo (200) transceptor de radio inalámbrico que comprende N elementos de antena (160a, 160N) en un sistema de antenas con formación de haces (150) analógica y que está configurado para comunicarse usando haces (110a, 110b, 110M), el método que comprende:
- 5 obtener (S104), para un canal de propagación de radio estacionario y cuando se verifique que el canal de propagación de radio es estacionario, las condiciones del canal para las señales recibidas por el dispositivo (200) transceptor de radio inalámbrico en M haces (110a, 110b, 110M), donde $M > 1$; y
- 10 transformar (S106) las condiciones del canal para los M haces (110a, 110b, 110M) en las condiciones del canal para los N elementos de antena (160a, 160N) usando una relación basada en pesos de formación de haces que mapean los N elementos de antena (160a, 160N) a los M haces (110a, 110b, 110M).
2. El método según la reivindicación 1, en donde el canal de propagación de radio está libre de desvanecimiento rápido cuando se obtienen las condiciones del canal para los M haces (110a, 110b, 110M).
- 15 3. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde $M \geq N$.
4. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde $M = N$, y en donde los M haces (110a, 110b, 110M) son mutuamente ortogonales entre sí.
- 20 5. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde $M < N$, y en donde la relación especifica correlaciones entre los N elementos de antena (160a, 160N).
6. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los pesos de formación de haces son pesos del precodificador.
- 25 7. El método según la reivindicación 6, en donde la relación se define por un pseudoinverso de los pesos del precodificador.
8. El método según la reivindicación 1, en donde la relación se define por un estimador de forzamiento cero de las condiciones del canal para los N elementos de antena (160a, 160N).
- 30 9. El método según la reivindicación 1, en donde la relación se define por un estimador de error cuadrático medio mínimo lineal de las condiciones del canal para los N elementos de antena (160a, 160N).
- 35 10. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada uno de los N elementos de antena (160a, 160N) tiene su propio desfasador, y en donde los pesos de formación de haces determinan ajustes para los desfasadores, el método que comprende además:
- determinar (S108a) ajustes actualizados para los desfasadores basados en las condiciones del canal para los N elementos de antena (160a, 160N).
- 40 11. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada uno de los N elementos de antena (160a, 160N) tiene su propia ponderación de amplitud, y en donde los pesos de formación de haces determinan ajustes para las ponderaciones de amplitud, el método que comprende además:
- determinar (S108b) ajustes actualizados para las ponderaciones de amplitud basados en las condiciones del canal para los N elementos de antena (160a, 160N).
- 45 12. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las condiciones del canal para los N elementos de antena (160a, 160N) son indicativas de al menos uno de relación señal a interferencia más ruido, SINR, de las señales recibidas, y rendimiento del canal del canal de propagación de radio.
- 50 13. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo (200) transceptor de radio inalámbrico es servido por un nodo (300a) de acceso, y en donde las condiciones del canal para M haces (110a, 110b, 110M) son indicativas de las señales como se reciben desde el nodo (300a) de acceso así como señales de interferencia recibidas desde al menos un otro nodo (300b) de acceso.
- 55 14. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde obtener de las condiciones del canal para los M haces (110a, 110b, 110M) comprende además:
- escanear a través (S104a) de los haces M (110a, 110b, 110M), y mientras lo hace:
- recibir (S104b) las señales en los M haces (110a, 110b, 110M).

15. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en donde las condiciones del canal para los M haces (110a, 110b, 110M) son representativas de las estimaciones del canal para los M haces (110a, 110b, 110M) promediadas sobre múltiples muestras de tiempo y/o frecuencia.
- 5 16. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en donde las condiciones del canal para los N elementos de antena (160a, 160N) son estimaciones del canal del canal de propagación de radio.
- 10 17. Un dispositivo (200) transceptor de radio para obtener condiciones del canal por elemento de antena, el dispositivo (200) transceptor de radio que comprende N elementos de antena (160a, 160N) en un sistema de antenas con formación de haces (150) analógica y que está configurado para comunicarse usando haces (110a, 110b, 110M), el dispositivo (200) transceptor de radio que comprende además un circuito (210) de procesamiento, el circuito de procesamiento que está configurado para hacer que el dispositivo (200) transceptor de radio:
- 15 obtenga, para un canal de propagación de radio estacionario y cuando se verifique que el canal de propagación de radio es estacionario, condiciones del canal para las señales recibidas por el dispositivo (200) transceptor de radio inalámbrico en M haces (110a, 110b, 110M), donde $M > 1$; y
- transforme las condiciones del canal para los haces M (110a, 110b, 110M) en condiciones del canal para los N elementos de antena (160a, 160N) usando una relación basada en los pesos de formación de haces que mapean los N elementos de antena (160a, 160N) a los M haces (110a, 110b, 110M).
- 20 18. Un nodo (800) de acceso que comprende un dispositivo (200) transceptor de radio según la reivindicación 17.
- 25 19. Un dispositivo (900) inalámbrico que comprende un dispositivo (200) transceptor de radio según la reivindicación 17.
- 30 20. Un programa (1020) informático para obtener condiciones del canal por elemento de antena, el programa informático que comprende código informático que, cuando se ejecuta en el circuito (210) de procesamiento de un dispositivo (200) transceptor de radio que comprende N elementos de antena (160a, 160N) en un sistema de antenas con formación de haces (150) analógica y que está configurado para comunicarse usando haces (110a, 110b, 110M), hace que el dispositivo (200) transceptor de radio:
- obtenga (S104), para un canal de propagación de radio estacionario y cuando se verifica que el canal de propagación de radio es estacionario, condiciones del canal para las señales recibidas por el dispositivo (200) transceptor de radio inalámbrico en M haces (110a, 110b, 110M), donde $M > 1$; y
- 35 transforme (S106) las condiciones del canal para los M haces (110a, 110b, 110M) en las condiciones del canal para los N elementos de antena (160a, 160N) usando una relación basada en pesos de formación de haces que mapean los N elementos de antena (160a, 160N) a los M haces (110a, 110b, 110M).
21. Un producto (1010) de programa informático que comprende un programa (1020) informático según la reivindicación 20, y un medio (1030) de almacenamiento legible por ordenador en el que se almacena el programa informático.

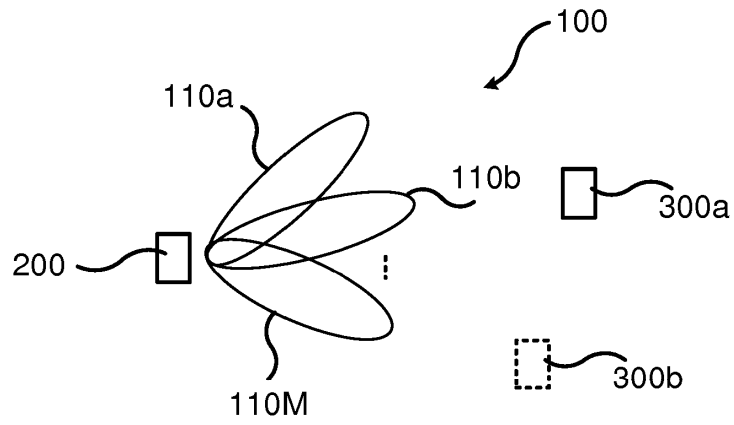


Fig. 1

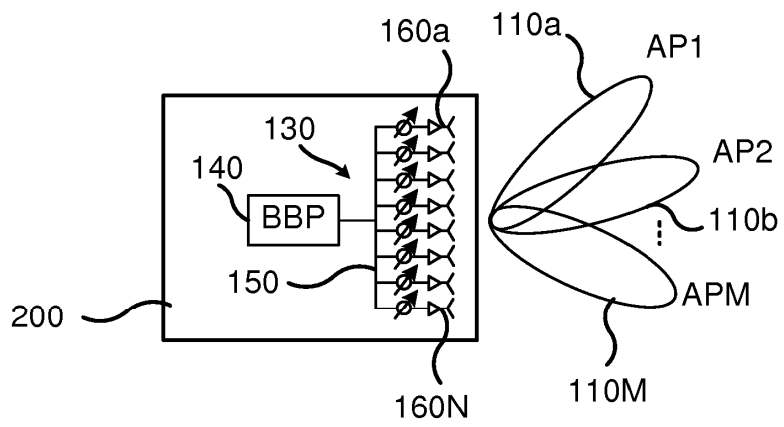


Fig. 2

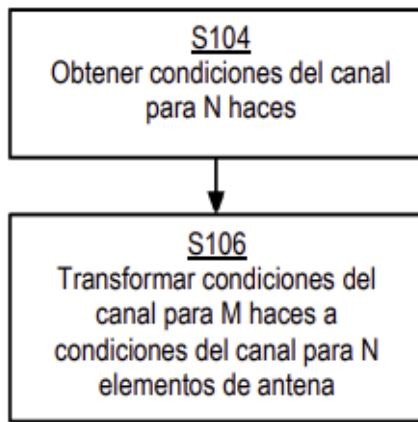


Fig. 3

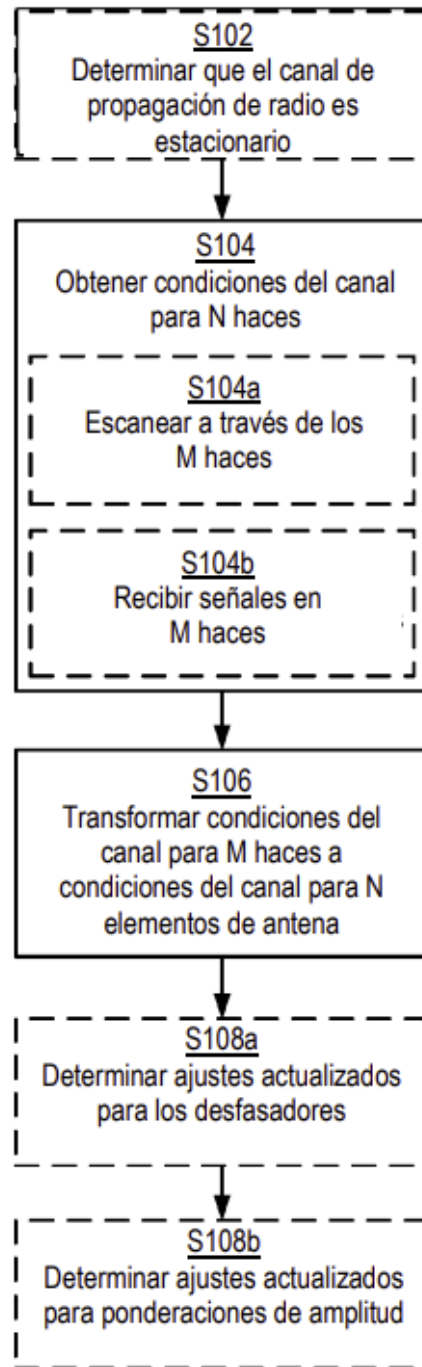


Fig. 4

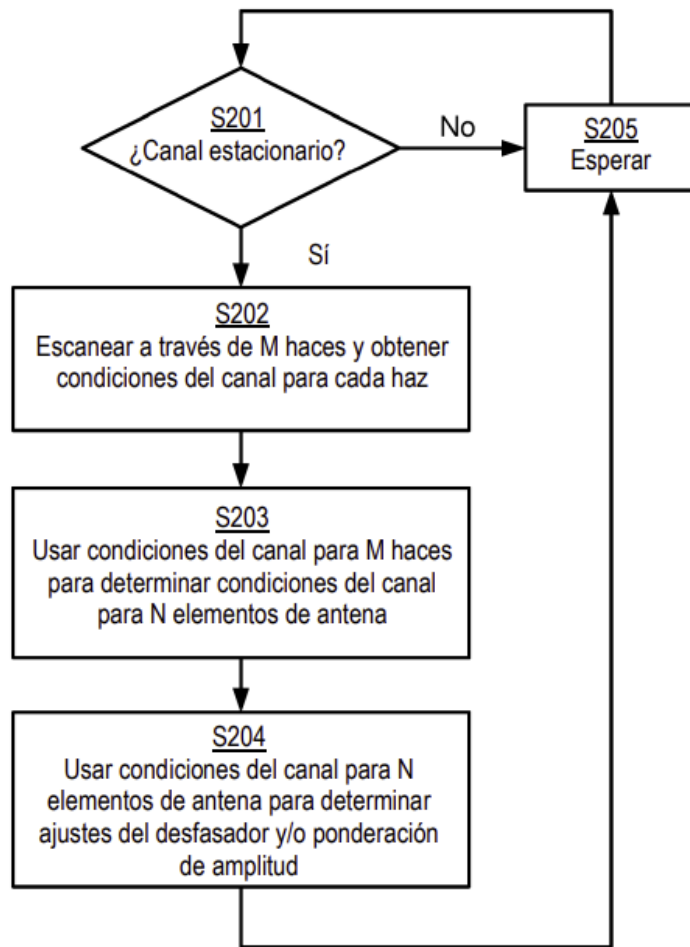


Fig. 5

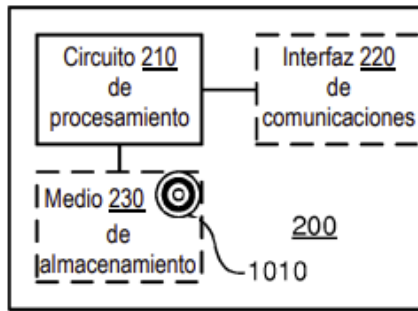


Fig. 6

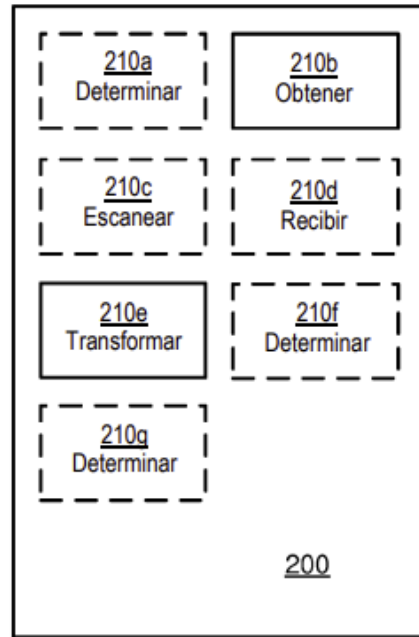


Fig. 7

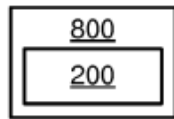


Fig. 8

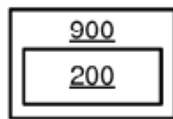


Fig. 9

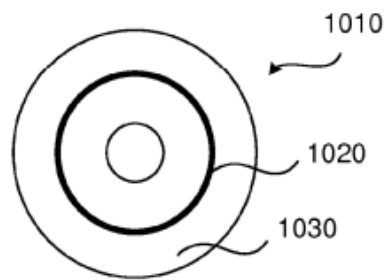


Fig. 10