

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 808 568**

51 Int. Cl.:

H04B 7/08

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.12.2014 PCT/FI2014/050950**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.06.2015 WO15082771**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.12.2014 E 14812779 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 3078125**

54 Título: **Desacoplamiento de elementos de antena**

30 Prioridad:

04.12.2013 FI 20136219

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

01.03.2021

73 Titular/es:

**TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY
(100.0%)**

Vuorimiehentie 3

02150 Espoo, FI

72 Inventor/es:

HUJANEN, ARTO;

KOIVISTO, PÄIVI y

AURINSALO, JOUKO

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 808 568 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

Desacoplamiento de elementos de antena

Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de receptores inalámbricos que comprenden más de un elemento de antena.

5 **Antecedentes de la invención**

La comunicación inalámbrica comprende que un transmisor, utilizando una antena, transmita información codificada en ondas electromagnéticas a un receptor, que detecta las ondas electromagnéticas y está habilitado para decodificar la información codificada en dichas ondas. Una trayectoria de radio dispuesta entre el transmisor y el receptor puede afectar a la comunicación inalámbrica. Por ejemplo, cuando el receptor está en una línea de visión del transmisor, las ondas electromagnéticas se pueden propagar directamente desde la antena transmisora a la antena receptora. En este caso, la trayectoria de radio puede ser una línea recta desde el transmisor hasta el receptor.

En casos en los que el receptor no está en una línea de visión desde el transmisor, la trayectoria de radio puede volverse más compleja que una línea recta. Por ejemplo, la trayectoria de radio puede comprender reflexiones de edificios o características naturales, de manera que el receptor puede detectar al menos un rayo reflejado que se origina en el transmisor. La intensidad de la señal recibida puede depender de si los fuertes rayos reflejados desde el transmisor inciden sobre la antena receptora. Para incrementar la probabilidad de que incidan rayos fuertes, el receptor puede estar equipado con más de una antena, de modo que siempre y cuando al menos una antena detecte un rayo fuerte, la información transmitida se puede decodificar con éxito a partir de las ondas electromagnéticas. Las señales de cada antena receptora se pueden combinar para recoger cualquier rayo detectado.

Además de múltiples antenas receptoras, el transmisor también puede estar equipado con más de una antena. El efecto de esto es que el número de rayos transmitidos, y por tanto también reflejados, se incrementa ya que hay más de una antena transmisora, por tanto también se incrementa la probabilidad de que al menos uno de los rayos sea detectado en el receptor.

La transmisión de múltiple entrada y múltiple salida, MIMO, en general se refiere a antenas múltiples tanto en el transmisor como en el receptor. MIMO puede habilitar, dependiendo de la implementación, al menos uno de formación de haz, multiplexación espacial y codificación de diversidad. La formación de haz puede comprender, por ejemplo, que una misma señal se transmita desde más de una antena con ponderación de fase y amplitud para mejorar la recepción en un receptor. La multiplexación espacial puede comprender, por ejemplo, que un flujo de datos se divida en más de una señal de tasa de datos más baja, siendo transmitida cada señal de tasa de datos más baja desde una antena separada. La codificación de diversidad puede comprender, por ejemplo, que el mismo flujo de datos se transmita desde más de una antena de tal manera que las transmisiones desde diferentes antenas se codifiquen ortogonalmente entre sí.

El documento WO2013/022274 describe un método para determinar un haz analógico en un sistema de formación de haz híbrido, en donde se mide la información de canal, y se determina un vector de formación de haz de transmisión analógico o un vector de formación de haz de recepción en base a la información de canal medida. Los pesos de la formación de haz se seleccionan en función de la recepción de vectores de formación de haz. El Documento EP2388931 describe un método para formación de haz analógica/digital mezclada en sistemas de comunicación inalámbrica, en donde una pluralidad de antenas de transmisión y antenas de recepción trabajan con frontales analógicos plurales. Los pesos ABF/DBF mezcladas se determinan en base a la información sobre diversos canales de comunicación.

El Documento EP1203422, correspondiente al Documento WO01/71843, describe una disposición de diversidad de antena, en donde los haces de formación de haz se configuran de tal manera que no se solapen entre sí y tengan un coeficiente de autocorrelación de envolvente bajo. El Documento "Mutual coupling compensation in small array antennas", por STEYSKAL et. al, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 38, No. 12, 1 de diciembre de 1990, describe una técnica para compensar el acoplamiento mutuo en un arreglo pequeño, restaurando las señales recibidas por el elemento aislado en la ausencia de acoplamiento mutuo.

45 **Compendio de la invención**

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato que comprende un circuito configurado para obtener al menos dos flujos de salida, en donde cada flujo de salida comprende una suma de al menos dos señales intermedias, estando configurado el circuito para obtener cada señal intermedia aplicando un coeficiente a una señal recibida de un elemento de antena, correspondiendo cada flujo de salida a un haz de antena, siendo el aparato un aparato de comunicaciones móviles por al menos un núcleo de procesamiento configurado para determinar una condición de operación relativa al aparato, seleccionar, en base al menos en parte a la condición de operación, de una pluralidad

preconfigurada de conjuntos de coeficientes, un primer conjunto de coeficientes designados como óptimos para la condición de operación, y para proporcionar el primer conjunto de coeficientes seleccionado al circuito para su utilización en la obtención de las señales intermedias para reducir así la correlación entre los flujos de salida, en donde la condición de operación comprende al menos una de: una frecuencia que se está utilizando y una banda de frecuencia que se está utilizando, no comprendiendo la condición de operación una dirección de llegada de una señal de entrada.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método que comprende obtener al menos dos flujos de salida, en donde cada flujo de salida comprende una suma de al menos dos señales intermedias y obtener cada señal intermedia aplicando un coeficiente a una señal recibida de un elemento de antena, correspondiendo cada flujo de salida a un haz de antena, determinar una condición de operación relativa a un aparato que realiza el método, siendo el aparato un aparato de comunicaciones móviles, y seleccionar, en base al menos en parte a una condición de operación, de una pluralidad preconfigurada de conjuntos de coeficientes, un primer conjunto de coeficientes designado como óptimo para la condición de operación, y proporcionar el primer conjunto de coeficientes seleccionado para su utilización en la obtención de las señales intermedias, para reducir así la correlación entre los flujos de salida, en donde la condición de operación comprende al menos una de: una frecuencia que se está utilizando y una banda de frecuencia que se está utilizando, no comprendiendo la condición de operación una dirección de llegada de una señal de entrada.

De acuerdo con otro aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un método, que comprende obtener repetidamente un coeficiente de correlación de envolvente pronosticado que describe una correlación entre los flujos de salida, correspondiendo cada flujo de salida a un haz de antena de un arreglo de antenas bajo una primera condición de operación de un aparato, en donde cada flujo de salida comprende una suma de al menos dos señales intermedias, obtenida cada señal intermedia aplicando a un coeficiente a una señal recibida de un elemento de antena, siendo el aparato un aparato de comunicaciones móviles que varía un conjunto de coeficientes, seleccionar un primer conjunto de coeficientes como un conjunto óptimo de coeficientes, en donde la selección se basa al menos en parte en una determinación de un coeficiente de correlación de envolvente pronosticado mínimo correspondiente al primer conjunto de coeficientes, y establecer el primer conjunto de coeficientes como óptimo para la primera condición de operación, en donde la primera condición de operación comprende una banda de frecuencia que se está utilizando, no comprendiendo la condición de operación una dirección de llegada de una señal de entrada.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 ilustra un sistema ejemplar en el que se pueden practicar al menos algunas realizaciones de la invención.

La Figura 2 ilustra una primera arquitectura de un aparato de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

La Figura 3 ilustra una segunda arquitectura de un aparato de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

La Figura 4 es un diagrama de flujo de un primer método de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la invención.

La Figura 5 es un diagrama de flujo de un segundo método de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la invención.

Descripción detallada de las realizaciones ejemplares

De acuerdo con al menos algunas realizaciones de la presente invención, los conjuntos de coeficientes utilizados en el procesamiento frontal analógico o digital de un receptor de radio se pueden seleccionar dinámicamente en función de una condición de operación del receptor, tal como por ejemplo una banda de frecuencia en uso. Por tanto, el desacoplamiento de los elementos de antena se puede obtener de manera optimizada para la condición de operación. Las realizaciones de la invención también proporcionan formas de precalcular conjuntos de coeficientes para utilizar bajo diferentes condiciones de operación.

La Figura 1 ilustra un sistema ejemplar en el que se pueden practicar al menos algunas realizaciones de la invención. Se ilustra el móvil 110, que puede comprender, por ejemplo, un teléfono celular, dispositivo de tableta, ordenador portátil, dispositivo phablet u otro dispositivo electrónico con capacidad de comunicación inalámbrica. El móvil 110 se ilustra como en contacto de radio con la estación base 120 a través del enlace inalámbrico 115. El enlace inalámbrico 115 puede operar de acuerdo con un estándar de la industria celular, por ejemplo, en donde el móvil 110 y la estación base 120 se pueden configurar para actuar de acuerdo con el mismo estándar para asegurar la interoperabilidad.

El enlace inalámbrico 115 puede continuar a lo largo de una trayectoria de radio que es línea de visión o no es línea de visión, o una combinación de las dos. El enlace inalámbrico 115 puede comprender un enlace ascendente para transmitir información desde el móvil 110 a la estación base 120. El enlace inalámbrico 115 puede comprender un enlace descendente para transmitir información desde la estación base 120 al móvil 110. El enlace inalámbrico 115 puede operar de acuerdo con tecnologías de acceso múltiple por división de tiempo, TDMA, acceso múltiple por división de frecuencia, FDMA, acceso múltiple por división de código, CDMA, o de acuerdo con una combinación de al menos dos de tales

tecnologías, por ejemplo. Cuando el móvil 110 y la estación base 120 están ambos equipados con al menos dos antenas que se utilizan para comunicarse sobre el enlace inalámbrico 115, el enlace inalámbrico 115 puede operar de acuerdo con MIMO.

5 Mientras el móvil 110 está en la celda 102 controlada por la estación base 120, puede mantener un enlace inalámbrico con la estación base 120. Si el móvil 110 cruza a un área de cobertura celular de la celda 103, que está controlada por la estación base 130, un procedimiento de traspaso puede dar como resultado la asociación del móvil 110 con la estación base 130. En este caso, se haría que un enlace inalámbrico conectara el móvil 110 a la estación base 130 en lugar de la estación base 120. En algunas realizaciones, el móvil 110 puede estar habilitado para mantener enlaces inalámbricos simultáneamente con más de una estación base, lo que se puede conocer como traspaso suave o agregación de portadoras, por ejemplo.

10 La estación base 120 puede estar habilitada para comunicarse, sobre la conexión 125, con un nodo de red 140. La estación base 130 puede estar habilitada para comunicarse con el mismo o un nodo de red 140 diferente, utilizando la conexión 135. El nodo de red 140, que puede comprender, por ejemplo, una entidad de gestión de la movilidad, controlador de estación base u otro nodo de red, puede a su vez estar habilitado para transmitir información hacia y desde los nodos de red adicionales, que no se ilustran en la Figura 1.

20 Cuando el móvil 110 está equipado con más de una antena, o elemento de antena, un receptor de radio del móvil 110 puede estar habilitado para recibir energía electromagnética de un transmisor de la estación base 120 sobre más de una trayectoria de radio. Con este fin, la recepción se mejora si los elementos de antena son independientes entre sí. En caso de que los elementos de antena no sean independientes, pueden mostrar una correlación, lo que significa que no hay realmente varias trayectorias de radio desde el transmisor hasta el receptor y, por consiguiente, se reduce la mejora del rendimiento del receptor por tener más de un elemento de antena. Cuando las antenas muestran una correlación, las trayectorias de radio entre ellas y el transmisor pueden experimentar características de desvanecimiento similares. La reducción de la mejora puede ser mayor cuanto mayor sea la correlación entre las antenas, o los elementos de antena. Mejorar la independencia de los elementos de antena, que corresponde a reducir la correlación entre los elementos de antena, puede por tanto mejorar el rendimiento del receptor. Esto es así ya que cuando las antenas son independientes entre sí, las trayectorias de radio entre ellas y el transmisor experimentan diferentes características de desvanecimiento, de modo que cuando una antena está en desvanecimiento, otra puede estar fuera de desvanecimiento y ser capaz de recibir.

30 La correlación entre los elementos de antena se puede reducir colocando los elementos de antena a una distancia entre sí. Incrementar la distancia entre los elementos de antena es más efectivo en implementaciones donde hay espacio disponible, por ejemplo en un receptor de estación base. Cuando el móvil 110 comprende un teléfono celular, por otro lado, los elementos de antena comprendidos en el mismo están limitados por el tamaño del teléfono celular y no pueden estar más lejos entre sí que una dimensión máxima del teléfono celular.

35 Cuando los elementos de antena están tan próximos entre sí que no son inherentemente completamente independientes entre sí, su correlación se puede controlar desacoplando las señales que reciben. El desacoplamiento puede comprender, por ejemplo, emplear un circuito de desacoplamiento analógico para procesar los flujos de señal de los elementos de antena para reducir sus características de correlación. Los circuitos de desacoplamiento analógico se pueden configurar para recibir como entrada exactamente un flujo de datos de entrada en formato analógico de cada elemento de antena, y para emitir un número de flujos de salida que sea igual al número de flujos de entrada, teniendo los flujos de salida una menor correlación entre ellos con respecto a los flujos de entrada. El circuito de desacoplamiento puede ser alternativamente un circuito de procesamiento digital, en donde el circuito de desacoplamiento digital se puede configurar para recibir flujos de entrada de los elementos de antena a través de conversión de analógico a digital. El circuito de desacoplamiento digital puede emitir un número de flujos de salida digitales igual al número de flujos de entrada digitales.

45 La Figura 2 ilustra una primera arquitectura de un aparato de acuerdo con algunas realizaciones de la invención. En detalle, la Figura 2 ilustra un aparato de desacoplamiento digital utilizable en receptores de múltiples antenas que operan de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la presente invención. En la Figura 2, los elementos de antena 206 y 208 reciben cada uno ondas electromagnéticas y suministran información analógica así recogida a convertidores de analógico a digital, A/D, el elemento de antena 206 al convertidor A/D 210 y el elemento de antena 208 al convertidor A/D 212. El convertidor A/D 210 y 212 emite cada uno flujos digitales a circuitos de multiplicación, en detalle el convertidor A/D 210 emite copias idénticas de su salida a los circuitos de multiplicación 220 y 224 y el convertidor A/D 212 emite copias idénticas de su salida a los circuitos de multiplicación 222 y 226. Los convertidores A/D se pueden configurar para emitir muestras de valores complejos como salida, siendo presentadas las muestras de valores complejos en un formato adecuado. Cada convertidor A/D se puede disponer para emitir sus datos a un número de circuitos de multiplicación, siendo el número de circuitos de multiplicación el mismo que un número de elementos de antena en el aparato. Dispuestos entre los elementos de antena 206, 208 por un lado y los convertidores A/D 210, 212 por otro puede haber elementos no ilustrados en la Figura

2. Tales elementos no ilustrados pueden comprender al menos uno de un amplificador de bajo ruido, LNA, un mezclador y un amplificador, por ejemplo.

5 Los circuitos de multiplicación 220, 222, 224 y 226 se configuran para aplicar coeficientes a los flujos de salida de los convertidores A/D 210 y 212. En detalle, el circuito de multiplicación 220 multiplica cada muestra que procesa por el coeficiente c1A, el circuito de multiplicación 222 multiplica cada muestra que procesa por el coeficiente c2A, el circuito de multiplicación 224 multiplica cada muestra que procesa por el coeficiente c1B y el circuito de multiplicación 226 multiplica cada muestra que procesa por el coeficiente c2B. Cuando el coeficiente utilizado es un número real, escala la amplitud de la muestra procesada. Cuando el coeficiente es un número complejo, escala la amplitud de la muestra procesada, y hace girar una fase de la muestra. Cada circuito de multiplicación se puede disponer para recibir la entrada de un y solo un elemento de antena.

10 Los circuitos de multiplicación pueden emitir cada uno una señal intermedia, comprendiendo cada señal intermedia resultados de multiplicaciones de coeficientes y muestras recibidas en los circuitos de multiplicación de los convertidores A/D. Los circuitos sumadores 230 y 232 agregan muestras de señales intermedias para producir salidas de la disposición de desacoplamiento digital de la Figura 2. En detalle, cada unidad sumadora se puede configurar para agregar una serie de señales intermedias entre sí, siendo el número de señales intermedias agregadas el mismo que un número de elementos de antena en el aparato, de tal manera que ningún circuito sumador reciba más de una señal intermedia de un mismo elemento de antena. En otras palabras, cada circuito sumador se puede configurar para recibir exactamente una señal intermedia que se origina en cada elemento de antena.

15 Los coeficientes aplicados se pueden precalcular para un conjunto de antena, siendo diseñados los coeficientes para reducir la correlación entre los elementos de antena 206 y 208 cuando se aplican como se describió anteriormente. Por ejemplo, para una geometría conocida de elementos de antena, por ejemplo donde los elementos de antena se disponen de forma inamovible entre sí, se pueden determinar los coeficientes que se pueden emplear para reducir la correlación entre los elementos de antena.

20 Los coeficientes que desacoplan óptimamente los elementos de antena pueden depender de una condición de operación de un aparato. Por ejemplo, mientras que puede ser posible obtener un conjunto de coeficientes, en términos de la Figura 2, c1A, c2A, c1B y c2B, que produce una reducción en la correlación de los elementos de antena, este conjunto de coeficientes puede no ser el conjunto que produce una máxima reducción en la correlación en todas las condiciones de operación. En lugar de ello, dependiendo de al menos una condición de operación, se puede utilizar un conjunto de mejores coeficientes.

25 Por consiguiente, el aparato de la Figura 2 se puede configurar para seleccionar un conjunto de coeficientes al menos en parte en función de una condición de operación. Por ejemplo, se pueden preconfigurar conjuntos separados de coeficientes en el aparato para diferentes bandas de frecuencia. Es posible que un conjunto óptimo para una banda de frecuencia de 900 MHz difiera de un conjunto óptimo para una banda de frecuencia de 1800 MHz, por ejemplo. En este caso, el aparato se puede configurar para proporcionar el conjunto óptimo de coeficientes establecido para 900 MHz a los circuitos de multiplicación cuando el aparato opera en una banda de 900 MHz. Asimismo, el aparato se puede configurar para proporcionar el conjunto óptimo de coeficientes para 1800 MHz a los circuitos de multiplicación cuando el aparato opera en una banda de 1800 MHz. Operando de esta manera, el aparato puede obtener una correlación más baja entre los elementos de antena 206, 208 para ambas bandas de frecuencia, en comparación con la situación en la que se utiliza un único conjunto de coeficientes.

30 Asimismo, un conjunto óptimo de coeficientes puede depender de otras condiciones de operación, tal como una orientación del aparato, una dirección de llegada de una señal de radio y/o si el aparato se mantiene junto a la cabeza de una persona u otra perturbación ambiental. El aparato de la Figura 2 se puede configurar para ajustar los coeficientes proporcionados a los circuitos de multiplicación 220, 222, 224 y 226 en función de tales condiciones de operación, o en efecto sus combinaciones. Por ejemplo, el aparato puede estar equipado con conjuntos separados de coeficientes para su utilización cuando se mantiene junto a la cabeza de una persona y alejado de la cabeza de una persona cuando se opera en una cierta banda de frecuencia.

35 El aparato de la Figura 2 se puede configurar para monitorizar las condiciones de operación y responder a una determinación de que al menos una de las condiciones de operación cambia, para ajustar los coeficientes proporcionados a los circuitos de multiplicación. En otras palabras, el aparato se puede configurar para monitorizar al menos una condición de operación y para ajustar dinámicamente los coeficientes en uso para asegurar que se utiliza el conjunto de coeficientes más adecuado a medida que la al menos una condición de operación cambia con el tiempo.

En formato matricial el desacoplamiento digital de elementos de antena se puede presentar como

$$\begin{pmatrix} S_A \\ S_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c1A & c2A \\ c1B & c2B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s1 \\ s2 \end{pmatrix} = \mathbf{C} \mathbf{s}$$

donde c1A, c2A, c1B y c2B son los coeficientes descritos anteriormente, s1 una señal de un primer elemento de antena y s2 una señal de un segundo elemento de antena. S_A y S_B son los haces desacoplados.

5 Aunque se describe en la presente memoria como un sistema de elementos de dos antenas, las realizaciones de la invención son igualmente aplicables a estructuras receptoras que comprenden más de dos elementos de antena. Por ejemplo, donde hay presentes tres elementos de antena, se puede aplicar lo siguiente: el sistema comprende tres circuitos sumadores, sumando cada uno tres señales intermedias y el sistema comprende nueve circuitos de multiplicación. El número de conversores A/D distintos puede o no ser el mismo que el número de elementos de antena. En realizaciones venideras, un único conversor A/D puede ser capaz de convertir más de una señal analógica a formato digital. En estos casos, el número de conversores A/D puede ser menor que el número de elementos de antena. Por ejemplo, donde hay dos elementos de antena el número de conversores A/D puede ser uno o dos.

15 La Figura 3 ilustra una segunda arquitectura de un aparato de acuerdo con algunas realizaciones de la invención. Los números de referencia similares denotan elementos similares cuando se comparan con la Figura 2. La principal diferencia entre la Figura 2 y la Figura 3 es la ausencia de conversores A/D en la Figura 3. En la realización ilustrada en la Figura 3, se proporciona una señal analógica desde los elementos de antena 206 y 208 a los circuitos de multiplicación 220, 222, 224 y 226 sin convertirla a formato digital. En la Figura 3, los circuitos de multiplicación se pueden considerar mezcladores analógicos que se configuran para aplicar coeficientes a las señales analógicas para modificar una amplitud y/o fase de las señales analógicas. Los mezcladores analógicos emiten señales intermedias que, como las de la Figura 2, se suman en circuitos sumadores para producir señales de salida desacopladas. La división de los flujos de antena analógicos en dos flujos, por ejemplo, puede incurrir en una reducción de 3 dB de amplitud, pero esto se puede recuperar cuando las señales intermedias se suman más tarde entre sí. Como en la realización de la Figura 2, aquí también el número de señales de salida desacopladas puede ser el mismo que el número de elementos de antena en el sistema. En un sistema receptor, las salidas analógicas se pueden proporcionar desde los circuitos sumadores a al menos un conversor A/D para convertir las señales de salida analógicas a formato digital para un procesamiento adicional en una arquitectura receptora. Alternativamente, las salidas analógicas de los circuitos sumadores de la Figura 3 se pueden proporcionar a los componentes de un receptor analógico que no convierte las señales a formato digital.

25 En la arquitectura de la Figura 3, los mezcladores y los circuitos sumadores pueden estar comprendidos en al menos un componente analógico, tal como por ejemplo al menos un modulador vectorial.

30 Los coeficientes utilizados en la arquitectura de la Figura 3 se pueden variar dinámicamente como se discutió anteriormente en relación con la Figura 2.

35 La selección del conjunto de coeficientes a utilizar y el control de la provisión de coeficientes a los circuitos de multiplicación o mezcladores se puede efectuar mediante un aparato de control proporcionado en relación con las arquitecturas de la Figura 2 o la Figura 2. Por ejemplo, se puede configurar un procesador, controlador, microcontrolador, procesador de señal digital, DSP, matriz de puertas programable por campo, FPGA, o circuito integrado de aplicación específica, ASIC, para recopilar información sobre una condición de operación del aparato y seleccionar un conjunto de coeficientes dinámicamente al menos en parte de acuerdo con una condición de operación determinada. Los conjuntos de coeficientes se pueden almacenar en una memoria adecuada a la que pueda acceder el aparato de control. El aparato de control puede comprender un procesador Intel Atom o un núcleo de procesamiento ARM Cortex-A9, por ejemplo.

40 El aparato de control se puede habilitar para recopilar información sobre al menos una condición de operación mediante la recepción de la información a través de cables eléctricos internamente en un aparato en el que están comprendidos el aparato de control y la arquitectura de la Figura 2 o la Figura 3. Por ejemplo, el aparato de control puede recibir información sobre una banda de frecuencia de operación del aparato, o el aparato de control puede incluso decidir qué banda de frecuencia utilizar. Asimismo, un aparato de control en un teléfono celular puede recibir información sobre una orientación física del teléfono celular, por ejemplo, de un sensor de orientación comprendido en el teléfono celular. Los aparatos también pueden comprender, por ejemplo, un detector de oído cuya salida es utilizable para determinar si el aparato está dispuesto junto a la cabeza de una persona, o más generalmente cerca de una perturbación ambiental. Un estimador de canal de un receptor de radio, por ejemplo, se puede habilitar para determinar, al menos en parte, una dirección de llegada de al menos una señal de radio, y el aparato de control se puede habilitar para acceder a esta información en realizaciones en las que el conjunto de coeficientes se selecciona al menos en parte en base a una dirección de llegada de al menos una señal. Adicionalmente o alternativamente, un aparato se puede configurar para emplear, a su vez, conjuntos de

coeficientes optimizados para diferentes direcciones de llegada de señales de radio, y para seleccionar un conjunto que proporcione el mejor rendimiento.

El aparato de control se puede configurar para seleccionar el conjunto de coeficientes en dos fases. Por ejemplo, el aparato de control se puede configurar para seleccionar inicialmente un conjunto de coeficientes en base a una primera condición de operación y posteriormente para seleccionar un conjunto de coeficientes, que puede ser relativamente similar al conjunto seleccionado inicialmente, en base a una segunda condición de operación. Por ejemplo, el aparato de control se puede configurar para seleccionar primero un primer conjunto de coeficientes para utilizar en base a una banda de frecuencia en uso y posteriormente para seleccionar un segundo conjunto de coeficientes en base a qué frecuencia dentro de la banda de frecuencia se está utilizando. Se puede realizar una segunda selección de coeficientes, que se desvía ligeramente de una primera selección, para ajustar con precisión la formación de haz de al menos un haz de antena.

Dado que se realiza formación de haz para mejorar la sensibilidad en una dirección desde donde llega una señal, la segunda selección también se puede realizar utilizando una dirección de una señal de llegada. El aparato de control puede tener acceso a un conjunto de conjuntos de coeficientes y a información referente a qué conjunto es óptimo para direcciones de llegada de señales específicas. Con este fin, se pueden cuantificar las direcciones de llegada. Por ejemplo, se puede determinar que una dirección de llegada caiga dentro de uno de una pluralidad de contenedores de dirección de llegada predefinidos. Los contenedores de dirección de llegada pueden comprender, por ejemplo, de 4 a 12 direcciones preconfiguradas de tal manera que se puede asignar una dirección de llegada realmente determinada a la dirección preconfigurada más cercana con el fin de seleccionar un conjunto de coeficientes. Alternativamente, el aparato de control puede estar equipado con información sobre cómo ajustar con precisión un conjunto de coeficientes seleccionados en la primera selección para mejorar la recepción desde una dirección desde la que se determina que llega una señal.

Una disposición de desacoplamiento como la descrita anteriormente e ilustrada en la Figura 2 o la Figura 3 se puede emplear en un receptor del móvil 110 o la estación base 120, por ejemplo. Sin embargo, la invención no se limita a ello, ya que se pueden utilizar disposiciones receptoras similares dentro del alcance de la presente invención en una diversidad de receptores diferentes, tales como por ejemplo receptores de enlace de microondas. Los aparatos receptores configurados para actuar de acuerdo con la presente invención se pueden vender como componentes para su utilización en la construcción de dispositivos que comprenden receptores que actúan de acuerdo con la presente invención. Se pueden proporcionar programas informáticos, por ejemplo en medios no transitorios, que se configuran para causar la selección de los coeficientes como se describió anteriormente. Tales programas informáticos también representan la presente invención. Tales programas informáticos pueden causar que el aparato de control, por ejemplo, dirija la operación de un receptor de acuerdo con los principios de la presente invención.

La Figura 4 es un diagrama de flujo de un primer método de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la invención. El procesamiento comienza en la fase 410, donde se determina que existe una necesidad de comunicación. Por ejemplo, un aparato puede ser encendido o un usuario puede interactuar con un aparato para causar que el aparato indique una necesidad de comunicación. El procesamiento avanza a la fase 420, donde se selecciona un conjunto de coeficientes. El conjunto de coeficientes puede comprender, por ejemplo, un conjunto de coeficientes para desacoplar los elementos de antena para reducir una correlación entre al menos dos elementos de antena. El conjunto de coeficientes se puede seleccionar de entre un conjunto de conjuntos de coeficientes equipados en el aparato. La selección se puede basar al menos en parte en al menos una condición de operación del aparato, como se describe anteriormente en relación con las Figuras 1-3.

La fase 430 comprende proporcionar el conjunto seleccionado de coeficientes a un receptor. Esto puede comprender proporcionar el conjunto seleccionado de coeficientes a los circuitos de multiplicación de la Figura 2, o a los mezcladores analógicos de la Figura 3. La provisión puede comprender, por ejemplo, proporcionar exactamente un coeficiente del conjunto seleccionado a cada circuito de multiplicación o mezclador analógico, respectivamente, de modo que se causa que cada coeficiente comprendido en el conjunto seleccionado sea proporcionado a exactamente un circuito de multiplicación o mezclador analógico. Posterior a la fase 430, los datos son recibidos en la fase 440, en donde en la fase 440 los elementos de antena son desacoplados al menos en parte utilizando el conjunto de coeficientes seleccionado en la fase 420 y proporcionados al receptor en la fase 430.

En la fase 450, que se puede producir simultáneamente con la fase 440, se determina si ha cambiado al menos una condición de operación del aparato. En algunas realizaciones, la fase 450 se realiza en respuesta a un intervalo de tiempo predeterminado que ha transcurrido durante la fase 440. En algunas realizaciones, la fase 450 se realiza en respuesta a una determinación de que una calidad de recepción de datos ha cambiado durante la fase 440. Por ejemplo, se puede determinar en la fase 450 si ha cambiado la al menos una condición de operación, que se utilizó al seleccionar el conjunto de coeficientes en la fase 420. Alternativamente, la determinación de la fase 450 puede implicar una condición de operación diferente.

En caso de que se determine que no se ha producido ningún cambio en la condición de operación, el procesamiento avanza de la fase 450 de vuelta a la fase 440. En caso de que se determine que se ha producido un cambio en al menos una condición de operación desde que se realizó la fase 420, el procesamiento puede avanzar de la fase 450 de vuelta a la fase 420 en la que se selecciona un nuevo conjunto de coeficientes. La nueva selección se puede basar al menos en parte en al menos una condición de operación que prevalece en el momento en que se realiza la nueva selección.

La Figura 5 es un diagrama de flujo de un segundo método de acuerdo con al menos algunas realizaciones de la invención. Las fases del método ilustrado se pueden realizar en el móvil 110 o la estación base 120, por ejemplo. La fase 510 comprende seleccionar un conjunto de coeficientes, en donde la selección se basa al menos en parte en una condición de operación relacionada con un aparato. La fase 520 comprende proporcionar el conjunto de coeficientes a un receptor, por ejemplo a circuitos de multiplicación o mezcladores analógicos como se describió anteriormente en relación con la Figura 4. La fase 530 comprende obtener señales intermedias utilizando los coeficientes, como se describió anteriormente en relación con la Figura 2 o la Figura 3. Finalmente, la fase 540 comprende sumar las señales intermedias para obtener salidas, como se describió anteriormente en relación con la Figura 2 o la Figura 3.

En general se proporciona un aparato, que comprende un circuito configurado para obtener al menos dos salidas, en donde cada salida comprende una suma de al menos dos señales intermedias, estando configurado el circuito para obtener cada señal intermedia aplicando un coeficiente a una señal recibida de un elemento de antena, correspondiendo cada salida a un haz de antena. El circuito puede comprender un ASIC, FPGA, DSP, procesador o circuito controlador, por ejemplo. El circuito puede comprender un circuito integrado especialmente diseñado o un circuito programable equipado con la programación adecuada. Al menos una de las señales y salidas intermedias puede comprender flujos de valores complejos. El aparato puede comprender además al menos un núcleo de procesamiento configurado para seleccionar de una pluralidad preconfigurada de conjuntos de coeficientes un primer conjunto de coeficientes, y para proporcionar el primer conjunto de coeficientes seleccionado al circuito para su utilización en la obtención de las señales intermedias, estando basada la selección al menos en parte en una condición de operación relacionada con el aparato. La pluralidad preconfigurada de conjuntos de coeficientes se puede almacenar en una memoria a la que puede acceder el al menos un núcleo de procesamiento. El circuito puede comprender un circuito sumador y circuito de multiplicación. La obtención de cada salida puede comprender sumar las al menos dos señales intermedias.

El circuito se puede configurar para obtener cada señal intermedia aplicando el coeficiente a la señal recibida desde uno y solo un elemento de antena. La aplicación del coeficiente a la señal puede comprender multiplicar cada muestra de formato digital de valor complejo comprendida en la señal por un coeficiente de valor complejo. La multiplicación compleja puede tener el efecto de cambiar la amplitud y fase de cada muestra comprendida en la señal.

El circuito puede comprender un circuito de modulación vectorial analógica configurado para recibir la señal del elemento de antena en formato analógico. En este caso, el circuito se puede configurar para mezclar la señal analógica con un coeficiente para modificar su amplitud y/o fase.

En algunas realizaciones, el al menos un núcleo de procesamiento se configura para seleccionar el primer conjunto de coeficientes para efectuar la formación de haz. En algunas realizaciones, el al menos un núcleo de procesamiento se configura para seleccionar, después de seleccionar el primer conjunto de coeficientes, un segundo conjunto de coeficientes para ajustar con precisión la formación de haz. La selección del primer conjunto de coeficientes puede tener lugar al menos en parte en base a una condición de operación del aparato que no comprende la dirección de llegada de una señal entrante, y la selección del segundo conjunto de coeficientes se puede basar al menos en parte basada en una dirección de llegada de una señal entrante.

Los conjuntos de coeficientes se pueden determinar utilizando uno o más métodos de determinación de coeficientes. Por ejemplo, se puede medir un coeficiente de correlación de envolvente, ECC, u otra cantidad de correlación para una disposición de antena en diferentes condiciones de operación. Manteniendo las condiciones de operación fijas y variando los coeficientes utilizados, se puede emplear una técnica de minimización para determinar para cada conjunto de condiciones de operación un conjunto correspondiente de coeficientes que en ese conjunto de condiciones de operación produce un ECC mínimo. Adicionalmente o alternativamente para minimizar el ECC, se puede determinar un conjunto de coeficientes para un conjunto de condiciones de operación buscando maximizar al menos uno de una capacidad de canal, balance de ramas y eficiencia. Cuando se está optimizando más de un parámetro, por minimización o maximización, se puede determinar una métrica compuesta en la que se introduce el más de un parámetro con los pesos que se consideran adecuados.

Alternativamente para determinar experimentalmente los conjuntos de coeficientes, se pueden utilizar métodos de determinación de coeficientes de simulación numérica o analíticos. Por ejemplo, un método para obtener coeficientes puede comprender obtener repetidamente un coeficiente de correlación de envolvente pronosticado que describe una propiedad de correlación de un arreglo de antenas, variando un conjunto de coeficientes y seleccionando un primer conjunto de coeficientes como un conjunto óptimo de coeficientes, en donde la selección se basa en una determinación

del coeficiente de correlación de envolvente pronosticado mínimo correspondiente al primer conjunto de coeficientes. En otras palabras, se pronostica un ECC para un arreglo de antenas y se varían los coeficientes para identificar un mínimo del ECC. El conjunto de coeficientes que produce el mínimo en ECC se puede considerar como los coeficientes óptimos para la condición de operación en cuestión. Los coeficientes se utilizan en este caso como entradas al obtener el ECC pronosticado. En algunas realizaciones, algunas condiciones de operación se asocian con conjuntos óptimos de coeficientes utilizando métodos numéricos o analíticos, y otras condiciones de operación se asocian con conjuntos óptimos de coeficientes utilizando un método experimental. Por ejemplo, la presencia de una cabeza puede ser difícil de modelar analíticamente, de modo que se puede utilizar experimentación para identificar cómo afecta a los coeficientes óptimos la presencia de una cabeza cerca del arreglo de antenas.

En general, las propiedades de radiación del elemento de antena, y especialmente un arreglo de antenas que comprende al menos dos elementos de antena, se ven afectadas por las tensiones de alimentación. En la práctica, estas tensiones se pueden controlar mediante circuitos de adaptación y puesta en fase de las antenas. Sin embargo, muchos simuladores electromagnéticos, EM, como HFSS, no soportan la inserción de parámetros del circuito, sino que cada circuito necesita un dibujo y una simulación EM completa para obtener datos de patrones para el cálculo de correlación de envolvente. En estudios de correlación de envolvente sistemáticos esto puede conducir a un procedimiento engorroso y lento. Por otro lado, se puede utilizar una descripción de la matriz de dispersión para crear datos del patrón de radiación con solo una ronda de simulación EM. La antena puede ser descrita por el sistema lineal

$$\begin{pmatrix} w^{ant} \\ E^{sca} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Gamma^{ant} & r^{ant} \\ t^{ant} & s^{ant} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v^{ant} \\ E^{inc} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

donde los vectores v^{ant} y w^{ant} , respectivamente, se componen de las amplitudes de las ondas de tensión incidentes y dispersas en los puertos de antena locales; los vectores E^{inc} y E^{sca} , respectivamente, se componen de muestras de patrones de campo incidentes y dispersos, o radiados, en una esfera que encierra toda la estructura de la antena; la matriz Γ^{ant} es la matriz de dispersión "ordinaria" de la antena; las matrices t^{ant} y r^{ant} , respectivamente, se componen de las muestras de los patrones de transmisión, o radiación, y recepción de la antena; y la matriz s^{ant} describe la dispersión del campo incidente por la antena cuando los puertos de antena locales están terminados por cargas adaptadas.

Cada bloque de la matriz en la ecuación (1) se puede evaluar utilizando un simulador electromagnético, EM. Por ejemplo, Γ^{ant} se puede obtener como resultado de una simulación multipuerto ordinaria. Cada columna de t^{ant} se puede obtener a través de un proceso posterior evaluando el patrón de radiación del campo radiado por la antena en un caso en el que uno de los puertos de antena es excitado con una onda de tensión incidente fija, y otros puertos están terminados por cargas adaptadas. Debido a la reciprocidad, r^{ant} puede ser esencialmente igual a la transposición de t^{ant} . La evaluación de s^{ant} puede requerir múltiples simulaciones con excitaciones de onda plana. Sin embargo, al analizar un dispositivo de radio separado, es decir, una estructura de antena en un espacio que está libre de cualquier otro dispositivo u objeto cercano, s^{ant} puede ser innecesario. Dejemos que la red sea descrita por el sistema lineal

$$\begin{pmatrix} w_1^{net} \\ w_2^{net} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Gamma_{11}^{net} & \Gamma_{12}^{net} \\ \Gamma_{21}^{net} & \Gamma_{22}^{net} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1^{net} \\ v_2^{net} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

donde los vectores v_1^{net} y w_1^{net} , respectivamente, se componen de las amplitudes de las ondas de tensión incidentes y dispersas en los puertos de la red que no deben ser conectados a la antena; los vectores v_2^{net} y w_2^{net} , respectivamente, se componen de las amplitudes de las ondas de tensión incidentes y dispersas en los puertos de la red que deben ser conectados a la antena; y las matrices Γ_{11}^{net} , Γ_{12}^{net} , Γ_{21}^{net} , Γ_{22}^{net} representan diferentes bloques de la matriz de dispersión total de la red.

Se obtiene una descripción de la combinación de la antena y la red a partir de (1) y (2) estableciendo $v^{ant} = w_2^{net}$, $v_2^{net} = w^{ant}$:

$$\begin{pmatrix} w_1^{net} \\ E^{scat} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Gamma^{sys} & r^{sys} \\ t^{sys} & s^{sys} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1^{net} \\ E^{inc} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

donde las matrices Γ^{sys} , t^{sys} , r^{sys} y s^{sys} son similares a las matrices en (1) pero incluyendo ahora los efectos tanto de la antena como de la red. Las fórmulas para Γ^{sys} , t^{sys} , r^{sys} y s^{sys} se obtienen mediante álgebra matricial simple. Considérese un caso en el que el sistema está recibiendo una señal transportada por un campo incidente E^{inc} . Dejemos que los puertos estén terminados por cargas descritas por:

$$w^{load} = \Gamma^{load} v^{load}, \quad (4)$$

donde Γ^{load} es normalmente una matriz diagonal, v^{load} y w^{load} en términos de E^{inc} se encuentran a partir de (3) y (4) estableciendo $v^{load} = w_1^{net}$, $v_1^{net} = w^{load}$. Si es necesario, las tensiones totales U y las corrientes totales I en cualquier conjunto de puertos se obtienen a partir de

$$\begin{aligned} U &= z^{1/2}(v + w), \\ I &= z^{-1/2}(v - w) \end{aligned} \quad (5)$$

donde z es una matriz diagonal que se compone de las impedancias nominales de los puertos.

Se puede obtener una fórmula aproximada para el coeficiente de correlación de envolvente, denotado ρ_e . La aproximación se puede basar en la suposición de circunstancias muy simples, que implican el componente de campo θ en el corte horizontal, $\theta = 90^\circ$, con un patrón único de antena receptora, una constante, $E_\theta \equiv 1$. La obtención también puede requerir que se cumplan las siguientes condiciones:

1) Las partes real- (x_n) e imaginaria (y_n) de la señal sean variables aleatorias Gaussianas de media cero de igual varianza, es decir, la señal es distribuida de Rayleigh

2) x_n y y_n sean independientes:

$$\langle x_1 y_1 \rangle = 0, \quad \langle x_2 y_2 \rangle = 0, \quad \langle x_1 y_2 \rangle = 0, \quad \langle x_2 y_1 \rangle = 0$$

3) las correlaciones ρ entre las dos partes real- e imaginaria de la señal sean iguales y pequeñas:

$$\rho = \frac{\langle x_1 x_2 \rangle}{\sigma^2} = \frac{\langle y_1 y_2 \rangle}{\sigma^2} < 1$$

Finalmente, se obtiene la fórmula:

$$\rho_e \approx \left(\frac{\langle x_1 x_2 \rangle}{\langle x_1^2 \rangle} \right)^2 = |\rho|^2 \quad (6)$$

En una forma generalizada, esta expresión aproximada para el coeficiente de correlación de envolvente se puede expresar mediante la fórmula analítica

$$\rho_e = \frac{\left| \int_{\Omega} (XPR \cdot E_{\theta 1} E_{\theta 2}^* P_{\theta} + E_{\phi 1} E_{\phi 2}^* P_{\phi}) d\Omega \right|^2}{\int_{\Omega} (XPR \cdot |E_{\theta 1}|^2 P_{\theta} + |E_{\phi 1}|^2 P_{\phi}) d\Omega \int_{\Omega} (XPR \cdot |E_{\theta 2}|^2 P_{\theta} + |E_{\phi 2}|^2 P_{\phi}) d\Omega} \quad (7)$$

Aquí, XPR representa la relación de polarización cruzada, es decir, la relación de la potencia en la polarización θ a la potencia en la polarización ϕ del campo entrante. P_{θ} y P_{ϕ} son los componentes θ y ϕ de las funciones de densidad angular de la onda plana entrante, que se deben normalizar para que satisfagan las condiciones

$$\int_{\Omega} P_{\theta} d\Omega = \int_{\Omega} P_{\phi} d\Omega = 1 \quad (8)$$

5

La ecuación (7) muestra claramente que ρ_e nunca puede ser negativo, a diferencia de la definición habitual del coeficiente de correlación, que puede recibir valores entre -1 y 1.

Sin embargo, esta diferencia no es crítica, porque a todos los efectos prácticos el coeficiente de correlación de envolvente resulta ser mayor que cero. Al utilizar la fórmula analítica para calcular la correlación, se tiene en cuenta el acoplamiento mutuo de las dos antenas utilizando los campos eléctricos modificados por el acoplamiento en la fórmula (7). En otras palabras, el campo se puede obtener alimentando el puerto de la antena correspondiente mientras otro puerto de antena se termina con una carga de 50 Ohmios.

10

Siguiendo la definición común del coeficiente de correlación, el coeficiente de correlación de la envolvente, o amplitud de tensión, para dos antenas se puede expresar como:

$$\rho_e = \frac{\langle |V_1| |V_2| \rangle - \langle |V_1| \rangle \langle |V_2| \rangle}{\sqrt{[\langle |V_1|^2 \rangle - \langle |V_1| \rangle^2][\langle |V_2|^2 \rangle - \langle |V_2| \rangle^2]}} \quad (9)$$

15

donde $\langle \rangle$ representa el valor esperado o el promedio de tiempo. La señal recibida por la antena n (la tensión inducida en los terminales de la antena) es

$$V_n(t) = \sum_{l=1}^L \mathbf{h}_n(\theta, \phi) \cdot \mathbf{E}_l(\theta, \phi) = x_n + j y_n \quad n = 1, 2 \quad (10)$$

donde h_n es la altura efectiva del vector de la antena n , que incluye el patrón de radiación de la antena. $E_l(\theta, \phi)$, $l = 1 \dots L$ representa los campos eléctricos entrantes desde la dirección θ, ϕ que llegan en el instante t a las antenas. Numéricamente, un campo entrante es simulado mediante un número complejo, cuyas partes real e imaginaria son números aleatorios distribuidos normalmente. En el caso de un canal de desvanecimiento de Rayleigh, sus valores medios son cero, correspondientes a una propagación de trayectoria múltiple fuera de la línea de visión. La porción de la línea de visión debido al canal de desvanecimiento de Rice se incluye en la señal agregando un componente real a la suma de rayos simultáneamente entrantes.

20

25

Debido a que el coeficiente de correlación se calcula aquí de manera estocástica, el número finito de señales fuente sucesivas limita la precisión del cálculo. El número total de señales puede ser 1000000. Por ejemplo, se pueden utilizar

dos divisiones en señales simultáneas (100 y 10) y sucesivas (10000 y 100000). La elección de la división puede no marcar una diferencia significativa en los resultados calculados.

Las tensiones correspondientes con puertos terminados en impedancias de carga, se pueden obtener de dos maneras:

5 1) Caso de puerto cargado (LPC): los patrones de radiación utilizados al calcular la señal recibida por la antena son aquellos en los que los puertos de antena están terminados por cargas.

2) Caso de circuito abierto (OCC): los patrones de radiación de circuito abierto se utilizan en la altura efectiva del vector para obtener tensiones de circuito abierto (V_1, V_2) con la fórmula (10). Las tensiones correspondientes (V_{c1}, V_{c2}) cuando los puertos están terminados en impedancias de carga (Z_{L1}, Z_{L2}) es dada por

$$\mathbf{V}^C = \begin{pmatrix} V_{c1} \\ V_{c2} \end{pmatrix} = \mathbf{Z}^C \mathbf{V} = \mathbf{Z}_L (\mathbf{Z} + \mathbf{Z}_L)^{-1} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad (11)$$

10 donde $\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix}$ es la matriz de impedancia del sistema de antena que se compone de autoimpedancias e impedancias mutuas y $\mathbf{Z}_L = \begin{pmatrix} Z_{L1} & 0 \\ 0 & Z_{L2} \end{pmatrix}$, donde Z_{L1} y Z_{L2} son las impedancias de carga. Las tensiones V_{c1}, V_{c2} se utilizan en la fórmula (9) para obtener el coeficiente de correlación de envolvente.

15 El coeficiente de correlación complejo también se calcula estocásticamente mediante la fórmula del coeficiente de correlación de la misma manera que la correlación de envolvente descrita en la sección anterior. Ahora la amplitud de la tensión se reemplaza por la tensión compleja:

$$\rho = \frac{\langle V_1 V_2^* \rangle - \langle V_1 \rangle \langle V_2^* \rangle}{\sqrt{[\langle V_1 V_1^* \rangle - \langle V_1 \rangle \langle V_1^* \rangle][\langle V_2 V_2^* \rangle - \langle V_2 \rangle \langle V_2^* \rangle]}} \quad (12)$$

El coeficiente de correlación de envolvente, ECC, es igual al cuadrado de amplitud del coeficiente de correlación complejo como se muestra en la ecuación (6), cuando se cumplen las condiciones mencionadas.

20 Si la correlación es definida por la ecuación (7) con $XPR = 1, P_\theta = 1$ y $P_\phi = 1$, y si el sistema de antena es pasivo y sin pérdidas, la correlación se puede calcular directamente a partir de las entradas de la matriz de dispersión "ordinaria" del sistema de antena como

$$\rho_e = \frac{|\Gamma_{11}^* \Gamma_{12} + \Gamma_{21}^* \Gamma_{22}|^2}{(1 - |\Gamma_{11}|^2 - |\Gamma_{21}|^2)(1 - |\Gamma_{12}|^2 - |\Gamma_{22}|^2)} \quad (13)$$

25 La ecuación también se puede obtener a partir de la descripción de la matriz de dispersión de la forma de (1) cuando hay dos puertos locales. Concretamente, la multiplicación de las dos primeras columnas de la matriz, primero independientemente y luego mutuamente, produce, debido a las propiedades de una matriz general de dispersión pasiva y sin pérdidas,

$$\begin{aligned}
 t_1^H t_1 &= 1 - |\Gamma_{11}|^2 - |\Gamma_{21}|^2, \\
 t_2^H t_2 &= 1 - |\Gamma_{12}|^2 - |\Gamma_{22}|^2, \\
 t_1^H t_2 &= -\Gamma_{11}^* \Gamma_{12} - \Gamma_{21}^* \Gamma_{22}.
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Ahora, estas ecuaciones son esencialmente iguales a las tres integrales en (7) y, por lo tanto, proporcionan la ecuación (13). La ecuación (13) se puede utilizar para aproximar los niveles de adaptación y aislamiento para lograr cierta correlación de envolvente. El numerador de la ec. (13) se elige de modo que obtenga su valor máximo.

5 En general, la ecuación analítica (7) y las fórmulas de correlación compleja (12) pueden producir el mismo resultado. La ecuación (13) proporciona el resultado correcto solo en un caso sin pérdidas.

Cuando se utiliza la definición de dispersión de la antena, se pueden cambiar diferentes radiaciones de recepción mediante la utilización de diferentes coeficientes de ponderación al combinar las señales de los elementos de antena.

10 Mediante la utilización de diferentes coeficientes de ponderación se sabe cómo cambian los patrones de antena o las señales recibidas o las impedancias de la antena. Esta información se puede utilizar por ejemplo para calcular la correlación de envolvente, el balance de ramas, las impedancias de los puertos, los acoplamientos de los puertos y/o la eficiencia de la radiación.

15 Todo esto se puede hacer de antemano bajo diferentes condiciones de operación, lo que significa que posteriormente si se conocen las condiciones de operación el sistema puede seleccionar un conjunto óptimo de coeficientes de ponderación para esas condiciones de operación.

Debe entenderse que las realizaciones de la invención descritas no están limitadas a las estructuras, pasos del proceso o materiales particulares descritos en la presente memoria, sino que se extienden a equivalentes de los mismos como sería reconocido por los expertos en las técnicas relevantes. También debe entenderse que la terminología empleada en la presente memoria se utiliza para el propósito de describir realizaciones particulares solamente y no pretende ser limitativo.

20 La referencia a lo largo de esta especificación a "una realización" significa que un rasgo, estructura o característica particular descrita en relación con la realización se incluye en al menos una realización de la presente invención. Por tanto, las apariciones de las frases "en una realización" en diversos lugares a lo largo de esta especificación no se refieren necesariamente todas a la misma realización.

25 Como se utiliza en la presente memoria, se puede presentar una pluralidad de artículos, elementos estructurales, elementos compositivos y/o materiales en una lista común por conveniencia. Sin embargo, estas listas se deben interpretar como si cada miembro de la lista se identificara individualmente como un miembro separado y único. Por tanto, ningún miembro individual de tal lista se debe interpretar como un equivalente de facto de cualquier otro miembro de la misma lista en base únicamente a su presentación en un grupo común sin indicaciones de lo contrario. Además, se puede hacer referencia en la presente memoria a diversas realizaciones y ejemplos de la presente invención junto con alternativas para los diversos componentes de la misma. Se entiende que tales realizaciones, ejemplos y alternativas no se deben interpretar como equivalentes de facto el uno del otro, sino que se deben considerar como representaciones separadas y autónomas de la presente invención.

30 Además, los rasgos, estructuras o características descritas se pueden combinar de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones. En la siguiente descripción, se proporcionan numerosos detalles específicos, tales como ejemplos de longitudes, anchuras, formas, etc., para proporcionar una comprensión completa de las realizaciones de la invención. Un experto en la técnica relevante reconocerá, sin embargo, que la invención se puede practicar sin uno o más de los detalles específicos, o con otros métodos, componentes, materiales, etc. En otros casos, las estructuras, materiales u operaciones bien conocidos no se muestran o describen en detalle para evitar oscurecer aspectos de la invención.

Si bien los ejemplos anteriores son ilustrativos de los principios de la presente invención en una o más aplicaciones particulares, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar numerosas modificaciones en la forma, el uso y los detalles de implementación sin el ejercicio de facultad inventiva, y sin desviarse de los principios y conceptos de la invención. Por consiguiente, no se pretende que la invención esté limitada, excepto por las reivindicaciones expuestas a continuación.

5

REIVINDICACIONES

1. Un aparato que comprende:

5 circuito (220, 222, 224, 226, 230, 232) configurado para obtener al menos dos flujos de salida, en donde cada flujo de salida comprende una suma de al menos dos señales intermedias, estando configurado el circuito para obtener cada señal intermedia aplicando un coeficiente (c1A, c2A, c1B, c2B) a una señal recibida de un elemento de antena (206, 208), correspondiendo cada flujo de salida a un haz de antena (200A, 200B), siendo el aparato un aparato de comunicaciones móviles,

en donde el aparato comprende además

10 al menos un núcleo de procesamiento configurado para determinar una condición de operación relacionada con el aparato, seleccionar, en base al menos en parte a la condición de operación, de una pluralidad preconfigurada de conjuntos de coeficientes, un primer conjunto de coeficientes (c1A, c2A, c1B, c2B) designado como óptimo para la condición de operación, y proporcionar el primer conjunto de coeficientes seleccionado (c1A, c2A, c1B, c2B) al circuito para su utilización en la obtención de las señales intermedias para reducir así la correlación entre los flujos de salida, en donde la condición de operación comprende al menos una de: una frecuencia que se está utilizando y una banda de frecuencia que se está utilizando, no comprendiendo la condición de operación una dirección de llegada de una señal de entrada.

2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el circuito (220, 222, 224, 226) se configura para obtener cada señal intermedia aplicando el coeficiente (c1A, c2A, c1B, c2B) a la señal recibida de un y solo un elemento de antena (206, 208).

20 3. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en donde la aplicación del coeficiente (c1A, c2A, c1B, c2B) cambia al menos una de una amplitud y fase de la señal.

4. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en donde el circuito (220, 222, 224, 226) se configura para recibir cada señal de cada elemento de antena (206, 208) en formato digital a través de al menos un convertor analógico a digital (210, 212), y en donde la aplicación del coeficiente (c1A, c2A, c1B, c2B) comprende multiplicar con un número complejo que comprende partes real e imaginaria.

5. Aparato de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el aparato comprende el al menos un convertor analógico a digital (210, 212).

30 6. Un aparato de acuerdo con las reivindicaciones 1-3, en donde el circuito (220, 222, 224, 226, 230, 232) se configura para recibir cada señal de cada elemento de antena (206, 208) en formato analógico, y en donde la aplicación del coeficiente (c1A, c2A, c1B, c2B) comprende mezclar la señal analógica recibida con el coeficiente.

7. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en donde el al menos un núcleo de procesamiento se configura para seleccionar el primer conjunto de coeficientes (c1A, c2A, c1B, c2B) para efectuar la formación de haz.

35 8. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el al menos un núcleo de procesamiento se configura para seleccionar, posteriormente a la selección del primer conjunto de coeficientes (c1A, c2A, c1B, c2B), un segundo conjunto de coeficientes (c1A, c2A, c1B, c2B) para ajustar con precisión la formación de haz.

9. Un aparato de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en donde el al menos un núcleo de procesamiento se configura para realizar la selección del primer conjunto de coeficientes (c1A, c2A, c1B, c2B) en respuesta a una determinación de un cambio en la condición de operación.

10. Un método que comprende:

40 obtener (540) al menos dos flujos de salida, en donde cada flujo de salida comprende una suma de al menos dos señales intermedias, y obtener (530) cada señal intermedia aplicando un coeficiente a una señal recibida desde un elemento de antena, correspondiendo cada flujo de salida a un haz de antena;

determinar una condición de operación relacionada con un aparato que realiza el método, siendo el aparato un aparato de comunicaciones móviles,

45 en donde el método comprende además

seleccionar (420), en base al menos en parte a una condición de operación, de una pluralidad preconfigurada de conjuntos de coeficientes, un primer conjunto de coeficientes designado como óptimo para la condición de operación,

y proporcionar (430) el primer conjunto de coeficientes seleccionado para su utilización en la obtención (530) de las señales intermedias, para reducir así la correlación entre los flujos de salida, en donde la condición de operación comprende al menos una de: una frecuencia que se está utilizando y una banda de frecuencia que se está utilizando, no comprendiendo la condición de operación una dirección de llegada de una señal de entrada.

- 5 11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la obtención de cada señal intermedia comprende aplicar el coeficiente a la señal recibida de un y solo un elemento de antena.
12. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-11, en donde la aplicación del coeficiente cambia al menos una de una amplitud y fase de la señal.
- 10 13. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-12, que comprende además recibir cada señal de cada elemento de antena en formato digital a través de al menos un convertor analógico a digital, y en donde la aplicación del coeficiente comprende multiplicar con un número complejo que comprende partes real e imaginaria.
14. Un programa informático configurado para causar un método de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 10-13 o 15 a ser realizada.
15. Un método, que comprende:
- 15 obtener repetidamente un coeficiente de correlación de envolvente pronosticado que describe una correlación entre los flujos de salida, correspondiendo cada flujo de salida a un haz de antena de un arreglo de antenas bajo una primera condición de operación de un aparato, en donde cada flujo de salida comprende una suma de al menos dos señales intermedias, obtenida cada señal intermedia aplicando un coeficiente a una señal recibida de un elemento de antena, siendo el aparato un aparato de comunicaciones móviles;
- 20 variar un conjunto de coeficientes,
- seleccionar un primer conjunto de coeficientes como un conjunto óptimo de coeficientes, en donde la selección se basa al menos en parte en una determinación de un coeficiente de correlación de envolvente pronosticado mínimo correspondiente al primer conjunto de coeficientes, y
- 25 establecer el primer conjunto de coeficientes como óptimo para la primera condición de operación, en donde la primera condición de operación comprende una banda de frecuencia que se está utilizando, no comprendiendo la condición de operación una dirección de llegada de una señal de entrada.

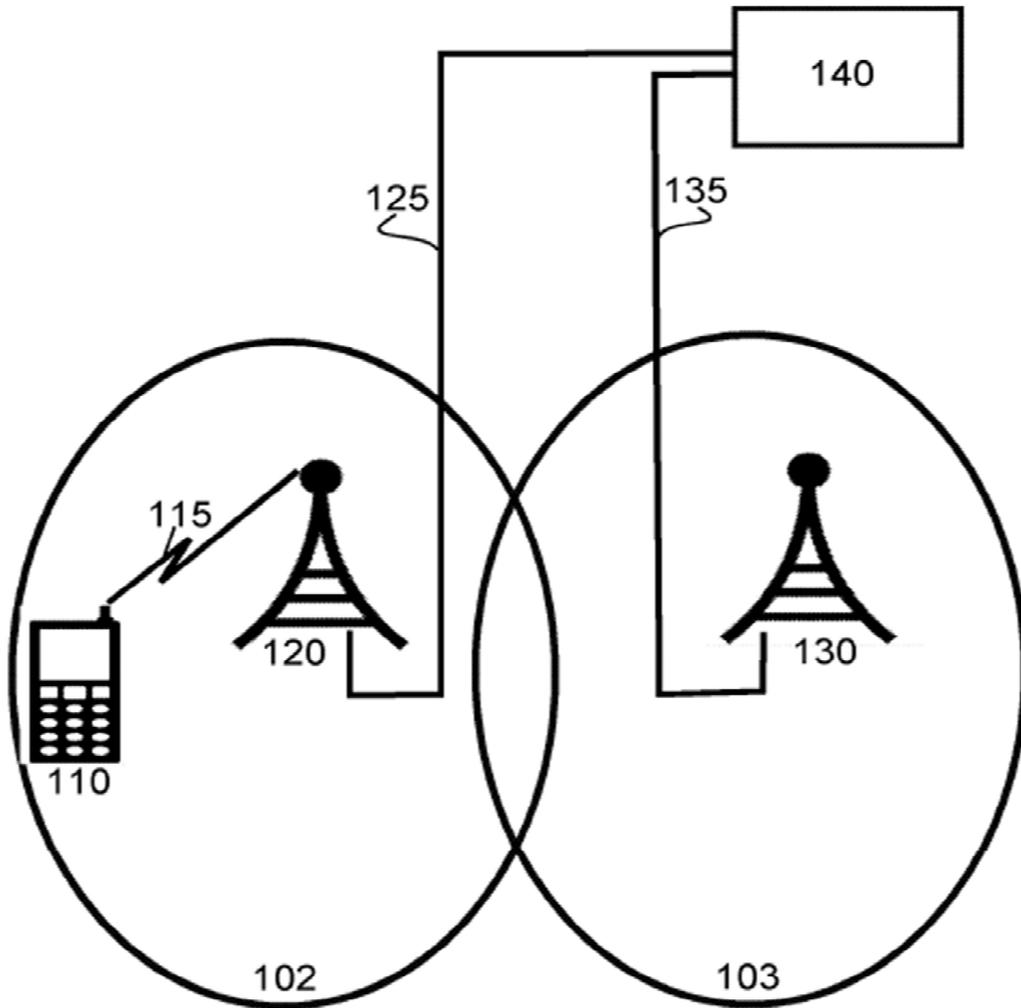


FIGURA 1

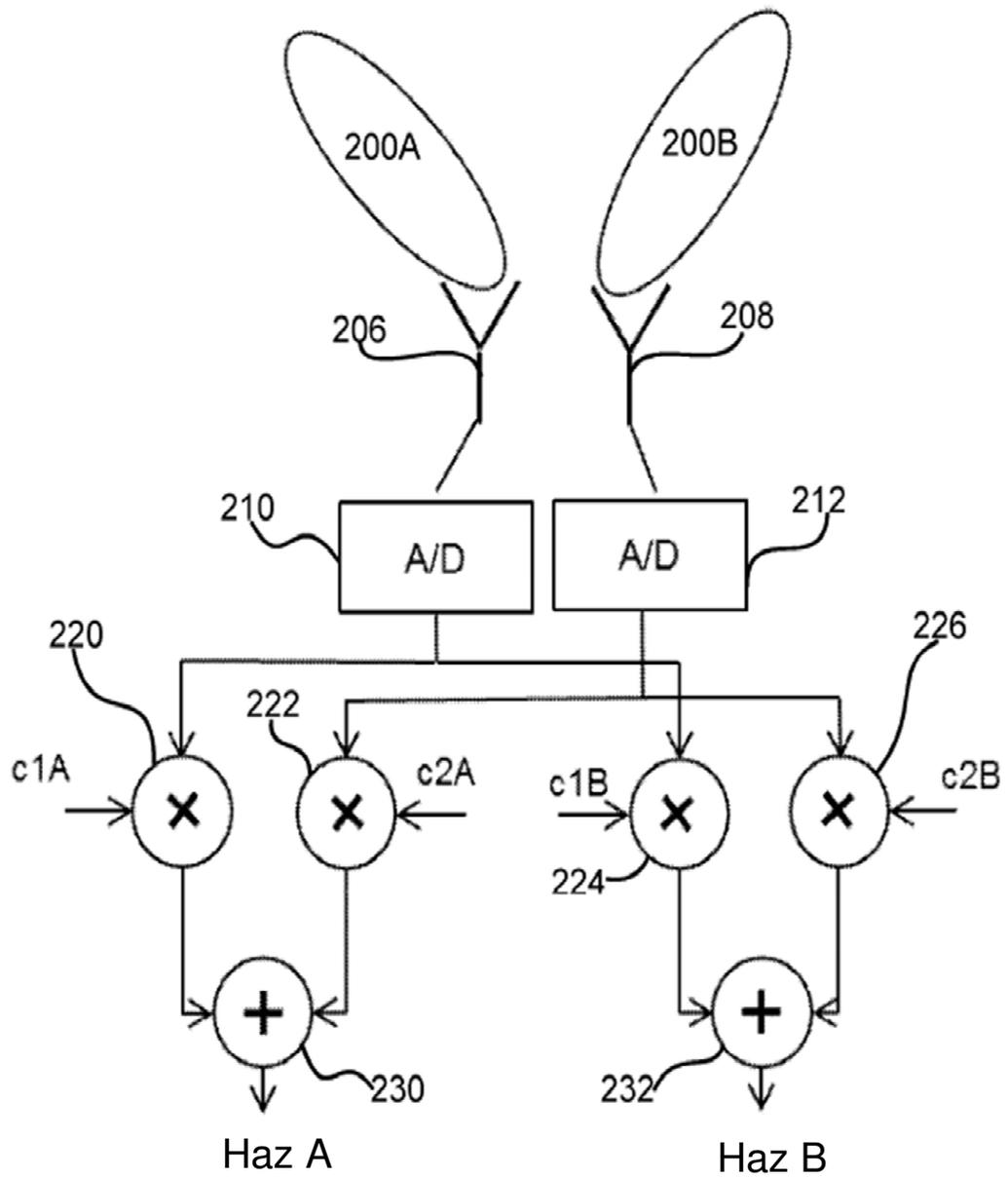


FIGURA 2

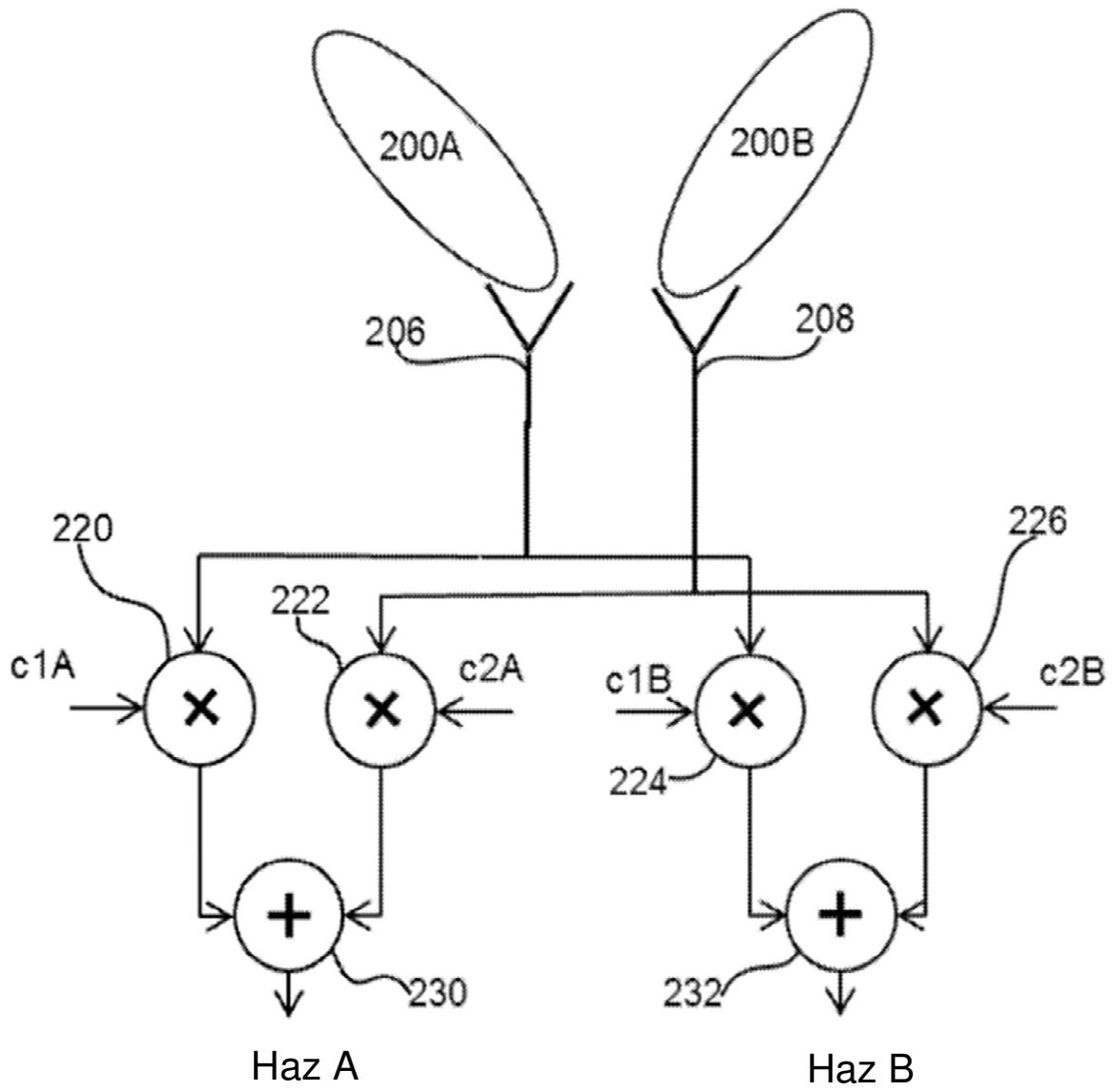


FIGURA 3

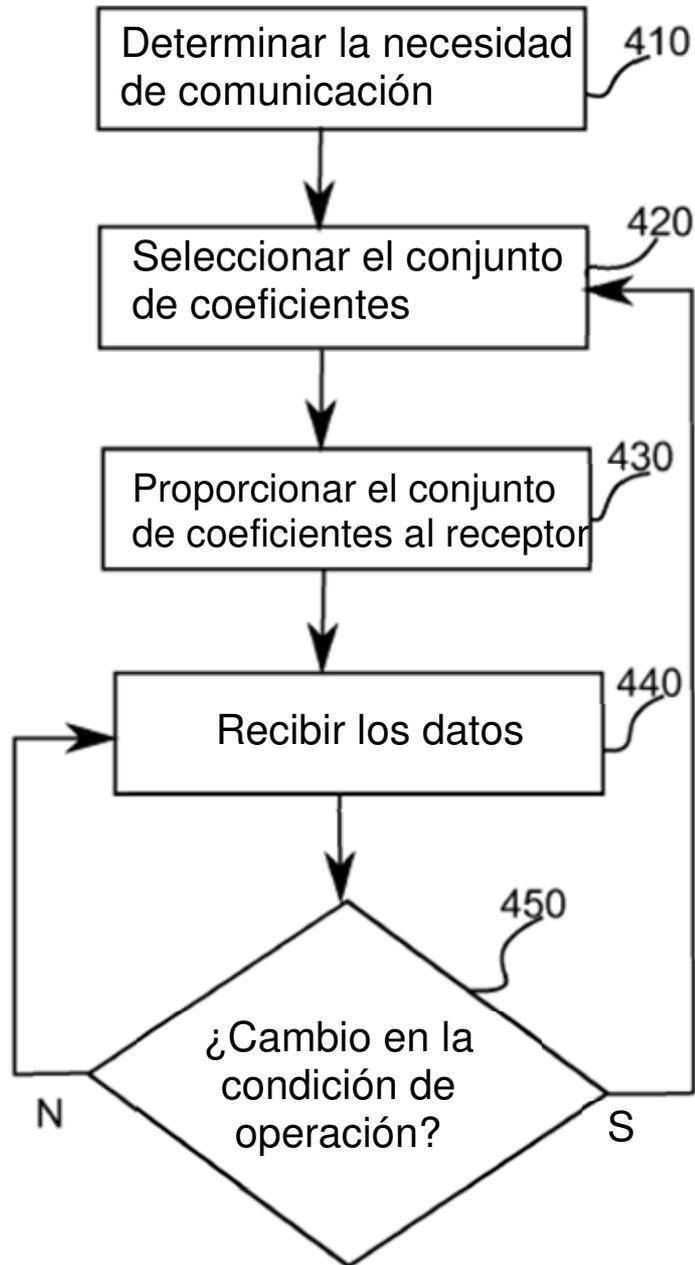


FIGURA 4

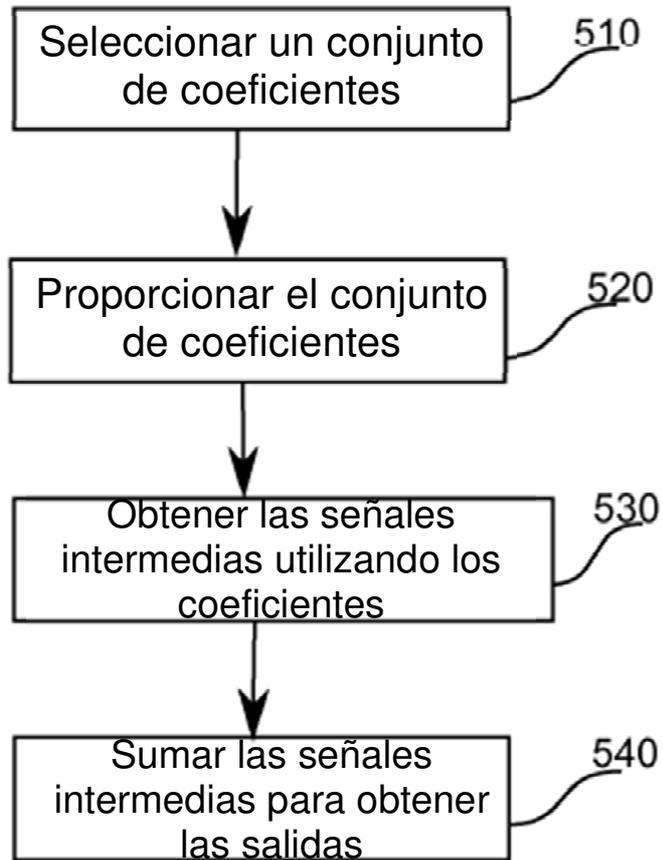


FIGURA 5