

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 067**

51 Int. Cl.:

H04B 7/06 (2006.01)

H04B 7/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2007 E 14182259 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2017 EP 2840720**

54 Título: **Procedimientos de dirección de haz adaptativa para maximizar el presupuesto del enlace inalámbrico y reducir la propagación de retardo utilizando múltiples antenas de transmisión y recepción**

30 Prioridad:

14.02.2006 US 773508 P

13.02.2007 US 706711

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

08.09.2017

73 Titular/es:

QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)

**5775 Morehouse Drive
San Diego, CA 92121, US**

72 Inventor/es:

**NASSIRI-TOUSASI, KARIM;
GILBERT, JEFFREY M.;
SHUNG, CHUEN-SHEN y
CHERNIAVSKY, DMITRY M.**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 632 067 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

Procedimientos de dirección de haz adaptativa para maximizar el presupuesto del enlace inalámbrico y reducir la propagación de retardo utilizando múltiples antenas de transmisión y recepción

5

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0001]En la mayoría de los sistemas de comunicación inalámbrica, el enlace aéreo consiste en el canal de propagación entre una antena de transmisión y una antena de recepción. Sin embargo, se ha establecido que el uso de múltiples antenas en el transmisor y el receptor puede aumentar significativamente el presupuesto del enlace y, en consecuencia, la capacidad del enlace. El inconveniente de este enfoque es que la complejidad del sistema también puede aumentar dramáticamente. Los sistemas con múltiples antenas de transmisión y recepción se denominan sistemas MIMO (múltiples entradas y múltiples salidas) inalámbricos.

10

[0002] Para los sistemas MIMO, el aumento en el presupuesto del enlace o la capacidad de enlace se logra mediante uno de los siguientes enfoques: aumento de la diversidad, multiplexación y formación de haces. Cuando se utiliza un enfoque que aumenta la diversidad, las réplicas similares de la señal son transmitidas y recibidas por múltiples antenas. Estas transmisiones múltiples están separadas (no correlacionadas) en el tiempo mediante la utilización de distintos retardos, o en la frecuencia mediante la utilización de compensaciones de frecuencias distintas, o en el espacio de código mediante el uso de permutaciones y/ o codificación específica. Las recepciones múltiples se combinan usando el receptor óptimo de combinación de relación máxima (MRC). Este enfoque no requiere el conocimiento de la función de transferencia de canal en el lado del transmisor. En algunos enfoques, sin embargo, se requiere que partes significativas de la ruta de datos de transmisión y recepción (interfaz analógica y digital) sean replicadas para cada antena.

15

20

25

[0003]La mayor parte de los sistemas MIMO actuales siguen el primer enfoque (diversidad) mencionado anteriormente. El presupuesto del enlace producido por este enfoque es aproximadamente N veces menor que el resultante de la formación de haces, donde N es el número de antenas. Además, en la mayoría de los casos, las implementaciones existentes requieren sistemas complejos en los que partes enteras de interfaces analógicas y digitales de la ruta de datos se replican por antena. En un esquema de multiplexación, el conocimiento exacto de la función de transferencia de canal se utiliza para conformar la función de transferencia de transmisión a recepción global en enlaces de transmisión separados (ortogonales), por los cuales los datos se multiplexan utilizando una codificación y distribución de potencia apropiadas basadas en el principio de llenado con agua (más potencia y datos por enlaces más potentes). Como se ha mencionado, este enfoque requiere algún conocimiento de la función de transferencia de canal en el lado del transmisor. También requiere que partes significativas de la ruta de datos de transmisión y recepción (analógica y digital) sean replicadas para cada antena. Sin embargo, si está diseñado de forma óptima, puede proporcionar la máxima capacidad.

30

35

[0004]Existen implementaciones basadas en el enfoque de multiplexación, pero su complejidad es bastante prohibitiva para aplicaciones inalámbricas de consumidores y móviles, a menos que la dimensión del sistema MIMO, es decir, el número de antenas, sea limitada, lo cual a su vez limita el aumento de presupuesto de enlace máximo alcanzable. En un enfoque de formación de haces, el conocimiento exacto de la función de transferencia de canal se utiliza para enfocar la transmisión a través del subespacio más intenso, denominado autovector, del canal global de transmisión a recepción. La señal se transmite entonces por ese subespacio. Esto se logra mediante un ajuste apropiado de la fase de la señal, y posiblemente de la ganancia, para cada antena de transmisión y recepción por separado. Este esquema requiere claramente un cierto conocimiento de la función de transferencia de canal en el lado del transmisor. Sin embargo, se puede implementar idealmente con replicar solo un subconjunto de la ruta de datos analógica, y por lo tanto puede requerir una implementación mucho más sencilla, y/ o permitir que se use un mayor número de antenas. También proporciona un presupuesto de enlace mejor que el enfoque de diversidad creciente descrito anteriormente y para canales que están altamente correlacionados puede aproximarse a la capacidad del procedimiento de multiplexación descrito anteriormente. Este procedimiento requiere que el ancho de banda de transmisión sea una pequeña fracción de la frecuencia portadora. Obsérvese que la multiplexación puede realizarse mediante la formación de haces paralelos a lo largo de los diversos vectores propios del canal de transmisión a recepción.

40

45

50

55

[0005] Las implementaciones de formación de haces se pueden encontrar principalmente en aplicaciones de radar, donde en primer lugar las unidades transmisora y receptora son las mismas, y en segundo lugar el objetivo de formación de haces es completamente diferente del presupuesto de enlace o de la maximización de capacidad de enlace. Otras propuestas de formación de haces utilizan técnicas directas de Decomposición de Valor Singular que dan como resultado implementaciones muy complejas que no son adecuadas para aplicaciones inalámbricas de consumidores y móviles y por consiguiente ponen límites a la dimensión del sistema MIMO, es decir, el número de antenas y, de ahí, al aumento de presupuesto de enlace máximo alcanzable.

60

[0006] El documento US 2004/209579 A1 divulga cálculos de ponderación de transmisión para comunicación por radio de formación de haces de vectores, en los que se calcula una disposición de transmisión a partir de señales recibidas en una pluralidad de antenas.

65

SUMARIO DE LA INVENCION

5 **[0007]** Se divulga un procedimiento y un aparato para la dirección de haz adaptativa. En un modo de realización, el procedimiento comprende realizar una dirección de haz adaptativa usando múltiples antenas de transmisión y recepción, incluyendo realizar iterativamente un par de secuencias de entrenamiento, en el que el par de secuencias de entrenamiento incluye estimar un vector de ponderación de disposición de antenas de transmisor y un vector de ponderación de disposición de antenas de receptor.

10 **BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS**

15 **[0008]** La presente invención se comprenderá más completamente a partir de la descripción detallada que se da a continuación y de los dibujos adjuntos de varios modos de realización de la invención, los cuales, sin embargo, no deben ser considerados como limitativos de la invención a los modos de realización específicos, sino que solo sirven para explicación y comprensión.

La **figura 1** es un diagrama de bloques de un modo de realización de un sistema de comunicación.

20 La **figura 2** es un diagrama de bloques de un modo de realización de un dispositivo integrado.

Las **figuras 3A** y **3B** ilustran las diversas etapas de búsqueda de haces.

La **figura 4** ilustra un modo de realización de una máquina de estado de dirección de haz.

25 La **figura 5** ilustra etapas de un modo de realización del proceso de búsqueda de haces.

La **figura 6** ilustra una formación de haces particular que se obtuvo como resultado del proceso de búsqueda de haces de la figura 5.

30 La **figura 7** ilustra un modo de realización de un diagrama de búsqueda y seguimiento de haz en la fuente / transmisor y en el destino / receptor respectivamente.

La **figura 8** es un ejemplo de una disposición de Hadamard.

35 La **figura 9** es un diagrama de flujo de un modo de realización del proceso de seguimiento de haz.

La **figura 10** ilustra un modo de realización alternativa de un proceso de búsqueda de haces.

40 La **figura 11** ilustra la noción de un canal de propagación agrupado.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA PRESENTE INVENCION

45 **[0009]**Una técnica eficiente y adaptativa para realizar la formación de haces para canales de propagación que varían en el tiempo con una complejidad reducida y potencialmente mínima y una ganancia aumentada y potencialmente máxima. A diferencia de las soluciones existentes, la formación de haces se realiza sin realizar directamente la Decomposición de Valor Singular (SVD), que es muy compleja de implementar. En su lugar, el autovector, o subespacio, de canal óptimo se obtiene a través de un esquema iterativo adaptativo.

50 **[0010]**Un efecto secundario de la formación de haces es que el canal formado por haz resultante tendría normalmente una propagación de retardo más corta, lo cual significa que la ventana de Interferencia Entre Símbolos (ISI) también será más corta.

55 **[0011]**En la siguiente descripción, se exponen numerosos detalles para proporcionar una explicación más completa de la presente invención. Sin embargo, a los expertos en la técnica les resultará evidente que la presente invención puede predecirse sin estos detalles específicos. En algunos ejemplos, se muestran estructuras y dispositivos bien conocidos en forma de diagrama de bloques, en lugar que de forma detallada, para evitar oscurecer la presente invención.

60 **[0012]**Algunas partes de las descripciones detalladas que siguen se presentan en términos de algoritmos y representaciones simbólicas de operaciones sobre bits de datos dentro de una memoria de ordenador o dispositivo de cálculo electrónico equivalente. Estas descripciones y representaciones algorítmicas son los medios utilizados por los expertos en las técnicas de procesamiento de datos para transmitir de forma más eficaz la sustancia de su trabajo a los expertos en la técnica. Un algoritmo está aquí, y generalmente, concebido para ser una secuencia auto-consistente de pasos que conducen a un resultado deseado. Los pasos son aquellos que requieren manipulaciones físicas de cantidades físicas. Normalmente, aunque no necesariamente, estas cantidades toman la forma de señales eléctricas o magnéticas capaces de ser almacenadas, transferidas, combinadas, comparadas y manipuladas de otra

65

manera. Se ha demostrado que es conveniente a veces, principalmente por razones de uso común, referirse a estas señales como bits, valores, elementos, símbolos, caracteres, términos, números o similares.

5 **[0013]** Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que todos estos términos y similares deben asociarse con las cantidades físicas apropiadas y son simplemente etiquetas convenientes aplicadas a estas cantidades. A menos que se indique específicamente lo contrario como se desprende del siguiente análisis, se apreciará que a lo largo de la descripción, los análisis que utilizan términos tales como "procesamiento" o "computación" o "cálculo" o "determinación" o "visualización" o similares, se refieren a la acción y procesos de un sistema informático o un dispositivo de cálculo electrónico similar que manipula y transforma datos representados como cantidades físicas (electrónicas) dentro de los registros y memorias del sistema informático en otros datos representados de manera similar como cantidades físicas dentro de las memorias o registros del sistema informático u otros dispositivos de almacenamiento, transmisión o visualización de información de este tipo.

15 **[0014]** La presente invención también se refiere a un aparato para llevar a cabo las operaciones del presente documento. Este aparato puede estar especialmente construido para los fines requeridos utilizando componentes digitales, o puede comprender un ordenador de propósito general selectivamente activado o reconfigurado por un programa informático almacenado en el ordenador. Dicho programa informático puede almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador, tal como, pero sin estar limitado a, cualquier tipo de disco incluyendo discos flexibles, discos ópticos, CD-ROM, y discos magnéticos ópticos, memorias de solo lectura (ROM), memorias de acceso aleatorio (RAM), EPROM, EEPROM, tarjetas magnéticas u ópticas o cualquier tipo de medios adecuados para almacenar instrucciones electrónicas, y cada uno acoplado a un bus de sistema informático.

25 **[0015]** Los algoritmos y visualizaciones presentados en el presente documento no están inherentemente relacionados con ningún ordenador u otro aparato en particular. Se pueden usar diversos sistemas de uso general con programas de acuerdo con las enseñanzas del presente documento, o puede resultar conveniente construir un aparato más especializado para llevar a cabo los pasos del procedimiento requerido. La estructura requerida para una variedad de estos sistemas aparecerá a partir de la siguiente descripción. Además, la presente invención no se describe con referencia a ningún lenguaje de programación particular. Se apreciará que se pueden usar una diversidad de lenguajes de programación, o diseño digital, para implementar las enseñanzas de la invención descrita en el presente documento.

35 **[0016]** Un medio legible por máquina incluye cualquier mecanismo para almacenar o transmitir información en una forma legible por una máquina (por ejemplo, un ordenador). Por ejemplo, entre los medios legibles por máquina se incluye una memoria de solo lectura ("ROM"), memoria de acceso aleatorio ("RAM"), medios de almacenamiento en disco magnético; medios de almacenamiento óptico, dispositivos de memoria flash; señales eléctricas, ópticas, acústicas u otra forma de señales propagadas (por ejemplo, ondas portadoras, señales infrarrojas, señales digitales, etc.); etc.

Un sistema de comunicación a modo de ejemplo

40 **[0017]** La figura 1 es un diagrama de bloques de un modo de realización de un sistema de comunicación. Con referencia a la figura 1, el sistema comprende un receptor multimedia 100, una interfaz de receptor multimedia 102, un dispositivo de transmisión 140, un dispositivo de recepción 141, una interfaz de reproductor multimedia 113, un reproductor multimedia 114 y una pantalla 115.

45 **[0018]** El receptor multimedia 100 recibe contenido de una fuente (no mostrada). En un modo de realización, el receptor multimedia 100 comprende un descodificador. El contenido puede comprender vídeo digital de banda base, tal como, por ejemplo, pero no limitado a, contenido que cumple las normas HDMI o DVI. En tal caso, el receptor multimedia 100 puede incluir un transmisor (por ejemplo, un transmisor HDMI) para enviar el contenido recibido.

50 **[0019]** El receptor multimedia 101 envía el contenido 101 al dispositivo transmisor 140 a través de la interfaz de receptor multimedia 102. En un modo de realización, la interfaz de receptor multimedia 102 incluye una lógica que convierte el contenido 101 en contenido HDMI. En tal caso, la interfaz de receptor multimedia 102 puede comprender un conector HDMI y el contenido 101 se envía a través de una conexión por cable; sin embargo, la transferencia podría ocurrir a través de una conexión inalámbrica. En otro modo de realización, el contenido 101 comprende contenido DVI.

60 **[0020]** En un modo de realización, la transferencia de contenido 101 entre la interfaz de receptor multimedia 102 y el dispositivo transmisor 140 se produce sobre una conexión cableada; sin embargo, la transferencia podría ocurrir a través de una conexión inalámbrica.

65 **[0021]** El dispositivo transmisor 140 transfiere de manera inalámbrica información al dispositivo receptor 141 utilizando dos conexiones inalámbricas. Una de las conexiones inalámbricas es a través de una antena en disposición de fase con formación de haces adaptativa. La otra conexión inalámbrica es a través del canal de comunicaciones inalámbrico 107, denominado en el presente documento canal posterior. En un modo de realización, el canal de comunicaciones inalámbricas 107 es unidireccional. En un modo de realización alternativo, el canal de

comunicaciones inalámbricas 107 es bidireccional. En un modo de realización, el canal posterior puede usar algunas o todas las mismas antenas que el canal formado por haz delantero (parte de 105). En otro modo de realización, los dos conjuntos de antenas están disgregados.

- 5 **[0022]** El dispositivo receptor 141 transfiere el contenido recibido del dispositivo transmisor 140 al reproductor multimedia 114 a través de una interfaz tal como una interfaz de reproductor multimedia 113. En un modo de realización, la transferencia del contenido entre el dispositivo receptor 141 y la interfaz de reproductor multimedia 113 se produce a través de una conexión por cable; Sin embargo, la transferencia podría ocurrir a través de una conexión inalámbrica. En un modo de realización, la interfaz de reproductor multimedia 113 comprende un conector
- 10 HDMI. De forma similar, la transferencia del contenido entre la interfaz del reproductor multimedia 113 y el reproductor multimedia 114 se produce a través de una conexión por cable; sin embargo, la transferencia podría producirse a través de una conexión inalámbrica. La transferencia también podría producirse a través de una interfaz de datos cableada o inalámbrica que no fuera una interfaz de reproductor multimedia.
- 15 **[0023]** El reproductor multimedia 114 hace que el contenido se reproduzca en la pantalla 115. En un modo de realización, el contenido es contenido HDMI y el reproductor multimedia 114 transfiere el contenido multimedia para mostrarlo a través de una conexión por cable; sin embargo, la transferencia podría ocurrir a través de una conexión inalámbrica. La pantalla 115 puede comprender una pantalla de plasma, una pantalla LCD, una CRT, etc.
- 20 **[0024]** Obsérvese que el sistema de la figura 1 puede alterarse para incluir un reproductor / grabador de DVD en lugar de un reproductor / grabador de DVD para recibir y reproducir y/ o grabar el contenido. Las mismas técnicas también se pueden utilizar en aplicaciones de datos no multimedia.
- 25 **[0025]** En un modo de realización, el transmisor 140 y la interfaz de receptor multimedia 102 son parte del receptor multimedia 100. De forma similar, en un modo de realización, el receptor 140, la interfaz de reproductor multimedia 113 y el reproductor multimedia 114 son todos parte del mismo dispositivo. En un modo de realización alternativo, el receptor 140, la interfaz de reproductor multimedia 113, el reproductor multimedia 114 y la pantalla 115 forman parte de la pantalla. Se muestra un ejemplo de un dispositivo de este tipo en la figura 2.
- 30 **[0026]** En un modo de realización, el dispositivo transmisor 140 comprende un procesador 103, un componente de procesamiento de banda base opcional 104, una antena en disposición de fase 105 y una interfaz de canal de comunicación inalámbrica 106. La antena de agrupamiento en fase 105 comprende un transmisor de radiofrecuencia (RF) que tiene una antena en disposición de fase controlada digitalmente acoplada y controlada por el procesador 103 para transmitir contenido al dispositivo receptor 141 usando formación de haces adaptativa.
- 35 **[0027]** En un modo de realización, el dispositivo receptor 141 comprende un procesador 112, un componente de procesamiento de banda base opcional 111, una antena en disposición de fase 110 y una interfaz de canal de comunicación inalámbrica 109. La antena en disposición de fase 110 comprende un transmisor de radiofrecuencia (RF) que tiene una antena en disposición de fase controlada digitalmente acoplada y controlada por el procesador 112 para recibir contenido desde el dispositivo transmisor 140 usando formación de haces adaptativa.
- 40 **[0028]** En un modo de realización, el procesador 103 genera señales de banda base que son procesadas por el procesamiento de señal de banda base 104 antes de ser transmitidas de forma inalámbrica por una antena en disposición de fase 105. En tal caso, el dispositivo receptor 141 incluye procesamiento de señal en banda base para convertir señales analógicas recibidas por la antena en disposición de fase 110 en señales de banda base para su procesamiento mediante el procesador 112. En un modo de realización, las señales en banda base son señales de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM).
- 45 **[0029]** En un modo de realización, el dispositivo transmisor 140 y/ o el dispositivo receptor 141 son parte de transceptores separados.
- 50 **[0030]** El dispositivo transmisor 140 y el dispositivo receptor 141 realizan comunicación inalámbrica utilizando una antena en disposición de fase con formación de haces adaptativa que permite la dirección del haz. La formación de haces es bien conocida en la técnica. En un modo de realización, el procesador 103 envía información de control digital a una antena en disposición de fase 105 para indicar una cantidad para desplazar uno o más desplazadores de fase en una antena en disposición de fase 105 para dirigir un haz formado por ella de una manera bien conocida en la técnica. El procesador 112 también utiliza información de control digital para controlar la antena en disposición de fase 110. La información de control digital se envía usando el canal de control 121 en el dispositivo transmisor 140 y el canal de control 122 en el dispositivo receptor 141. En un modo de realización, la información de control digital comprende un conjunto de coeficientes. En un modo de realización, cada uno de los procesadores 103 y 112 comprende un procesador de señal digital.
- 55 **[0031]** La interfaz de enlace de comunicación inalámbrica 106 está acoplada al procesador 103 y proporciona una interfaz entre el enlace de comunicación inalámbrica 107 y el procesador 103 para comunicar información de antena relacionada con el uso de la antena en disposición de fase y para comunicar información para facilitar la reproducción del contenido en la otra ubicación. En un modo de realización, la información transferida entre el
- 60
- 65

dispositivo transmisor 140 y el dispositivo receptor 141 para facilitar la reproducción del contenido incluye claves de cifrado enviadas desde el procesador 103 al procesador 112 del dispositivo receptor 141 y una o más confirmaciones del procesador 112 del dispositivo receptor 141 al procesador 103 del dispositivo transmisor 140.

5 **[0032]** El enlace de comunicación inalámbrica 107 también transfiere información de antena entre el dispositivo transmisor 140 y el dispositivo receptor 141. Durante la inicialización o afinación de las antenas en disposición de fase 105 y 110, el enlace de comunicación inalámbrica 107 transfiere información para permitir que el procesador 103 seleccione una dirección para la antena en disposición de fase 105. En un modo de realización, la información incluye, pero no se limita a, información de localización de antena e información de rendimiento correspondiente a la
10 ubicación de antena, tal como uno o más pares de datos que incluyen la posición de la antena en disposición de fase 110 y la intensidad de señal del canal para esa posición de la antena. En otro modo de realización, la información incluye, pero no se limita a, la información enviada por el procesador 112 al procesador 103 para permitir que el procesador 103 determine qué partes de la antena en disposición de fase 105 se usan para transferir contenido.

15 **[0033]** Cuando las antenas en disposición de fase 105 y 110 están funcionando en un modo durante el cual pueden transferir contenido (por ejemplo, contenido HDMI), el enlace de comunicación inalámbrica 107 transfiere una indicación del estado de la ruta de comunicación desde el procesador 112 del dispositivo receptor 141. La indicación del estado de comunicación comprende una indicación del procesador 112 que solicita al procesador 103 que dirija el haz en otra dirección (por ejemplo, a otro canal). Tal solicitud puede ocurrir en respuesta a la interferencia con la transmisión de partes del contenido. La información puede especificar uno o más canales alternativos que el procesador 103 puede usar.

20 **[0034]** En un modo de realización, la información de antena comprende la información enviada por el procesador 112 para especificar una ubicación a la que el dispositivo receptor 141 va a dirigir la antena en disposición de fase 110. Esto puede ser útil durante la inicialización cuando el dispositivo transmisor 140 indica al dispositivo receptor 141 dónde colocar su antena de manera que se puedan realizar mediciones de la calidad de la señal para identificar los mejores canales. La posición especificada puede ser una localización exacta o puede ser una localización relativa tal como, por ejemplo, la siguiente ubicación en un orden de ubicación predeterminado seguido por el
25 dispositivo transmisor 140 y el dispositivo receptor 141.

30 **[0035]** En un modo de realización, el enlace de comunicaciones inalámbricas 107 transfiere información desde el dispositivo receptor 141 al dispositivo transmisor 140 que especifica las características de antena de la antena 110 en disposición de fase, o viceversa. En un modo de realización, el enlace de comunicaciones 107 transfiere información desde el dispositivo receptor 141 al dispositivo transmisor 140 que puede usarse para controlar la antena 105 en disposición de fase.

Un ejemplo de una arquitectura de transceptor

40 **[0036]** A continuación se describe un modo de realización de un transceptor. El transceptor incluye rutas de transmisión y recepción para un transmisor y un receptor, respectivamente. En un modo de realización, el transmisor, para uso en comunicación con un receptor, comprende un procesador y una antena de formación de haces en disposición de fase. El procesador controla la antena para realizar la dirección de haz adaptativa usando múltiples antenas de transmisión conjuntamente con antenas de recepción del receptor realizando iterativamente un
45 conjunto de operaciones de entrenamiento. Una de las operaciones de entrenamiento comprende el procesador que hace que la antena de formación de haces en disposición de fase transmita una primera secuencia de entrenamiento mientras se establece un vector de ponderación de disposición de antenas de recepción del receptor y un vector de ponderación de disposición de antenas de transmisor cambia entre vectores de ponderación con un conjunto de vectores de ponderación. Otra de las operaciones de entrenamiento comprende el procesador que hace que la
50 antena de formación de haces en disposición de fase transmita una segunda secuencia de entrenamiento mientras que un vector de ponderación de disposición de antenas de transmisor se establece como parte de un proceso para calcular el vector de ponderación de disposición de antenas de recepción.

55 **[0037]** En un modo de realización, el receptor, para su uso en comunicación con un transmisor, comprende un procesador y una antena de formación de haces en disposición de fase. El procesador controla la antena para realizar la dirección de haz adaptativa usando múltiples antenas de recepción en conjunción con antenas de transmisión del transmisor realizando iterativamente un conjunto de operaciones de entrenamiento. Una de las operaciones de entrenamiento comprende el procesador que establece un vector de ponderación de disposición de antenas de recepción durante un proceso para estimar un vector de ponderación de disposición de antenas de transmisión haciendo que el transmisor transmita una primera secuencia de entrenamiento mientras se establece el vector de ponderación de disposición de antenas de recepción. Otra de las operaciones de entrenamiento comprende que el procesador calcule el vector de ponderación de disposición de antenas de recepción cuando el transmisor transmite una segunda secuencia de entrenamiento mientras se establece el vector de ponderación de
60 disposición de antenas del transmisor.

65 **[0038]** Las figuras 3A y 3B son diagramas de bloques de un modo de realización de un dispositivo transmisor y un

dispositivo receptor, respectivamente, que forman parte de un sistema de radio de antena múltiple de formación de haces adaptativa que contiene la figura 1. El transceptor 300 incluye múltiples cadenas de transmisión y recepción independientes y realiza la formación de haces en disposición de fase mediante una disposición de fase que toma una señal de RF idéntica y desplaza la fase para uno o más elementos de antena en la disposición para conseguir la dirección del haz.

[0039] Haciendo referencia a la figura 3A, el módulo de procesamiento de banda base digital (por ejemplo, Digital Signal Processor (DSP)) 301 formatea el contenido y genera señales de banda base en tiempo real. El módulo de procesamiento de banda base digital 301 puede proporcionar modulación, codificación FEC, ensamblaje de paquetes, intercalado y control de ganancia automático.

[0040] El módulo de procesamiento de banda base digital 301 envía entonces las señales de banda base para ser moduladas y enviadas a la parte de RF del transmisor. En un modo de realización, el contenido se modula en señales OFDM de una manera bien conocida en la técnica.

[0041] El convertidor digital-analógico (DAC) 302 recibe la salida de señales digitales emitidas desde el módulo de procesamiento de banda base digital 301 y las convierte en señales analógicas. En un modo de realización, las salidas de señal de DAC 302 están entre 0-1,7 GHz. La interfaz analógica 303 recibe las señales analógicas y las filtra con un filtro de rechazo de imagen de paso bajo apropiado y las amplifica de la forma correspondiente. El módulo IF 304 recibe la salida de la interfaz analógica 303 y la convierte a la frecuencia IF. En un modo de realización, la frecuencia IF está entre 2 - 15 GHz.

[0042] El mezclador de RF 305 recibe las señales emitidas desde el amplificador IF 304 y las combina con una señal procedente de un oscilador local (LO) (no mostrado) de una manera bien conocida en la técnica. Las señales emitidas desde el mezclador 305 están a una frecuencia intermedia. En un modo de realización, la frecuencia intermedia está entre 2 - 15 GHz.

[0043] El multiplexor 306 está acoplado para recibir la salida desde el mezclador 305 para controlar qué desplazadores de fase 307_{1-N} reciben las señales. En un modo de realización, los desplazadores de fase 307_{1-N} son desplazadores de fase cuantificados. En un modo de realización alternativo, los desplazadores de fase 307_{1-N} pueden ser reemplazados por amplificadores de IF o RF con ganancia y fase controlables. En un modo de realización, el módulo de procesamiento de banda base digital 201 controla también, a través del canal de control 360, la fase y la magnitud de las corrientes en cada uno de los elementos de antena en antena en disposición de fase para producir un patrón de haz deseado de una manera bien conocida en la técnica. En otras palabras, el módulo de procesamiento de banda base digital 201 controla los desplazadores de fase 307_{1-N} de antena en disposición de fase para producir el patrón deseado.

[0044] Cada uno de los desplazadores de fase 307_{1-K} produce una salida que es enviada a uno de los amplificadores de potencia 308_{1-N}, que amplifican la señal. Las señales amplificadas se envían a una disposición de antenas que tiene múltiples elementos de antena 309_{1-N}. En un modo de realización, las señales transmitidas desde las antenas 309_{1-N} son señales de radiofrecuencia entre 56-64 GHz. De este modo, se emiten múltiples haces desde la antena en disposición de fase.

[0045] Con respecto al receptor, las antenas 310_{1-N} reciben las transmisiones inalámbricas de las antenas 309_{1-NK} y las proporcionan a los desplazadores de fase 312_{1-N}, a través de amplificadores de bajo ruido 311_{1-N}, respectivamente. Como se ha expuesto anteriormente, en un modo de realización, los desplazadores de fase 312_{1-N} comprenden desplazadores de fase cuantificados. De forma alternativa, los desplazadores de fase 312_{1-N} pueden ser reemplazados por multiplicadores complejos. Los desplazadores de fase 312_{1-N} reciben las señales de las antenas 310_{1-N}, que se combinan mediante el combinador de RF 313 para formar una salida de alimentación de línea única. En un modo de realización, se utiliza un multiplexor para combinar las señales de los diferentes elementos y dar salida a la única línea de alimentación. La salida del combinador de RF 313 se introduce en el mezclador de RF 314.

[0046] El mezclador 314 recibe la salida del combinador de RF 313 y la combina con una señal de un LO (no mostrado) de una manera bien conocida en la técnica. En un modo de realización, la salida del mezclador 314 es una señal con la frecuencia portadora IF de 2-15 GHz. El módulo IF transforma a continuación la señal IF en la frecuencia de la banda base. En un modo de realización, hay señales I y Q, que están entre 0-1,7 GHz.

[0047] El convertidor analógico-digital (ADC) 316 recibe la salida de IF 315 y la convierte en forma digital. La salida digital del ADC 316 es recibida por el módulo de procesamiento de banda base digital (por ejemplo, DSP) 318. El módulo de procesamiento de banda base digital 318 restaura la amplitud y la fase de la señal. El módulo de procesamiento de banda base digital 318 puede proporcionar demodulación, desensamblado de paquetes, desentrelazado y ganancia automático.

[0048] En un modo de realización, cada uno de los transceptores incluye un microprocesador de control que establece información de control para el módulo de procesamiento de banda base digital (por ejemplo, DSP). El

microprocesador de control puede estar en la misma matriz que el módulo de procesamiento de banda base digital (por ejemplo, DSP).

Formación de haces adaptativa controlada por DSP

5 **[0049]** En un modo de realización, las DSP implementan un algoritmo adaptativo con las ponderaciones de formación de haces que se implementan en hardware. Es decir, el transmisor y el receptor trabajan juntos para realizar la formación de haces en frecuencia RF usando desplazadores de fase analógicos controlados digitalmente; sin embargo, en un modo de realización alternativo, la formación de haces se realiza en IF. Los desplazadores de fase 307_{1-N} y 312_{1-N} son controlados a través del canal de control 360 y el canal de control 370, respectivamente, a través de sus respectivos DSPs de una manera bien conocida en la técnica. Por ejemplo, el módulo de procesamiento de banda base digital (por ejemplo, DSP) 301 controla los desplazadores de fase 307_{1-N} para que el transmisor realice la formación de haces adaptativa para dirigir el haz mientras el módulo de procesamiento de banda base digital (por ejemplo DSP) 318 controla los desplazadores de fase 312_{1-N} para dirigir los elementos de antena para recibir la transmisión inalámbrica de elementos de antena y combinar las señales de diferentes elementos para formar una salida de alimentación de línea única. En un modo de realización, se utiliza un multiplexor para combinar las señales de los diferentes elementos y dar salida a la única línea de alimentación. Obsérvese que los procesadores (por ejemplo, DSP) que controlan los módulos de procesamiento de banda base digital, tal como se muestra en los transmisores y receptores de la figura 1, podrían acoplarse para controlar los canales de control 360 y 370, respectivamente, y podrían utilizarse para controlar los desplazadores de fase 307_{1-N} y 312_{1-N}.

25 **[0050]** El módulo de procesamiento de banda base digital (por ejemplo, DSP) 301 realiza la dirección del haz pulsando o activando, el desplazador de fase apropiado conectado a cada elemento de antena. El algoritmo pulsante bajo el módulo de procesamiento de banda base digital (por ejemplo, DSP) 301 controla la fase y la ganancia de cada elemento. La realización de formación de haces en disposición de fase controlada por DSP es bien conocida en la técnica.

30 **[0051]** La antena de formación de haces adaptativa se utiliza para evitar obstrucciones de interferencia. Mediante la adaptación de la formación de haces y la dirección del haz, la comunicación puede producirse evitando las obstrucciones que pueden impedir o interferir con las transmisiones inalámbricas entre el transmisor y el receptor.

35 **[0052]** En un modo de realización, con respecto a las antenas de formación de haces adaptativas, tienen tres fases de operaciones. Las tres fases de las operaciones son la fase de entrenamiento, una fase de búsqueda y una fase de seguimiento. La fase de entrenamiento y la fase de búsqueda ocurren durante la inicialización. La fase de entrenamiento determina el perfil del canal con secuencias predeterminadas de patrones espaciales {A_i} y {B_j}. La fase de búsqueda calcula una lista de patrones espaciales candidatos {A_σ}, {B_σ} y selecciona un candidato principal {A_σ}, {B_σ} para su uso en la transmisión de datos entre el transmisor de un transceptor y el receptor de otro. La fase de seguimiento controla la intensidad de la lista de candidatos. Cuando el primer candidato está obstruido, el siguiente par de patrones espaciales se selecciona para su uso.

45 **[0053]** En un modo de realización, durante la fase de entrenamiento, el transmisor envía una secuencia de patrones espaciales {A_i}. Para cada patrón espacial {A_i}, el receptor proyecta la señal recibida en otra secuencia de patrones {B_j}. Como resultado de la proyección, se obtiene un perfil de canal sobre el par {A_i}, {B_j}.

50 **[0054]** En un modo de realización, se realiza un entrenamiento exhaustivo entre el transmisor y el receptor en el que la antena del receptor está posicionada en todas las ubicaciones y el transmisor envía múltiples patrones espaciales. El entrenamiento exhaustivo es bien conocido en la técnica. En este caso, M patrones espaciales de transmisión son transmitidos por el transmisor y N patrones espaciales recibidos son recibidos por el receptor para formar una disposición de canal de N por M. De este modo, el transmisor pasa por un patrón de sectores de transmisión y el receptor busca para encontrar la señal más intensa para esa transmisión. Entonces el transmisor se mueve al siguiente sector. Al final del exhaustivo proceso de búsqueda, se ha obtenido una clasificación de todas las posiciones del transmisor y del receptor y las intensidades de las señales del canal en esas posiciones. La información se mantiene como pares de posiciones de donde las antenas están señaladas y las intensidades de señal de los canales. La lista se puede utilizar para dirigir el haz de antena en caso de interferencia.

60 **[0055]** En un modo de realización alternativo, se utiliza entrenamiento subespacial en el que el espacio se divide en secciones sucesivamente estrechas con patrones de antena ortogonales que se envían para obtener un perfil de canal.

65 **[0056]** Suponiendo que el módulo de procesamiento de banda base digital 301 (DSP) está en un estado estable y la dirección en que la antena debe apuntar ya está determinada. En el estado nominal, el DSP tendrá un conjunto de coeficientes que envía a los desplazadores de fase. Los coeficientes indican la cantidad de fase que el desplazador de fase tiene que desplazar la señal para sus correspondientes antenas. Por ejemplo, el módulo de procesamiento de banda base digital 301 (DSP) envía una información de control digital establecida a los desplazadores de fase que indican que los diferentes desplazadores de fase tienen que desplazar diferentes cantidades, por ejemplo,

desplazamiento de 30 grados, desplazamiento de 45 grados, desplazamiento de 90 grados, desplazamiento de 180 grados, etc. De este modo, la señal que va a ese elemento de antena será desplazada un cierto número de grados de fase. El resultado final del desplazamiento, por ejemplo, 16, 32, 36, 64 elementos en la disposición en diferentes cantidades, permite que la antena sea dirigida en una dirección que proporcione el lugar de recepción más sensible para la antena receptora. Es decir, el conjunto compuesto de desplazamientos sobre toda la antena proporciona la capacidad de dirigir, donde el punto más sensible de la antena está apuntando sobre el hemisferio.

[0057] Obsérvese que en un modo de realización, la conexión apropiada entre el transmisor y el receptor puede no ser una ruta directa desde el transmisor al receptor. Por ejemplo, la ruta más apropiada puede ser rebotar del techo.

El canal posterior

[0058] En un modo de realización, el sistema de comunicación inalámbrica incluye un canal posterior 320, o enlace, para transmitir información entre dispositivos de comunicación inalámbrica (por ejemplo, un transmisor y receptor, un par de transceptores, etc.). La información está relacionada con las antenas de formación de haces y permite que uno o ambos dispositivos de comunicación inalámbrica adapten el conjunto de elementos de antena para dirigir mejor los elementos de antena de un transmisor a los elementos de antena del dispositivo receptor juntos. La información también incluye información para facilitar el uso del contenido que se transfiere inalámbricamente entre los elementos de antena del transmisor y el receptor.

[0059] En las figuras 3A y 3B, el canal posterior 320 está acoplado entre el módulo de procesamiento de banda base digital (DSP) 318 y el módulo de procesamiento de banda base digital (DSP) 301 para permitir que el módulo de procesamiento de banda base digital (DSP) 318 envíe información de seguimiento y control al módulo de procesamiento de banda base digital (DSP) 301. En un modo de realización, el canal posterior 320 funciona como un enlace descendente de alta velocidad y un canal de confirmación.

[0060] En un modo de realización, el canal posterior también se utiliza para transferir información correspondiente a la aplicación para la que se está produciendo la comunicación inalámbrica (por ejemplo, video inalámbrico). Dicha información incluye información de protección de contenido. Por ejemplo, en un modo de realización, el canal posterior se utiliza para transferir información de cifrado (por ejemplo, claves de cifrado y confirmaciones de claves de cifrado) cuando los transceptores están transfiriendo datos de HDMI. En tal caso, el canal posterior se utiliza para comunicaciones de protección de contenido.

[0061] Más específicamente, en HDMI, se utiliza cifrado para validar que el colector de datos es un dispositivo permitido (por ejemplo, una visualización permitida). Hay un flujo continuo de nuevas claves de cifrado que se transfieren al transferir el flujo de datos de HDMI para validar que el dispositivo permitido no ha cambiado. Los bloques de tramas para los datos de HD TV se cifran con diferentes claves y entonces esas claves tienen que ser confirmadas de nuevo en el canal posterior 320 para validar el reproductor. El canal posterior 220 transfiere las claves de cifrado en la dirección hacia delante al receptor y las confirmaciones de recepciones de clave desde el receptor en la dirección de retorno. De este modo, la información cifrada se envía en ambas direcciones.

[0062] El uso del canal posterior para comunicaciones de protección de contenido es beneficioso porque evita tener que completar un proceso de reciclaje largo cuando dichas comunicaciones se envían junto con el contenido. Por ejemplo, si se envía una clave desde un transmisor junto con el contenido que fluye a través del enlace principal y que rompe el enlace primario, forzará un prolongado reciclaje de 2-3 segundos para un sistema HDMI / HDCP típico. En un modo de realización, este enlace bidireccional separado tiene mayor fiabilidad que el enlace direccional primario dado su orientación omnidireccional. Mediante el uso de este canal posterior para la comunicación de las claves HDCP y la correspondiente confirmación desde el dispositivo receptor, se puede evitar el lento reciclaje, incluso en el caso de la obstrucción más impactante.

[0063] En el modo activo, cuando las antenas de formación de haces están transfiriendo contenido, el canal posterior se utiliza para permitir que el receptor notifique al transmisor sobre el estado del canal. Por ejemplo, mientras que el canal entre las antenas de formación de haces es de calidad suficiente, el receptor envía información por el canal posterior para indicar que el canal es aceptable. El canal posterior también puede ser utilizado por el receptor para enviar la información cuantificable del transmisor indicando la calidad del canal que se está utilizando. Si se produce algún tipo de interferencia (por ejemplo, una obstrucción) que degrada la calidad del canal por debajo de un nivel aceptable o impide transmisiones completamente entre las antenas de formación de haces, el receptor puede indicar que el canal ya no es aceptable y/ o puede solicitar un cambio en el canal sobre el canal posterior. El receptor puede solicitar un cambio al siguiente canal en un conjunto predeterminado de canales o puede especificar un canal específico para que el transmisor lo utilice.

[0064] En un modo de realización, el canal posterior es bidireccional. En tal caso, en un modo de realización, el transmisor utiliza el canal de retorno para enviar información al receptor. Dicha información puede incluir información que instruya al receptor para que posicione sus elementos de antena en diferentes lugares fijos que el transmisor exploraría durante la inicialización. El transmisor puede especificar esto designando específicamente la ubicación o indicando que el receptor debe proceder a la siguiente ubicación designada en un orden o lista predeterminado a

través del cual tanto el transmisor como el receptor están procediendo.

[0065] En un modo de realización, el canal posterior es utilizado por el transmisor y/o el receptor para notificar al otro información específica de caracterización de antena. Por ejemplo, la información de caracterización de antena puede especificar que la antena es capaz de una resolución de hasta 6 grados de radio y que la antena tiene un cierto número de elementos (por ejemplo, 32 elementos, 64 elementos, etc.).

[0066] En un modo de realización, la comunicación en el canal posterior se realiza de forma inalámbrica utilizando unidades de interfaz. Se puede utilizar cualquier forma de comunicación inalámbrica. En un modo de realización, OFDM se utiliza para transferir información por el canal posterior. En otro modo de realización, CPM se utiliza para transferir información por el canal posterior.

Visión general de formación de haces

[0067] En un modo de realización, el sistema de comunicación implementa la formación de haces con los siguientes elementos: un proceso de búsqueda de haces; un proceso de seguimiento de haz; y una máquina de estado de dirección de haz. La búsqueda del haz y el seguimiento del haz se utilizan para compensar la variación de tiempo del canal inalámbrico y la posible obstrucción de los haces estrechos. Cuando se realiza, el proceso de búsqueda de haces encuentra la dirección del haz que maximiza el presupuesto del enlace. La dirección del haz obtenida se utiliza entonces para formar el haz. Después de que el proceso de búsqueda de haces ha dado como resultado una formación de haces óptima, el proceso de seguimiento de haz sigue el haz en comparación con pequeñas variaciones de tiempo en la función de transferencia de canal. La máquina de estado de dirección de haz utiliza un mecanismo arbitrario de detección de enlace malo (que puede basarse en los resultados la carga útil o seguimiento de haz) para detectar si la relación señal / ruido del enlace actual está por debajo de un umbral deseado. Para los fines del presente documento, un enlace defectuoso significa que la dirección del haz actual está obstruida, y posteriormente se programa una nueva búsqueda de haces para encontrar la siguiente mejor dirección de haz.

[0068] La figura 4 ilustra un modo de realización de una máquina de estado de dirección de haz. Haciendo referencia a la figura 4, la máquina de estado 400 incluye un estado de adquisición (inicial / inactivo) 401, un estado de búsqueda de haces 402 y un estado de estado estable, o estado de transferencia de datos, 403. El proceso de dirección del haz comienza en el estado de adquisición 401. En un modo de realización, solo se entra en el estado de adquisición 401 una vez durante la configuración de enlace. Después de la adquisición inicial, la máquina de estado 400 pasa al estado de búsqueda de haces 402 para realizar la búsqueda de haces. También se accede al estado de búsqueda de haces 402 tan pronto como una fuente (por ejemplo, un transmisor) o un destino (por ejemplo, un receptor) determina que un canal se considera malo (por ejemplo obstruido por haz) (basándose en una o más métricas). Obsérvese que en un modo de realización, la búsqueda de haces se programa periódicamente (por ejemplo, cada 0,5-2 seg) durante el estado de transferencia de datos 403. Esto puede ser útil basándose en el bloqueo del haz.

[0069] Después de que la búsqueda de haces sea exitosa, la máquina de estado 400 pasa en estado estacionario 403 donde se realizan operaciones de transferencia de datos. En un modo de realización, esto incluye el seguimiento del haz a intervalos predeterminados (por ejemplo, cada 1-2 mseg). En un modo de realización, el seguimiento de haz es una versión abreviada del proceso de búsqueda de haces. Estos pueden ser programados o basados en la solicitud.

[0070] Si hay un fallo de enlace que se produce cuando la máquina de estado de dirección de haz 400 está en cualquiera de los estados de búsqueda de haces 402 o de transferencia de datos 403, entonces la máquina de estado de dirección de haz 400 pasa al estado de adquisición 401.

[0071] En un modo de realización, la formación de haces en el transmisor se realiza girando la fase de la señal modulada RF individualmente para cada conjunto de amplificador de potencia de RF y antena de transmisión, donde la rotación de fase se describe mediante la siguiente ecuación:

$$A(t) \cos(2\pi f_c t + \varphi(t)) \xrightarrow{\text{rotate by } \theta} A(t) \cos(2\pi f_c t + \varphi(t) + \theta)$$

y el ángulo de rotación θ se cuantifica a 2-4 bits. Esto se puede lograr usando desplazadores de fase cuantificados.

[0072] De forma similar, en un modo de realización, la formación de haces en el receptor se realiza girando la fase de la señal RF modulada recibida después de que cada antena de recepción y el conjunto de amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) se establezcan, y luego combinando las señales giradas en fase.

[0073] Debe observarse que en un modo de realización, las antenas de recepción están acopladas a una o más rutas de digitalización, y el número de rutas de digitalización es menor que el número de antenas de recepción. Además, en un modo de realización, las antenas de transmisión están acopladas a una o más rutas de generación de señales de transmisión, y el número de rutas de generación de señales de transmisión es menor que el número de antenas de transmisión.

Un ejemplo de un proceso de búsqueda de haces

5 **[0074]** En un modo de realización, el proceso de búsqueda de haces consta de dos etapas: recuperación de temporización y búsqueda de haces iterativa. En la etapa de recuperación de temporización, se estima el tiempo de llegada (retardo) del haz / rayo con ganancia máxima. En un modo de realización, la estimación de retardo se realiza transmitiendo una secuencia de símbolos conocida por el aire y haciendo coincidir dicha secuencia en el receptor a través de un filtro adaptado. Para maximizar la relación señal-ruido, las fases de la antena de transmisión se establecen igual a las columnas de la disposición $N \times N$ Hadamard, H , una columna cada vez, donde H tiene las siguientes propiedades:

$$H(i, j) \in \{-1, 1\}, \quad H^T H = N I_{N \times N}$$

15 donde H^T es transposición de H , $I_{N \times N}$ es la disposición de identidad $N \times N$. Las fases de la antena de transmisión se barren a través de N columnas de H (establecidas iguales a de una en una) P (por ejemplo, 3) veces, en donde cada vez se usa un patrón de fase de antena de recepción diferente. Los patrones de fase de la antena de recepción se seleccionan de manera que los haces correspondientes cubran todo el espacio. El filtro adaptado al receptor correlaciona la señal recibida, $r(k)$, con la secuencia transmitida, $x(k)$, como se describe en la siguiente ecuación, donde el patrón tiene L símbolos de longitud:

$$y(k) = \sum_{i=0}^{L-1} r(k+i)x(i)$$

20 **[0075]** El retardo de tiempo que da como resultado una energía de salida del filtro adaptado máximo, después de que se suma sobre todos los patrones de fase de antena de transmisión y recepción, se selecciona como el retardo de tiempo del haz / rayo de ganancia máxima. Además, también se selecciona el patrón de fase de antena de recepción, para el cual la salida de filtro adaptado en el retardo seleccionado tiene energía máxima, después de que se suma sobre todos los patrones de fase de antena de transmisión.

30 **[0076]** En la siguiente etapa, se utiliza un proceso iterativo de búsqueda de haces que, en un modo de realización, cambia de forma alternativa los patrones de fase de transmisión y recepción para un total de $2M$ número (par) (por ejemplo, 4, 6, 8 o 10) de etapas. En casi todos los casos, los patrones de fase de transmisión y recepción convergen hacia los valores óptimos correspondientes a la dirección del haz de ganancia máxima. En algunos casos aislados, los patrones de fase de transmisión y recepción pueden fluctuar entre diferentes patrones de fase que corresponden a ganancias similares de formación de haces.

35 **[0077]** Para la primera iteración, el patrón de fase de recepción se ajusta a uno de los patrones de fase P que se seleccionó al final de la última etapa de recuperación de temporización. En otras palabras, los desplazamientos de fase del receptor se ajustan a un i -ésimo valor inicial (para $i = 1, 2, 3$, etc.). En un modo de realización, los desplazamientos de fase de recepción se establecen ajustando valores de un vector de ponderación de disposición de antenas (AWV). El patrón de transmisión, por otra parte, se establece igual a N columnas de la disposición Hadamard H , de una en una. Se da un ejemplo de la disposición 36×36 Hadamard en la figura 8. Obsérvese que para un cierto número de antenas, podría utilizarse otra disposición unitaria. Además, tenga en cuenta que en un modo de realización, los vectores de ponderación de disposición de antenas (AWV) para el receptor y el transmisor son vectores de ponderación complejos que pueden tener información de magnitud y/ o fase. En un modo de realización, los vectores de ponderación son vectores de desplazamiento de fase cuantificados.

50 **[0078]** El transmisor transmite una secuencia de símbolos conocida por el aire, que se utiliza para estimar las funciones de transferencia de canal de una única entrada y una única salida (SISO) resultantes de la señal modulada RF antes de N rotaciones de fase de antena de transmisión a la señal combinada después de N rotaciones de fase de antena de recepción. Durante esta etapa, la antena en disposición de fase de transmisor conmuta entre los vectores de fase derivados de las columnas de la disposición H , que abarcan todo el espacio. En un modo de realización, el vector de ponderación de disposición de antenas de transmisor (AWV) incluye 36 vectores de ponderación. Para cada patrón de fase de transmisión, la señal recibida está correlacionada con la secuencia de símbolos transmitida en el retardo óptimo seleccionado. La salida del correlacionador de valor complejo, $\hat{h} = Ae^{j\phi}$, se utiliza entonces como la estimación de la función de transferencia de canal correspondiente. Por lo tanto, las ganancias de canal N-Tx por 1-Rx por cada retardo correspondiente a los desplazamientos de fase del receptor se miden secuencialmente y se selecciona el retardo de máxima energía (por ejemplo, conjunto) para el mejor valor inicial.

60 **[0079]** A continuación, el vector de N estimaciones de canal con valores complejos tiene una conjugación compleja y es multiplicado por la disposición H . Los ángulos de los elementos de valor complejo de este vector se cuantifican entonces en 2-4 bits, formando un vector de fases cuantificadas. Este vector se denomina aquí el vector de desplazamiento de fase cuantificado (QPS) por transmisor basado en MRC (es decir, el transmisor AWV) y es

devuelto al transmisor a través de un canal inalámbrico inverso tal como el canal posterior descrito anteriormente, donde se usa como el patrón de fase de transmisión fija para la siguiente parte de la primera iteración. En un modo de realización, el índice del transmisor AWV que produce la señal más intensa en el receptor se envía también de vuelta al transmisor a través del canal inverso.

5 [0080] Para la siguiente parte de la primera iteración, el patrón de fase de transmisión se establece igual al vector de fase cuantificado calculado al final de la última iteración. Es decir, los desplazamientos de fase del transmisor se ajustan a los valores calculados en la primera parte de la iteración que es para la sintonización del transmisor AWV. El patrón de fase de recepción, por otra parte, se establece igual a las N columnas de H , de una en una.
10 Transmitiendo la misma secuencia de símbolos y utilizando el mismo procedimiento de correlación, se calculan las funciones de transferencia de canal SISO para cada patrón de fase de recepción. En otras palabras, las ganancias de canal 1-Tx por N-Rx se miden secuencialmente en el receptor para el retardo de máxima energía y una estimación para el canal $l \times M$ equivalente.

15 [0081] De forma similar, el vector de N estimaciones de canales con valores complejos se conjuga de forma compleja y multiplica por H . Los ángulos de los elementos de valor complejo de este vector se cuantifican entonces en 2-4 bits, formando un vector de fases cuantificadas. Este vector se denomina vector de desplazamiento de fase (QPS) cuantificado de receptor basado en MRC (es decir, el receptor AWV). Este vector AWV se utiliza en el receptor como el patrón de fase de recepción fija para la siguiente iteración. Es decir, los desplazamientos
20 (ponderaciones) de fase del receptor se ajustan a estos valores calculados.

[0082] De este modo, se repiten las mismas etapas varias veces (por ejemplo, 3, 4, etc.), donde de forma alternativa se establecen patrones de fase de transmisión o recepción iguales a los vectores de fase cuantificados calculados a partir de la iteración anterior, mientras que los patrones para la operación opuesta, es decir, patrones de recepción o
25 transmisión, se fijan igual a N columnas de H , de una en una.

[0083] Al final de las iteraciones, los vectores de fase de transmisión y recepción calculados se utilizan para formar un haz en la dirección óptima.

30 [0084] En un modo de realización, la señal de búsqueda de haces (y seguimiento de haz) es una señal OQPSK a la frecuencia de muestreo $F_s/2$, donde F_s es la velocidad de muestreo OFDM.

[0085] En un modo de realización, se utilizan hasta tres vectores QPS de receptor iniciales diferentes para mejorar el rendimiento de la estimación del tiempo de muestreo óptima. Además, en un modo de realización, la estimación de canal secuencial se realiza fijando el vector de ponderación del transmisor (y receptor) a N columnas de la disposición H , de una en una, y midiendo N estimaciones de canal escalar correspondientes secuencialmente. Cada etapa de estimación de canal consta de N intervalos de estimación tales que si V es el vector de estimación $1 \times N$ ($N \times 1$) resultante, entonces la estimación de canal es VH^* (H^*V)
35

40 [0086] La señal recibida no debe estar saturada ni sobre-atenuada durante cada etapa de recuperación de temporización o iteración, donde los patrones de fase de transmisión o recepción se barren a través de columnas de H . Por lo tanto, se realiza un procedimiento de control de ganancia automático (AGC) antes de cada paso. En un modo de realización, en este procedimiento AGC, se transmite una secuencia de símbolos arbitraria que cubre el mismo ancho de banda por el aire, mientras que los patrones de fase de transmisión y recepción se cambian de la
45 misma manera que la etapa subsiguiente. Se mide la energía de la señal recibida y, en consecuencia, la ganancia del receptor se ajusta a un valor tal que la señal recibida no está saturada ni sobre atenuada para todos los patrones de fase de transmisión y recepción. Si es necesario, este procedimiento se repetirá varias veces (hasta 3) hasta que se encuentre una ganancia adecuada.

50 [0087] La figura 5 ilustra etapas de un modo de realización del procedimiento de búsqueda de haces descrito anteriormente. Haciendo referencia a la figura 5, las etapas 501 - 503 representan etapas de recuperación de temporización. Durante estas etapas, se seleccionan los vectores de desplazamiento de fase inicial del receptor y el retardo óptimo. En un modo de realización, durante las etapas 501 y 502, la energía de transmisión es fija.

55 [0088] Después de la etapa 503, se realizan una serie de iteraciones. Cada iteración consta de tres bloques, con las etapas 504-506 representando un ejemplo de una iteración. La etapa 504 es una etapa de estimación de canal de transmisión que utiliza un patrón de fase de recepción fija en el que se seleccionan y utilizan los vectores receptores que proporcionan la mejor energía para estimar el canal. Como se muestra, la etapa 504 incluye un control de ganancia automático 504₁ junto con un bloque en el que el receptor genera una estimación de canal $N \times 1$ usando
60 vectores recibidos y calcula el vector de desplazamiento de fase de transmisión en la subetapa 504₂. Las operaciones de la subetapa 504₂ se representan en forma de bloque mostrado como una versión expandida de la subetapa 520₂ (puesto que todos los bloques son iguales). Inicialmente, el vector de desplazamiento de fase de transmisión se cambia a H_1 (subetapa 550₁), con un intervalo de protección (subetapa 550₂) insertado para compensar la latencia de desplazamiento de fase. Para un cambio en los vectores de ponderación de transmisión, el intervalo de protección es mayor que la propagación de retardo global menos la propagación de retardo de filtro de
65 transmisión. Entonces se mide el primer canal (Ch1) (bloque 550₃). Después de medir el canal, el vector de

desplazamiento de fase de transmisión se cambia a H2 (subetapa 550₄), con un intervalo de protección (subetapa 550₅). A continuación se mide el segundo canal (Ch2) (subetapa 550₆). Esto continúa hasta que se mide el último canal, ChN. Después de que se han transmitido todos los vectores de desplazamiento de fase de transmisión y se han estimado los canales, se calculan y cambian los vectores de desplazamiento de fase de transmisión (en

5 preparación para estimar el canal receptor). En un modo de realización, el vector de ponderación de la antena del transmisor que produce la señal recibida más intensa en el receptor se repite más de una vez durante esta etapa para permitir al receptor compensar las diversas inexactitudes de fase inherentes a los circuitos analógicos del transmisor y del receptor.

10 **[0089]** Después de calcular el vector de desplazamiento de fase de transmisión, el receptor lo envía de nuevo al transmisor en la etapa 505. En un modo de realización, el receptor devuelve adicionalmente el índice del vector de ponderación del transmisor que produce la señal recibida más intensa que se utilizará durante las siguientes iteraciones. Esto se puede realizar utilizando el canal posterior

15 **[0090]** A continuación, la etapa de estimación de canal de recepción 506 se realiza usando el vector de desplazamiento de fase de transmisión fijo. La etapa de estimación de canal de recepción (etapa 506), así como cada una de las otras etapas de estimación de canal de recepción, comprende una subetapa de control de ganancia automático (subetapa 506₁) y una etapa de cálculo de vector de desplazamiento de fase de recepción y estimación de canal 1xN (subetapa 506₂). El bloque AGC 506₁ se representa como tres bloques AGC 531, números 1-3, que

20 son todos iguales. Uno de ellos se muestra con más detalle a modo de ejemplo de los otros. En primer lugar, el vector de desplazamiento de fase de recepción se cambia a H1 (subetapa 531₁) y se realiza AGC en dicho vector de desplazamiento de fase (bloque 531₂). A continuación, el vector de desplazamiento de fase de recepción se cambia a H2 (subetapa 531₃) y se realiza AGC en ese vector de desplazamiento de fase (subetapa 531₄). Esto continúa para todos los N vectores de desplazamiento de fase de recepción.

25 **[0091]** Después de la subetapa de AGC 506₁, el cálculo del vector de desplazamiento de fase de estimación y recepción de canal se produce en la subetapa 506₂. Las operaciones de la subetapa 506₂ se representan en forma de bloques y son las mismas para todos los bloques de la figura 5. Inicialmente, el vector de desplazamiento de fase de recepción se cambia a H1 (subetapa 560₁), con un intervalo de protección (subetapa 560₂) insertado para compensar la latencia de desplazamiento de fase. Para un cambio en los vectores de ponderación de recepción, el intervalo de protección es mayor que la propagación de retardo global menos la propagación de retardo de filtro de recepción. Entonces se mide el primer canal (Ch1) (subetapa 560₃). Después de medir el canal, el vector de desplazamiento de fase de recepción se cambia a H2 (subetapa 560₄), con un intervalo de protección (subetapa 560₅). A continuación se mide el segundo canal (Ch2) (subetapa 560₆). Esto continúa hasta que se mide el último canal, ChN. Después de que se han transmitido todos los vectores de desplazamiento de fase de recepción y se han estimado los canales, se calculan y cambian los vectores de desplazamiento de fase de recepción. En un modo de realización, con cuatro iteraciones, hay catorce etapas.

Control de ganancia automático

40 **[0092]** La señal enviada durante los intervalos de sintonización AGC utiliza la misma modulación pero no lleva ninguna información.

45 **[0093]** La ganancia AGC debe ser constante durante cada etapa de estimación de canal. Durante cada etapa, se cambian los vectores de ponderación de transmisión o de recepción (barriendo a través de N columnas), lo cual da como resultado una fluctuación de RSSI. En este caso, el AGC se ejecuta para todos los N posibles vectores de ponderación, el nivel de AGC se fija al valor mínimo obtenido, y luego se realizan las estimaciones de N canales.

50 **[0094]** La figura 6 ilustra una formación de haces particular que se obtuvo como resultado del proceso de búsqueda de haces de la figura 5.

55 **[0095]** La figura 7 ilustra un modo de realización de un diagrama de búsqueda y seguimiento de haz en la fuente / transmisor. Haciendo referencia a la figura 7, un patrón de búsqueda de haces BPSK 701 que está a una frecuencia de $F_s/2$ se filtra utilizando un filtro 702 de formación de sobremuestreo, o produce el patrón de búsqueda de haces con una frecuencia f_s . Este patrón se envía a continuación a la asignación OQPSK 703, que asigna los símbolos BPSK -1 y 1 a símbolos QPSK complejos $-1-j$ y $1+j$ respectivamente, y retarda el componente Q por medio de una muestra con respecto al componente I. La salida de asignación OQPSK 703 se convierte en analógica usando dack 704 y después se filtra utilizando el filtro analógico 705 antes de la transmisión.

Un ejemplo de un algoritmo de seguimiento de haz

60 **[0096]** En un modo de realización, el algoritmo de seguimiento de haz consiste en dos iteraciones del proceso de búsqueda de haces iterativa, por ejemplo las 2^a y 3^a iteraciones, descritas anteriormente. La figura 9 es un diagrama de flujo de un modo de realización del proceso de seguimiento de haz. Haciendo referencia a la figura 9, en la primera iteración (mostrada como bloque 901), el patrón de fase de transmisión se establece igual al vector de fase de transmisión correspondiente al haz actual (es decir, los desplazamientos de fase de transmisión se ajustan a las

estimaciones actuales), mientras que el patrón de fase de recepción se barre a través de N columnas de H para el retardo actual. A partir de esta operación, se calcula el vector de desplazamiento de fase cuantificado por recepción basado en MRC. El vector de fase cuantificado calculado se utiliza entonces como patrón de fase de recepción fija para la segunda iteración (mostrado como bloque 902), mientras que el patrón de fase de transmisión es barrido a través de N columnas de H y se calculan los vectores de desplazamiento de fase cuantificados de transmisión basados en MRC. En un modo de realización, el patrón de fase del transmisor que produce la señal recibida más intensa en el receptor se repite más de una vez durante esta etapa para permitir que el receptor compense diversas inexactitudes de fase inherentes a los circuitos analógicos del transmisor y del receptor. En cada iteración, las funciones de transferencia de canal se calculan para el mismo retardo de tiempo que se derivó en la etapa de recuperación de temporización del proceso de búsqueda de haces. Los vectores de fase cuantificados del transmisor calculados en estas iteraciones son entonces realimentados (903) para ser utilizados como patrones de fase de transmisión. En un modo de realización, el índice del vector de ponderación que produce la señal recibida más intensa se realimenta adicionalmente para ser utilizado durante la siguiente instancia de seguimiento de haz. Obsérvese que los bloques 901 y 902 se describen con más detalle de la misma manera que la figura 5 anterior.

[0097] El mismo procedimiento AGC que se ha descrito anteriormente en el proceso de búsqueda de haces se lleva a cabo antes de cada iteración con el fin de asegurar que la señal recibida no esté saturada ni sobersaturada durante la operación subsiguiente. Éstos se muestran en la figura 9, con el ejemplo de ajuste AGC sintonizando para un canal, que es el mismo que los demás, mostrándose en detalle.

Modos de realización alternativos de un algoritmo de búsqueda de haces

[0098] En la figura 10 se muestra un segundo modo de realización alternativo de un proceso de búsqueda de haces. Haciendo referencia a la figura 10, en primer lugar, se transmite una secuencia de símbolos conocida por el aire, utilizándose para estimar el canal. A continuación, el patrón de fase de transmisión se establece igual a N columnas de H , de una en una. Para cada uno de tales patrones de fase de transmisión, el patrón de fase de recepción se establece entonces igual a N columnas de H de una en una, dando como resultado $N \times N$ diferentes combinaciones de patrones de fase de transmisión y recepción.

[0099] Posteriormente, se estiman las funciones de transferencia de canal SISO correspondientes a $N \times N$ haciendo coincidir la señal recibida con la secuencia de símbolos dada en el retardo de tiempo óptimo (el procedimiento de recuperación de temporización es similar al primer modo de realización del proceso de búsqueda de haces excepto que se utilizarán todas las combinaciones de patrones de antena de transmisión y de recepción). Las estimaciones $N \times N$ se utilizan para formar una disposición $N \times N$; a continuación, $\Gamma \cdot \Gamma$ se multiplica por H y se transpone de H como en la siguiente ecuación:

$$G = H \Gamma H^T$$

donde G es la estimación de la función de transferencia del canal MIMO.

[0100] La siguiente iteración se realiza entonces para $k = 1, \dots, M$:

$$z = \text{conj} \left(G^T u_{k-1} \right), \quad v_k = \text{quant} \left(\left[\square z_1, \square z_2, \dots, \square z_N \right] \right)$$

$$w = \text{conj} \left(G v_{k-1} \right), \quad u_k = \text{quant} \left(\left[\square w_1, \square w_2, \dots, \square w_N \right] \right)$$

donde μ_0 es el patrón de fase de recepción inicial arbitrario.

[0101] La fase de estimación anterior está precedida por un procedimiento AGC similar al procedimiento AGC descrito anteriormente. Este procedimiento AGC, que mide la energía de la señal recibida para todas las combinaciones de patrones de transmisión y de fase, y puede repetirse unas cuantas veces según sea necesario, garantiza que la señal recibida no esté saturada ni sobreatenuada durante la estimación.

Aplicaciones

[0102] En un modo de realización, los esquemas de formación de haces anteriores se aplican a un sistema que funciona en la banda no autorizada de 57 a 64 GHz. En comparación con otras bandas no autorizadas de frecuencia más baja, como 2,4 GHz y 5 GHz, la banda de 60 GHz permite el uso de antenas mucho más pequeñas con ganancias de antena similares. Idealmente, las antenas de 60 GHz pueden ser 12 veces más pequeñas que las antenas de 5 GHz con la misma ganancia. Esto significa que se puede utilizar un número mucho mayor de antenas sin aumentar sustancialmente las dimensiones del sistema inalámbrico y, por tanto, el coste.

[0103] Además, las mediciones muestran que el canal de propagación de banda de 60 GHz está más agrupado que las bandas de 2,4 y 5 GHz. Esto equivale a decir que para esta banda las rutas de propagación pueden agruparse en conjuntos distintos. La figura 11 muestra la noción de un canal de propagación agrupado. El proceso de formación de haces descrito anteriormente es entonces idealmente equivalente a la propagación de enfoque dentro del grupo con ganancia máxima. Se puede mostrar para tales canales agrupados que la capacidad de canal bajo el esquema de formación de haces descrito en el presente documento es a menudo muy próxima a la capacidad máxima del canal MIMO (alcanzable mediante multiplexación como se menciona en la Sección de Antecedentes). Además, la propagación de enfoque dentro de un conjunto significa que la propagación de retardo de propagación será igual a la propagación de retardo del conjunto, que puede ser significativamente menor que la propagación de retardo del canal global.

[0104] Por lo tanto, el procedimiento de formación de haces propuesto es muy adecuado para aplicaciones inalámbricas en la banda de 60 GHz.

[0105] Aunque muchas alteraciones y modificaciones de la presente invención se pondrán sin duda de manifiesto para una persona con conocimientos ordinarios en la técnica después de haber leído la descripción anterior, debe entenderse que cualquier modo de realización particular mostrado y descrito a modo de ilustración no pretende de ningún modo ser considerado limitante. Por lo tanto, las referencias a los detalles de diversos modos de realización no pretenden limitar el alcance de las reivindicaciones que en sí mismas enumeran solamente las características consideradas esenciales para la invención.

Otros ejemplos se describirán a continuación:

1. Un procedimiento que comprende:

realizar una dirección de haz adaptativa usando múltiples antenas de transmisión y recepción, incluyendo realizar de manera iterativa un par de secuencias de entrenamiento, en el que el par de secuencias de entrenamiento incluye estimar un vector de ponderación de disposición de antenas de transmisor y un vector de ponderación de disposición de antenas de receptor.

2. El procedimiento definido en la Cláusula 1, en el que las antenas de recepción están acopladas a una o más rutas de digitalización, y en el que el una o más rutas de digitalización son menores en número que el número de antenas de recepción.

3. El procedimiento definido en la Cláusula 1, en el que las antenas de transmisión están acopladas a una o más rutas de generación de señales de transmisión, y en el que una o más rutas de generación de señales de transmisión son menores en número que el número de antenas de transmisión.

4. El procedimiento definido en la Cláusula 1, en el que la realización de la dirección de haz adaptativa comprende:

realizando una formación de haces adaptativa que incluye un proceso de búsqueda de haces para identificar una dirección de haz; y

realizando un proceso de seguimiento de haz para realizar un seguimiento del haz durante una fase de transferencia de datos.

5. El procedimiento definido en la Cláusula 1, en el que los procesos de búsqueda de haces y de seguimiento de haz se realizan ya sea por solicitud del transmisor o del receptor o a intervalos regulares.

6. El procedimiento definido en la Cláusula 4, en el que realizar el proceso de seguimiento de haz comprende realizar una única iteración del par de secuencias de entrenamiento.

7. El procedimiento definido en la Cláusula 1 en la que el par de secuencias de entrenamiento se produce sobre el mismo canal de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO).

8. El procedimiento definido en la Cláusula 1, en el que la estimación de un vector de ponderación de disposición de antenas del transmisor y un vector de ponderación de disposición de antenas del receptor se realizan en el receptor.

9. El procedimiento definido en la Cláusula 8, que comprende además volver a alimentar al transmisor el vector de ponderación de disposición de la antena del transmisor estimado.

10. El procedimiento definido en la Cláusula 1 en el que las ponderaciones en los vectores de ponderación de disposición de antenas están limitados a los desplazamientos de fase, y la activación y desactivación solamente las antenas.

- 5 11. El procedimiento definido en la Cláusula 1 en el que el vector de ponderación de recepción se establece mientras se estima el vector de ponderación de disposición de antenas del transmisor y el vector de ponderación de transmisión se establece mientras se estima el vector de ponderación de disposición de antenas del receptor.
12. El procedimiento definido en la Cláusula 1 en el que la realización de la dirección de haz adaptativa utilizando múltiples antenas de transmisión y recepción comprende realizar de forma iterativa un conjunto de operaciones, incluyendo el conjunto de operaciones
- 10 (a) establecer un vector de ponderación de recepción para antenas de recepción basándose en un vector de ponderación inicial o de desplazamiento de fase;
- (b) medir secuencialmente las ganancias de canal correspondientes a cada fase para formar un primer conjunto de ganancias de canal;
- 15 (c) calcular un segundo vector de ponderación basándose en el primer conjunto de ganancias de canal;
- (d) establecer desplazamientos de fase de transmisión para antenas de transmisión basándose en el segundo vector de ponderación;
- 20 (e) medir secuencialmente ganancias de canal en el receptor correspondiente a cada fase r para formar un segundo conjunto de ganancias de canal; y
- (f) calcular un tercer vector de ponderación basándose en el segundo conjunto de ganancias de canal medidas.
- 25 13. El procedimiento definido en la cláusula 12, que comprende además:
- estimar un primer canal a partir del primer conjunto de ganancias de canal, en el que el cálculo del segundo vector de desplazamiento de fase se basa en la estimación del primer canal; y
- 30 estimar un segundo canal a partir del segundo conjunto de ganancias de canal, en el que el cálculo del tercer vector de desplazamiento de fase se basa en la estimación del segundo canal.
- 35 14. El procedimiento definido en la Cláusula 13, en el que la estimación del primer canal comprende estimar elementos de vector de canal de uno en uno, en el que un número de ranuras de estimación secuenciales se establece en un número.
- 40 15. El procedimiento definido en la Cláusula 13, en el que la estimación del primer canal comprende el uso de una disposición unitaria como disposición de transferencia, de modo que el vector de ponderación de antena de transmisión se establece en una columna de la disposición unitaria.
- 45 16. El procedimiento definido en la Cláusula 13, en el que la estimación del primer canal comprende el uso de una disposición de tipo Hadamard como disposición de transferencia, de manera que el vector de ponderación de antena de transmisión se establece en una columna de la disposición de tipo Hadamard.
17. El procedimiento definido en la Cláusula 14 en el que el número de estimaciones secuenciales y el número de vectores de ponderación de antena de transmisión diferentes son equivalentes.
- 50 18. El procedimiento definido en la Cláusula 14 en la que el número es 36.
19. El procedimiento definido en la Cláusula 14 en el que el número de estimaciones secuenciales es mayor que el número de vectores de ponderación de antena de transmisión diferentes y el vector de ponderación de antena de transmisor que produce la señal recibida más intensa en el receptor se repite más de una vez.
- 55 20. El procedimiento definido en la Cláusula 14 en el que el número de estimaciones secuenciales es 36 y el vector de ponderación de la antena del transmisor que produce la señal recibida más intensa en el receptor se repite 10 veces.
- 60 21. El procedimiento definido en la Cláusula 12 en el que la secuencia de operaciones comprende además transmitir una secuencia de entrenamiento conocida al receptor.
- 65 22. El procedimiento definido en la Cláusula 12, en el que el conjunto de operaciones comprende además utilizar el tercer vector de desplazamiento de fase en lugar del primer vector de desplazamiento de fase cuando se establecen desplazamientos de fase de recepción para las antenas de recepción para una siguiente iteración, y luego repetir las operaciones (a) a (f).

23. El procedimiento definido en la Cláusula 12 en la que el primer, el segundo y el tercer vectores de desplazamiento de fase son vectores de ponderación de disposiciones de antenas.
- 5 24. El procedimiento definido en la Cláusula 12 comprende además enviar el segundo vector de desplazamiento de fase desde el receptor al transmisor usando un canal inverso.
25. El procedimiento definido en la Cláusula 24, en el que el canal tiene una velocidad de transferencia menor que el canal resultante de la formación de haces.
- 10 26. El procedimiento definido en la Cláusula 12 comprende además enviar adicionalmente el índice del vector de fase del transmisor que produce la señal recibida más intensa en el receptor durante la estimación secuencial del primer canal.
- 15 27. El procedimiento definido en la Cláusula 12 en el que se realiza iterativamente el conjunto de operaciones si el transmisor y el receptor están en modo inactivo o si un haz formado entre el transmisor y el receptor se obstruye.
- 20 28. El procedimiento definido en la Cláusula 12, en el que la realización iterativa del conjunto de operaciones se realiza de tal manera que el conjunto de operaciones se realiza cuatro veces.
29. El procedimiento definido en la Cláusula 12 comprende además realizar la recuperación de temporización antes de realizar iterativamente el conjunto de operaciones.
- 25 30. El procedimiento definido en la Cláusula 12 comprende además realizar una estimación de retardo antes de realizar iterativamente el conjunto de operaciones para determinar el tiempo de llegada del haz con ganancia máxima.
- 30 31. El procedimiento definido en la Cláusula 30, en el que la realización de la estimación de retardo comprende:
transmitir una secuencia de símbolos conocida por el aire usando antenas de transmisión; y
hacer coincidir la secuencia de símbolos conocida en un receptor a través de un filtro adaptado.
- 35 32. Un aparato que comprende:
un transceptor que tiene una primera unidad de procesamiento de banda base digital acoplada a una primera antena en disposición de fase; y
40 un receptor que tiene una segunda unidad de procesamiento de banda base digital acoplada a una segunda antena en disposición de fase, en la que la primera y la segunda unidades de procesamiento de banda base digital cooperan para llevar a cabo una dirección de haz adaptativa, utilizando múltiples antenas de transmisión y recepción, realizando iterativamente un par de entrenamientos, en el que un par de entrenamientos incluye estimar un vector de ponderación de disposición de antenas del transmisor y un
45 vector de ponderación de disposición de antenas del receptor.
- 50 33. El aparato definido en la Cláusula 32 en el que las antenas de recepción están acopladas a una o más rutas de digitalización, y en el que el número de rutas de digitalización es menor en número que el número de antenas de recepción.
34. El procedimiento definido en la Cláusula 32, en el que las antenas de transmisión están acopladas a una o más rutas de generación de señales de transmisión, y en el que el número de rutas de generación de señales de transmisión es menor en número que el número de antenas de transmisión.
- 55 35. El aparato definido en la Cláusula 32, en el que la primera y la segunda unidades de procesamiento de banda base digital cooperan para llevar a cabo una dirección de haz adaptativa realizando una formación de haces adaptativa que incluye un proceso de búsqueda de haces para identificar una dirección de haz; y
60 realizando un proceso de seguimiento de haz para realizar un seguimiento del haz durante una fase de transferencia de datos.
36. El aparato definido en la Cláusula 35 en el que el proceso de seguimiento de haz comprende realizar una sola iteración del par de entrenamientos.
- 65 37. El aparato definido en la Cláusula 32 en el que la estimación de un vector de ponderación de disposición de

antenas del transmisor y un vector de ponderación de disposición de antenas de receptor se realizan en el receptor.

5 38. El aparato definido en la Cláusula 32 comprende además un canal de realimentación para devolver al transmisor el vector de ponderación de disposición de antenas del transmisor estimado.

10 39. El aparato definido en la Cláusula 32 en el que el vector de ponderación de recepción se establece mientras se estima el vector de ponderación de disposición de antenas del transmisor y el vector de ponderación de transmisión se establece mientras se estima el vector de ponderación de disposición de antenas de receptor.

40. El aparato definido en la Cláusula 32, en el que la primera y la segunda unidades de procesamiento de banda base digital cooperan para realizar una dirección de haz adaptativa utilizando un conjunto de operaciones realizadas iterativamente, incluyendo el conjunto de operaciones

15 (a) la segunda unidad de procesamiento de banda base digital que establece los desplazamientos de fase de recepción para antenas de recepción de la segunda antena en disposición de fase basándose en un primer vector de ponderación;

20 (b) la segunda unidad de procesamiento de banda base digital que hace que las ganancias de canal correspondientes a cada fase se midan secuencialmente y formando un primer conjunto de ganancias de canal;

25 (c) la segunda unidad de procesamiento de banda base digital que calcula un segundo vector de ponderación basándose en el primer conjunto de ganancias de canal;

(d) la primera unidad de procesamiento de banda base digital que establece los desplazamientos de fase de transmisión para antenas de transmisión de la primera antena en disposición de fase basándose en el segundo vector de ponderación;

30 (e) la segunda unidad de procesamiento de banda base digital que provoca que las ganancias de canal correspondientes a cada fase se midan en el receptor y que formen un segundo conjunto de ganancias de canal; y

35 (f) la segunda unidad de procesamiento de banda base digital que calcula un tercer vector de ponderación basándose en el segundo conjunto de ganancias de canal medidas.

41. El aparato definido en la Cláusula 40 en el que la segunda unidad de procesamiento de banda base digital estima un primer canal a partir del primer conjunto de ganancias de canal y calcula el segundo vector de ponderación basándose en la estimación del primer canal, y adicionalmente en el que la primera unidad de procesamiento de banda base digital estima un segundo canal a partir del segundo conjunto de ganancias de canal y calcula el tercer vector de ponderación basándose en la estimación del segundo canal.

45 42. El aparato definido en la Cláusula 41 en el que la segunda unidad de procesamiento de banda base digital estima el primer canal estimando los elementos de vector de canal de uno en uno, en el que un número de ranuras de estimación secuenciales se establece en un número.

50 43. El aparato definido en la Cláusula 41 en el que la segunda unidad de procesamiento de banda base digital estima el primer canal utilizando una disposición unitaria como disposición de transferencia, de modo que el vector de ponderación de la antena de transmisión se establece en columnas de la disposición unitaria.

55 44. El aparato definido en la Cláusula 41 en el que la segunda unidad de procesamiento de banda base digital estima el primer canal utilizando una disposición de tipo Hadamard como una disposición de transferencia, de modo que el vector de ponderación de antena de transmisión se establece en columnas de la disposición de tipo Hadamard.

45. El aparato definido en la Cláusula 41 en el que el vector de ponderación de la antena del transmisor que produce la señal recibida más intensa en el receptor se repite más de una vez.

60 46. El aparato definido en la Cláusula 40 en el que el conjunto de operaciones comprende además la segunda unidad de procesamiento de banda base digital que utiliza el tercer vector de ponderación en lugar del primer vector de ponderación cuando se establecen desplazamientos de fase de recepción para las antenas de recepción para una siguiente iteración y luego operaciones repetidas de (a) a (f).

65 47. El aparato definido en la Cláusula 40 comprende además un canal de retorno, en el que la segunda unidad de procesamiento de banda base digital envía el segundo vector de ponderación desde el receptor al transmisor utilizando el canal de retorno.

- 5 48. El aparato definido en la Cláusula 47, en el que la segunda unidad de procesamiento de banda base digital envía un índice del vector de desplazamiento de fase de transmisión que produjo la señal recibida más intensa en el receptor durante la estimación secuencial del primer canal, desde el receptor hasta el transmisor usando el canal posterior.
49. El aparato definido en la Cláusula 32, en el que el canal posterior tiene una velocidad de transferencia menor que el canal formado por haz resultante de la formación de haces.
- 10 50. El aparato definido en la Cláusula 40, en el que el conjunto de operaciones se realiza iterativamente si el transmisor y el receptor están en modo inactivo o si un haz formado entre el transmisor y el receptor se obstruye.
- 15 51. El aparato definido en la Cláusula 40 en el que el conjunto de operaciones se realiza durante cuatro iteraciones.
52. El aparato definido en la Cláusula 40 en el que la primera y la segunda unidades de procesamiento de banda base digital cooperan para realizar la recuperación de temporización antes de realizar iterativamente el conjunto de operaciones.
- 20 53. El aparato definido en la Cláusula 40 en el que la primera y segunda unidades de procesamiento de banda base digital cooperan para realizar la estimación de retardo antes de realizar iterativamente el conjunto de operaciones para determinar el tiempo de llegada del haz con ganancia máxima.
- 25 54. El aparato definido en la Cláusula 37, en el que la primera y segunda unidades de procesamiento de banda base digital cooperan para realizar la estimación de retardo mediante:
- la primera unidad de procesamiento de banda base digital que hace que la primera antena en disposición de fase transmita una secuencia de símbolos conocida por el aire; y
- 30 la segunda unidad de procesamiento de banda base digital que hace coincidir la secuencia de símbolos conocida en el receptor a través de un filtro adaptado.
55. Un procedimiento que comprende:
- 35 realizar una formación de haces adaptativa que incluye realizar un proceso de búsqueda de haces para identificar una dirección de haz y realizar un proceso de seguimiento de haz durante un estado de transferencia de datos para realizar un seguimiento del haz.
- 40 56. El procedimiento definido en la Cláusula 55 en el que realizar el proceso de seguimiento de haz comprende realizar una sola iteración de un par de entrenamientos, en el que el par de entrenamientos incluye estimar un vector de ponderación de disposición de antenas de transmisor y un vector de ponderación de disposición de antenas de receptor.
- 45 57. Un transmisor para uso en comunicación con un receptor, comprendiendo el transmisor:
- un procesador; y una antena de formación de haces en disposición de fase, en la que el procesador controla la antena para llevar a cabo la dirección de haz adaptativa usando múltiples antenas de transmisión conjuntamente con antenas de recepción del receptor realizando iterativamente un conjunto de operaciones de entrenamiento,
- 50 en el que una de las operaciones de entrenamiento comprende el procesador que hace que la antena de formación de haces en disposición de fase transmita una primera secuencia de entrenamiento mientras se establece un vector de ponderación de disposición de antenas de recepción del receptor y un vector de ponderación de disposición de antenas de transmisor cambia entre vectores de ponderación con un conjunto de vectores de ponderación, y además en el que otra de las operaciones de entrenamiento comprende el procesador que hace que la antena de formación de haces en disposición de fase transmita una segunda secuencia de entrenamiento mientras que un vector de ponderación de disposición de antenas de transmisor se establece como parte de un proceso para calcular el vector de ponderación de disposición de antenas de recepción.
- 55 60 58. Un receptor para uso en comunicación con un transmisor, comprendiendo el receptor: un procesador; y
- 65 una antena de formación de haces en disposición de fase, en el que el procesador controla la antena para realizar la dirección de haz adaptativa utilizando múltiples antenas de recepción en conjunción con antenas de transmisión del transmisor realizando iterativamente un conjunto de operaciones de entrenamiento, en el que una de las operaciones de entrenamiento comprende el procesador ajustando un vector de ponderación de disposición de antenas de recepción durante un proceso para estimar un vector de ponderación de disposición

5 de antenas de transmisión haciendo que el transmisor transmita una primera secuencia de entrenamiento mientras se establece el vector de ponderación de disposición de antenas de recepción, y además en el que otra de las operaciones de entrenamiento comprende el procesador calculando el vector de ponderación de disposición de antenas de recepción cuando el transmisor transmite una segunda secuencia de entrenamiento mientras se establece el vector de ponderación de disposición de antenas del transmisor.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento que comprende:

5 realizar dirección de haz adaptativa utilizando múltiples antenas de transmisión (309) y recepción (310), incluyendo la realización iterativa de un par de operaciones de entrenamiento (504, 505, 506, 507, 508), en el que dicha realización iterativa del par de operaciones de entrenamiento incluye estimar (504) un vector de ponderación de disposición de antenas de transmisor y un vector de ponderación de disposición de antenas de receptor (506), y en el que realizar la dirección de haz adaptativa (401, 402, 403) utilizando
10 múltiples antenas de transmisión y recepción (309, 310) comprende realizar iterativamente un conjunto de operaciones, incluyendo el conjunto de operaciones:

(a) establecer un vector de ponderación de recepción para antenas de recepción basado en un vector de ponderación inicial o un vector de desplazamiento de fase (504);
15

(b) medir secuencialmente ganancias de canal correspondientes a una pluralidad de vectores de desplazamiento de fase de transmisión para formar un primer conjunto de ganancias de canal (550_{1,...}, N);
20

(c) calcular un vector de ponderación de antena de transmisión basado en el primer conjunto de ganancias de canal (553);

(d) establecer desplazamientos de fase de transmisión para antenas de transmisión basados en el vector de ponderación de antena de transmisión (521);
25

(e) medir secuencialmente ganancias de canal en el receptor correspondientes a una pluralidad de vectores de desplazamiento de fase de recepción para formar un segundo conjunto de ganancias de canal (560_{1,...}, N); y
30

(f) calcular un vector de ponderación de antena de recepción basado en el segundo conjunto de ganancias de canal medidas (563).

2. El procedimiento definido en la Reivindicación 1, que comprende además:

35 estimar un primer canal a partir del primer conjunto de ganancias de canal (504), en el que calcular el vector de ponderación de antena de transmisión se basa en la estimación del primer canal; y

estimar un segundo canal a partir del segundo conjunto de ganancias de canal (506), en el que calcular el vector de ponderación de antena de recepción se basa en la estimación del segundo canal (507).
40

3. El procedimiento definido en la reivindicación 2, en el que la estimación del primer canal comprende estimar elementos de vector de canal de uno en uno (520, 550_{1,...}, N), en el que un número de ranuras de estimación secuenciales es mayor que un número de diferentes vectores de ponderación de antena de transmisión, y un vector de ponderación de antena de transmisión que produce la señal recibida más intensa en el receptor se repite más de una vez.
45

4. El procedimiento definido en la reivindicación 2, en el que la estimación del primer canal (504) comprende el uso de una disposición unitaria como disposición de transferencia, de manera que un vector de desplazamiento de fase de transmisión se establece en una columna de la disposición unitaria.
50

5. El procedimiento definido en la reivindicación 2, en el que la estimación del primer canal (504) comprende el uso de una disposición de tipo Hadamard como disposición de transferencia, de manera que un vector de desplazamiento de fase de transmisión se establece en una columna de la disposición de tipo Hadamard.

6. El procedimiento definido en la reivindicación 2, en el que el número de estimaciones secuenciales y el número de vectores de ponderación de antena de transmisión diferentes son equivalentes.
55

7. El procedimiento definido en la reivindicación 1, en el que el conjunto de operaciones comprende además utilizar el vector de ponderación de antena de recepción en lugar del vector de ponderación inicial cuando se establecen desplazamientos de fase de recepción para las antenas de recepción para una siguiente iteración y luego repetir las operaciones (a) a (f).
60

8. El procedimiento definido en la reivindicación 1, que comprende además enviar el vector de ponderación de antena de transmisión desde el receptor (141) al transmisor (140) utilizando un canal inverso (320).
65

9. El procedimiento definido en la reivindicación 8, en el que el canal (320) tiene una tasa de transferencia

inferior que el canal resultante de la formación de haces.

- 5
10. El procedimiento definido en la reivindicación 1, que comprende adicionalmente enviar un índice de un vector de ponderación de transmisor que produce la señal recibida más intensa en el receptor (141) durante la estimación secuencial del primer canal.
- 10
11. El procedimiento definido en la reivindicación 1, en el que la realización iterativa del conjunto de operaciones tiene lugar si el transmisor (140) y el receptor (141) están en modo inactivo o si un haz formado entre el transmisor y el receptor se obstruye.
- 15
12. El procedimiento definido en la reivindicación 1, que comprende además realizar la recuperación de temporización (501, 502, 503) antes de realizar iterativamente el conjunto de operaciones.
- 15
13. El procedimiento definido en la reivindicación 1, que comprende además realizar una estimación de retardo antes de realizar iterativamente el conjunto de operaciones para determinar el tiempo de llegada del haz con ganancia máxima.
- 20
14. El procedimiento definido en la reivindicación 13, en el que la realización de la estimación de retardo comprende:
- 20
- transmitir una secuencia de símbolos conocida por el aire usando antenas de transmisión (309); y
hacer coincidir la secuencia de símbolos conocida en un receptor (141) a través de un filtro adaptado.
- 25
15. Un aparato que comprende:
- 25
- un transceptor (300) que tiene una primera unidad de procesamiento de banda base digital (103) acoplada a una primera antena en disposición de fase (105); y
- 30
- un receptor (141) que tiene una segunda unidad de procesamiento de banda base digital (112) acoplada a una segunda antena en disposición de fase (110), en el que la primera y la segunda unidades de procesamiento de banda base digital (103, 112) están configuradas para cooperar para realizar dirección de haz adaptativa utilizando múltiples antenas de transmisión y recepción (309, 310), realizando iterativamente un par de operaciones de entrenamiento, en el que la primera y segunda unidades de procesamiento de banda base digital (103, 112) están configuradas adicionalmente para realizar el par de operaciones de entrenamiento para incluir la estimación de un vector de ponderación de disposición de antenas de transmisor y un vector de ponderación de disposición de antenas de receptor y en el que la primera y segunda unidades de procesamiento de banda base digital (103, 112) están configuradas adicionalmente para llevar a cabo iterativamente el par de operaciones de entrenamiento para incluir de forma alternativa patrones de fase de transmisión y recepción cambiantes para una pluralidad de iteraciones (504, 505, 506, 507, 508);
- 35
- 40
- en el que la primera y la segunda unidades de procesamiento de banda base digital (103, 112) están configuradas para realizar una dirección de haz adaptativa utilizando un conjunto de operaciones, incluyendo:
- 45
- (a) establecer un vector de ponderación de recepción para antenas de recepción basado en un vector de ponderación inicial o un vector de desplazamiento de fase (504);
- 50
- (b) medir secuencialmente ganancias de canal correspondientes a una pluralidad de vectores de desplazamiento de fase de transmisión para formar un primer conjunto de ganancias de canal (550_{1, ..., N});
- 55
- (c) calcular un vector de ponderación de antena de transmisión basado en el primer conjunto de ganancias de canal (553);
- 60
- (d) establecer desplazamientos de fase de transmisión para antenas de transmisión basados en el vector de ponderación de antena de transmisión (521);
- 65
- (e) medir secuencialmente ganancias de canal en el receptor correspondientes a una pluralidad de vectores de desplazamiento de fase de recepción para formar un segundo conjunto de ganancias de canal (560_{1, ..., N}); y
- (f) calcular un vector de ponderación de antena de recepción basado en el segundo conjunto de ganancias de canal medidas (563).

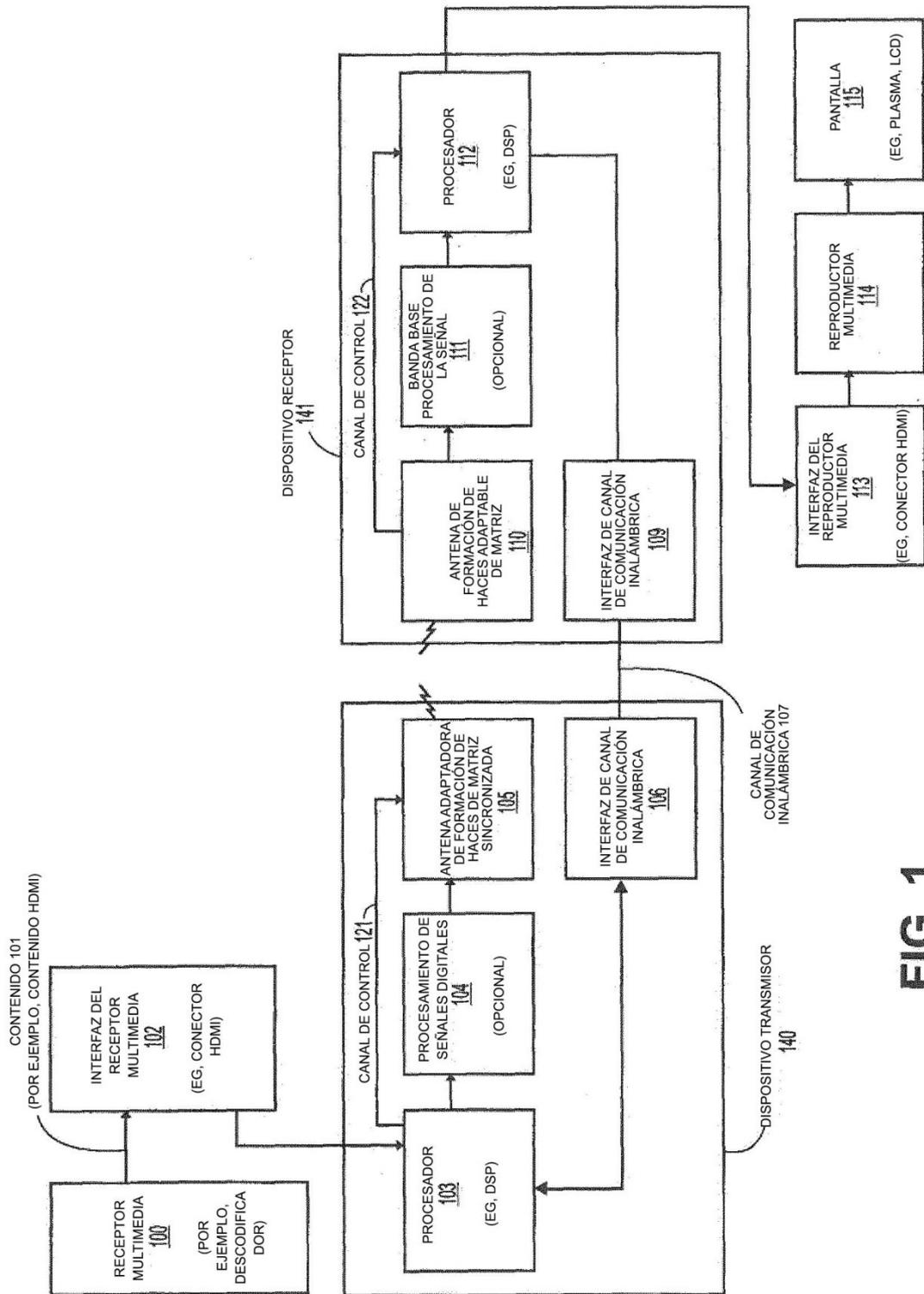


FIG. 1

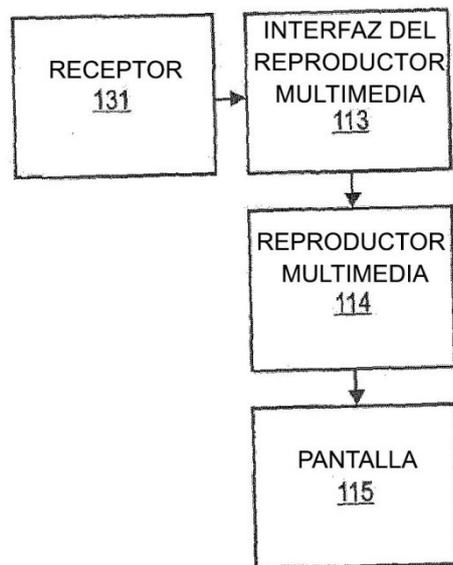


FIG. 2

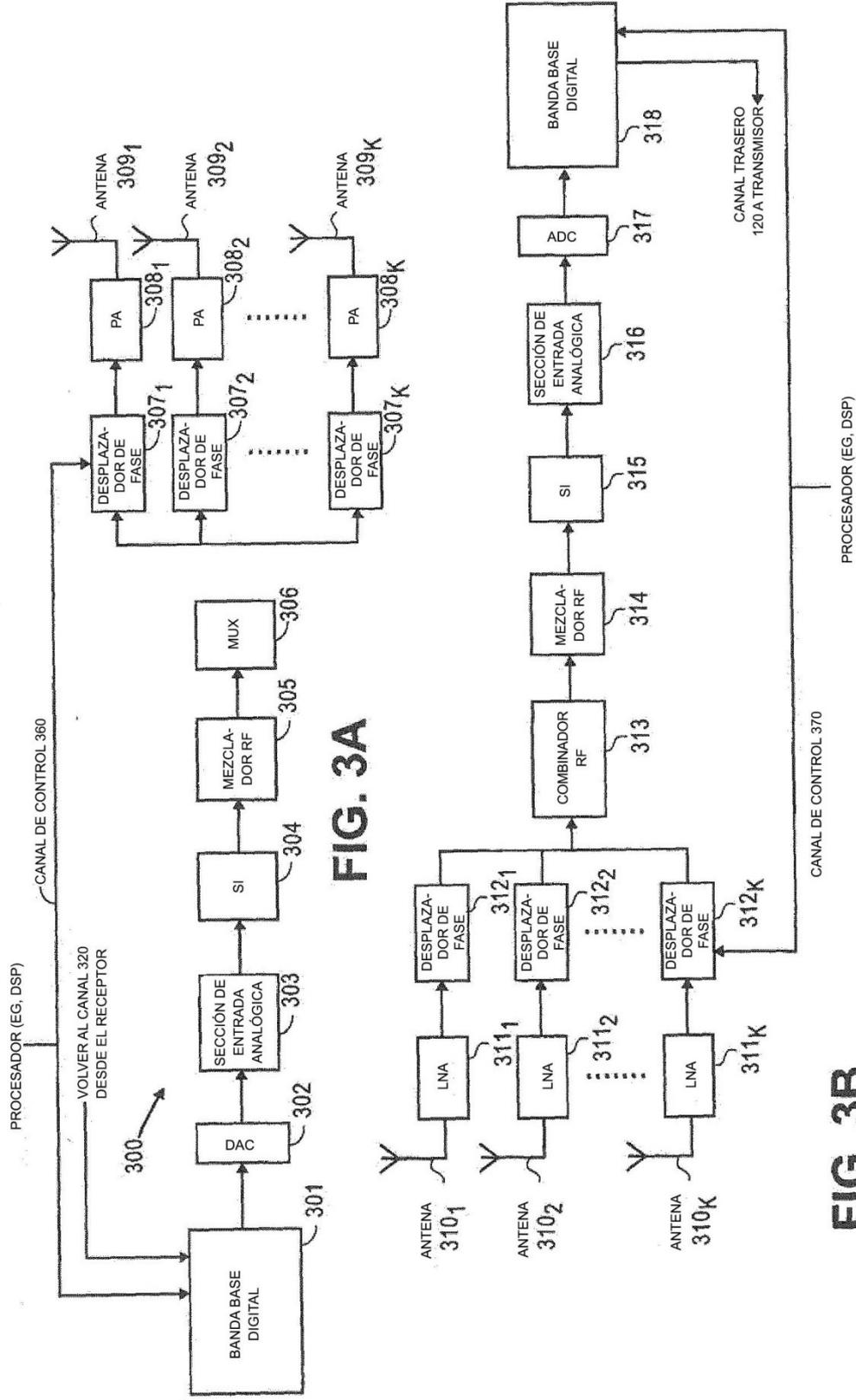


FIG. 3A

FIG. 3B

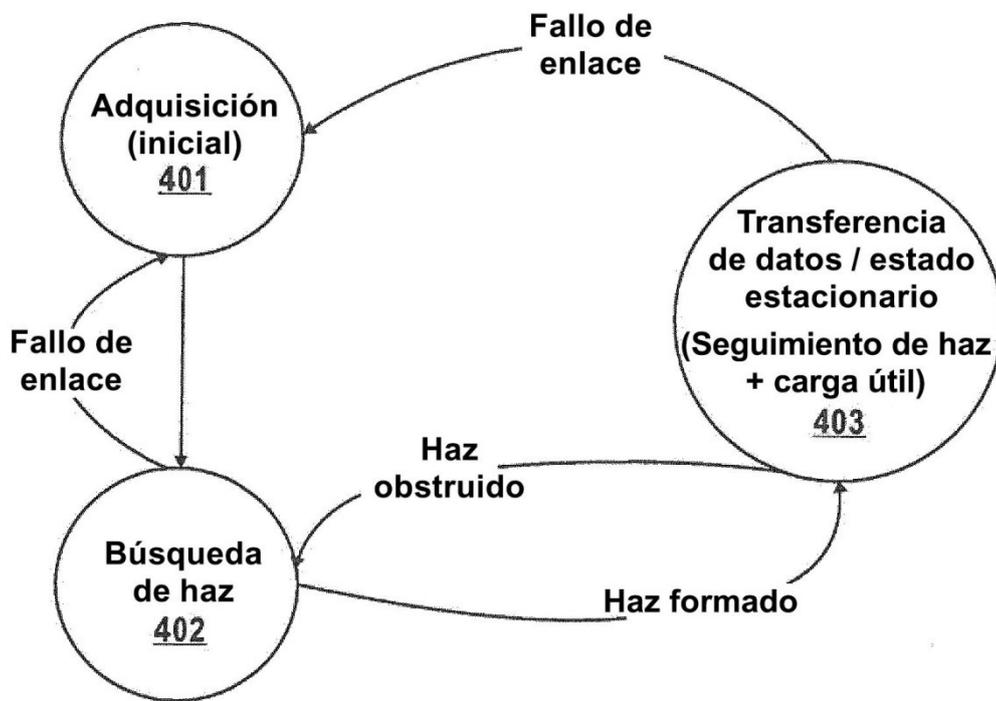


FIG. 4

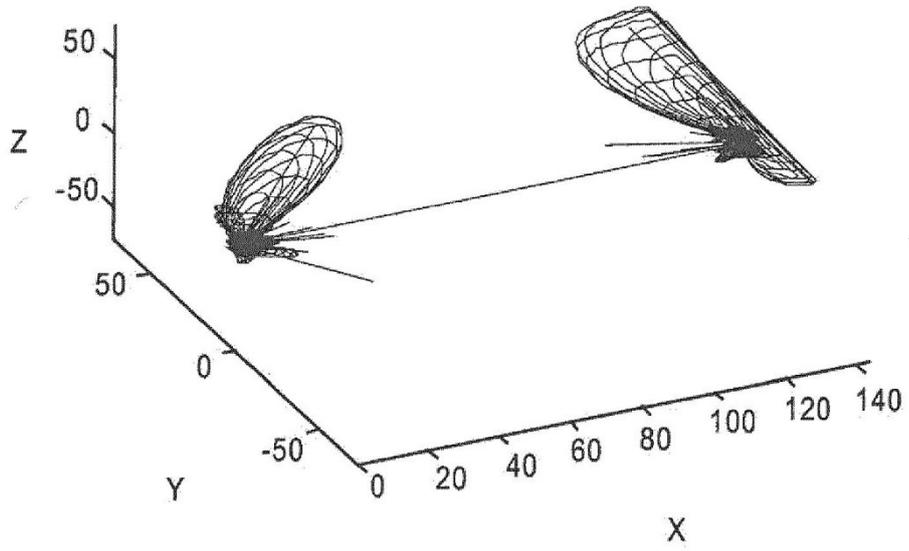


FIG. 6

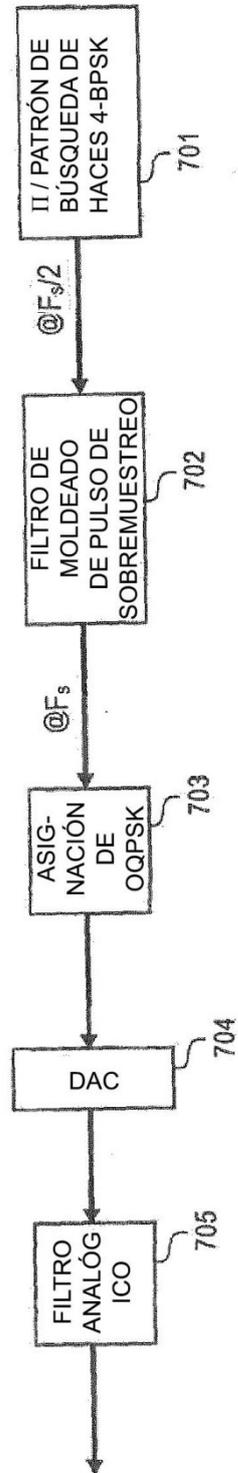


FIG. 7

- 36x36 (Hadamard) La matriz de transferencia **A** es igual a

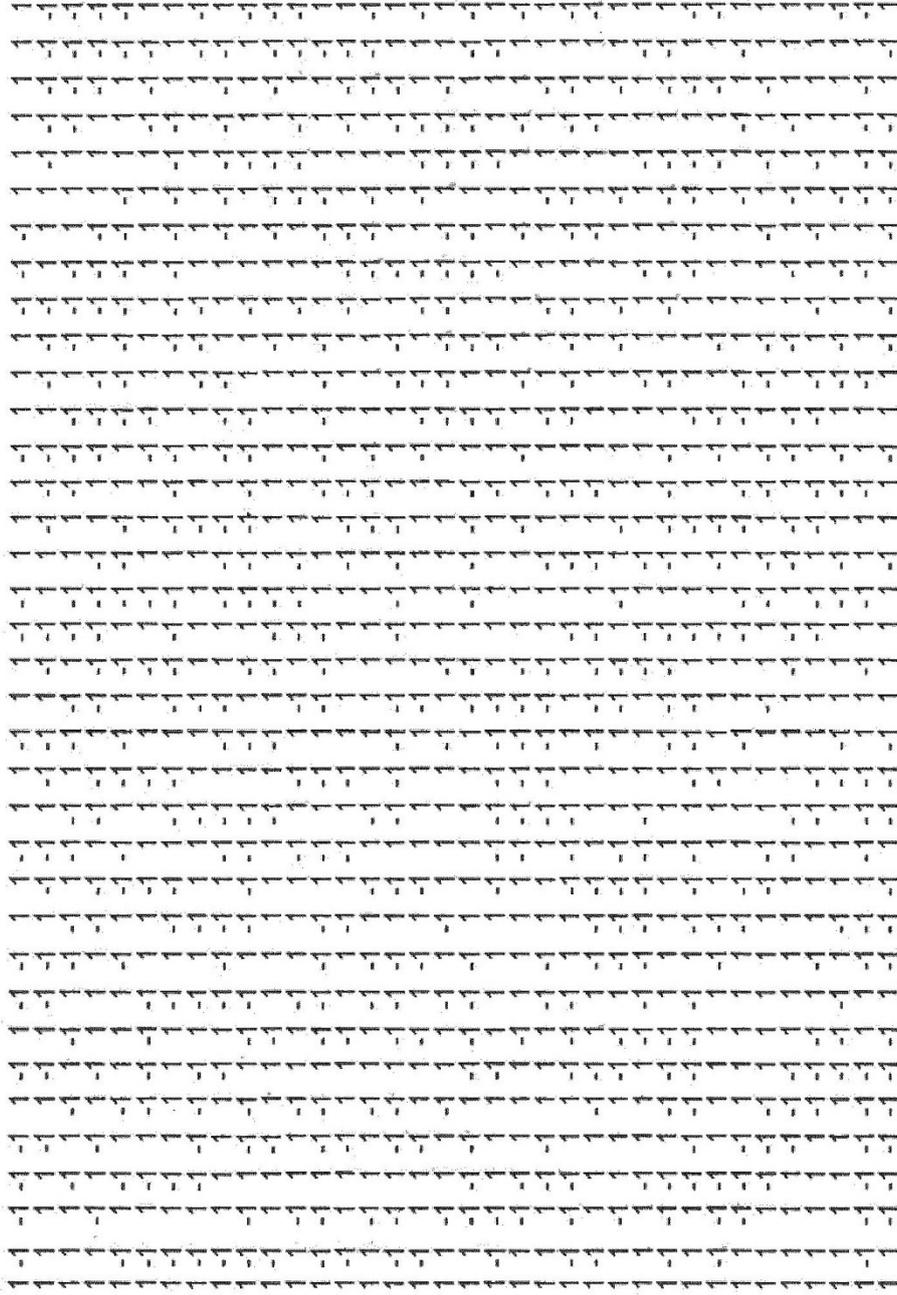


FIG. 8

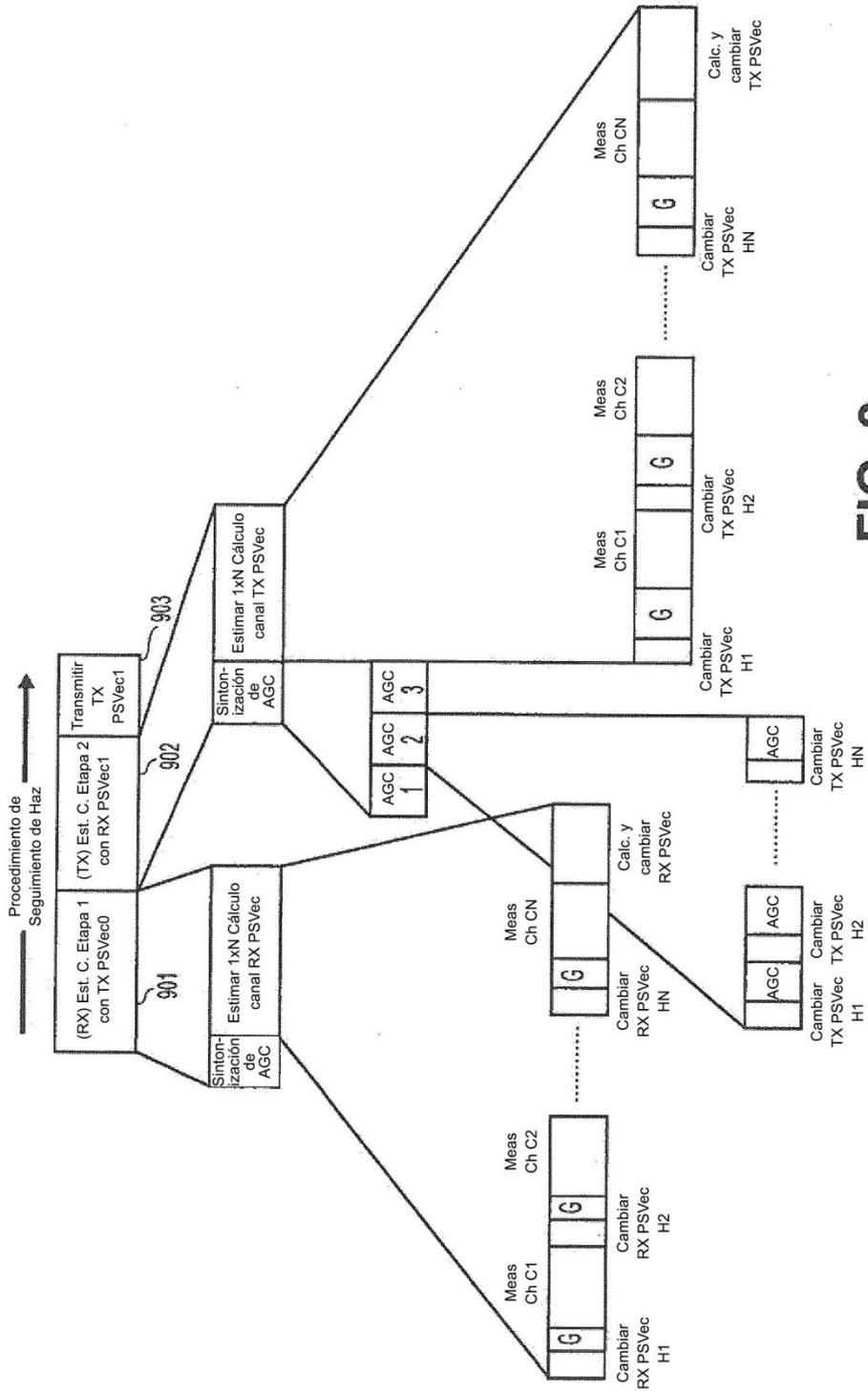
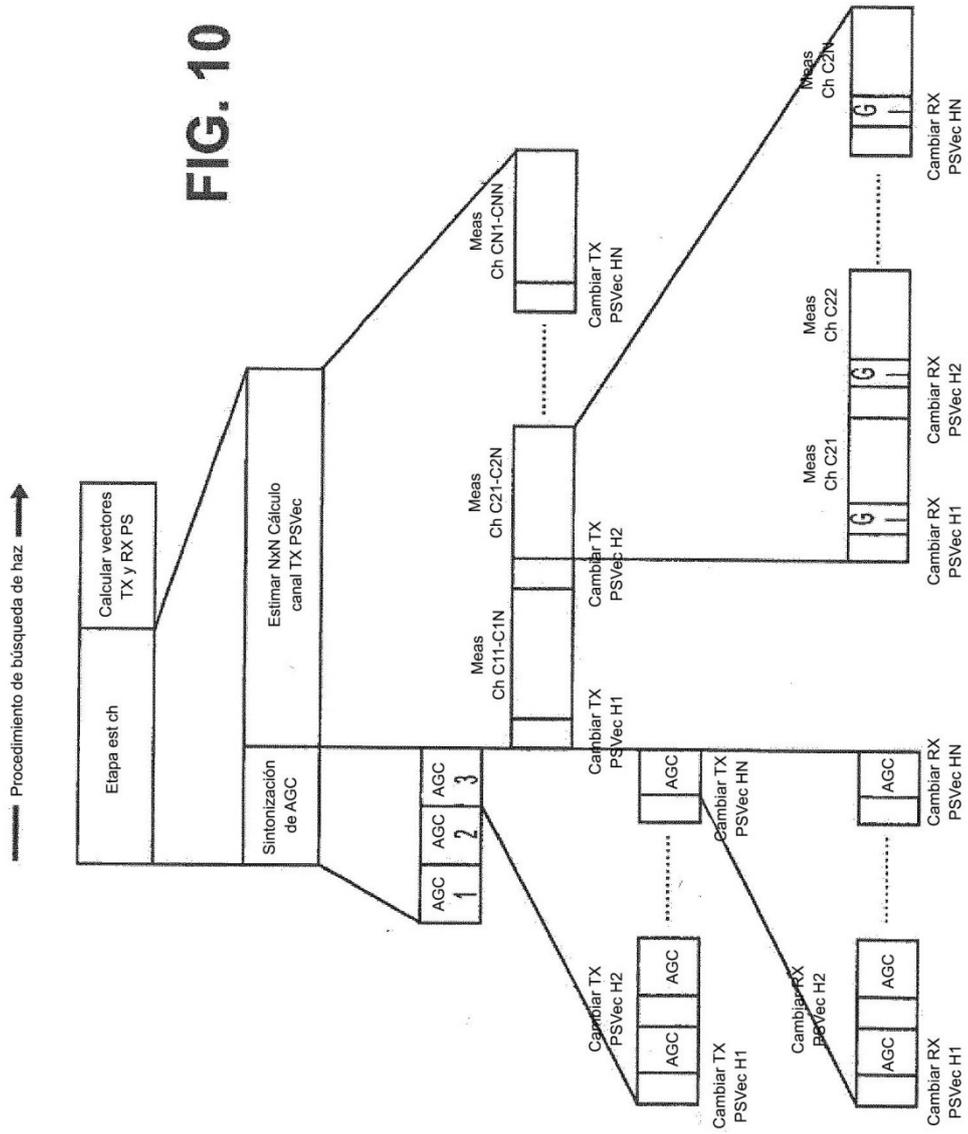


FIG. 9



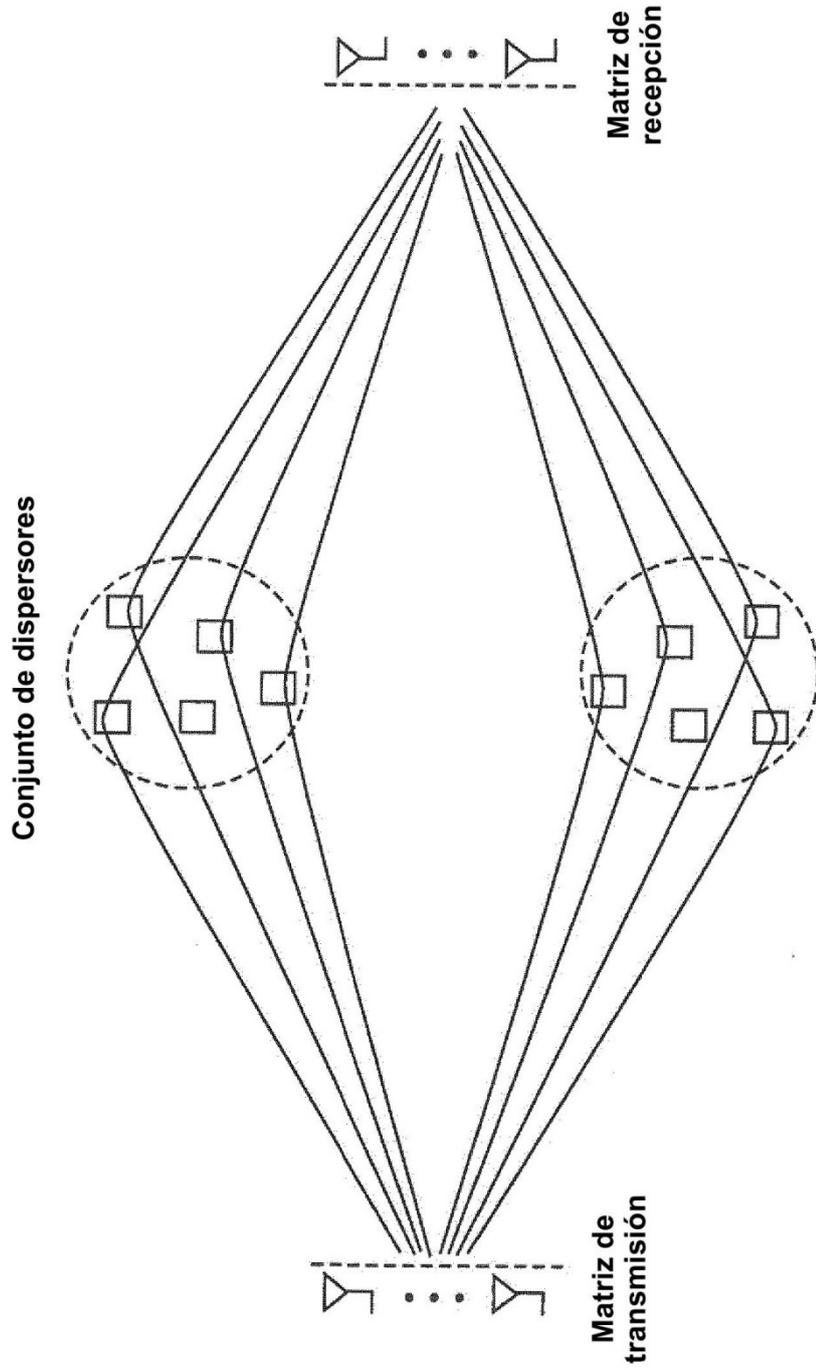


FIG. 11