

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 766**

51 Int. Cl.:

H04L 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.05.2002 E 07011912 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2013 EP 1830509**

54 Título: **Procedimiento y aparato de asignación de recursos en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)**

30 Prioridad:

16.05.2001 US 859345

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

07.01.2014

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 MOREHOUSE DRIVE
SAN DIEGO, CA 92121-1714, US**

72 Inventor/es:

**WALTON, JAY R.;
WALLACE, MARK y
HOWARD, STEVEN J.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 436 766 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

Procedimiento y aparato de asignación de recursos en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)

Antecedentes5 **Campo**

La presente invención se refiere, en general, a la comunicación de datos y, más específicamente, a técnicas para asignar recursos de enlace descendente en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO).

Antecedentes

10 Los sistemas de comunicación inalámbrica están ampliamente extendidos para proporcionar diversos tipos de comunicación tales como voz, datos y otros, para un cierto número de usuarios. Estos sistemas se pueden basar en el acceso múltiple por división de código (CDMA), el acceso múltiple por división del tiempo (TDMA), el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) o algunas otras técnicas de acceso múltiple.

15 Un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) emplea múltiples (N_T) antenas de transmisión y múltiples (N_R) antenas de recepción para transmitir múltiples flujos de datos independientes. En una implementación común de sistema de MIMO, todos los flujos de datos se transmiten a un solo terminal en un momento dado. Sin embargo, un sistema de comunicación de acceso múltiple que tenga una estación base con múltiples antenas también puede comunicarse concurrentemente con un cierto número de terminales. En este caso, la estación base emplea un cierto número de antenas y cada terminal emplea N_R antenas para recibir uno o más de los múltiples flujos de datos.

20 La conexión entre una estación base de antenas múltiples y un único terminal de múltiples antenas se denomina un canal de MIMO. Un canal de MIMO formado por estas N_T antenas de transmisión y N_R antenas de recepción se puede descomponer en N_C canales independientes, con $N_C \leq \min \{N_T, N_R\}$. También se denomina a cada uno de los N_C canales independientes como un subcanal espacial del canal de MIMO, y se corresponde con una dimensión. El sistema MIMO puede proporcionar prestaciones mejoradas (por ejemplo, capacidad aumentada de transmisión), si se utilizan las dimensiones adicionales de estos subcanales creados por las múltiples antenas de transmisión y recepción.

25 Cada canal de MIMO entre la estación base y un terminal experimenta habitualmente diferentes características de enlace y está asociado a una distinta capacidad de transmisión, de forma que los subcanales espaciales disponibles para cada terminal tengan capacidades efectivas diferentes. El uso eficaz de los recursos disponibles de enlace descendente (y de mayor caudal) se puede conseguir si los N_C subcanales espaciales disponibles están eficazmente asignados, de tal forma que los datos se transmitan por estos subcanales hasta un conjunto "adecuado" de terminales en el sistema de MIMO.

30 Por lo tanto, existe la necesidad en la técnica de tecnologías para asignar recursos de enlace descendente en un sistema de MIMO, para proporcionar prestaciones mejoradas del sistema.

35 Se reclama atención adicional al documento EP-A-0 884 862, que revela un aparato de comunicación por radio con una función de transmisión de diversidad, en donde el aparato comprende un transmisor auxiliar, además de los transmisores específicos para los canales. Las señales de sistemas de CDMA recibidas por las antenas son moduladas para los canales correspondientes, se detecta un nivel máximo de potencia de recepción de cada canal y se encuentra una antena con un nivel máximo. En un control de transmisión de diversidad, se determina si los niveles máximos de recepción de todos los canales son iguales o mayores que un nivel predeterminado. Si los niveles de recepción máximos de todos los canales son iguales o mayores que el nivel predeterminado, se realiza un control habitual de diversidad. Las señales de transmisión de los correspondientes canales se transmiten desde las antenas con niveles máximos de potencia de recepción, mediante los transmisores, que son específicos para los canales. Si el máximo nivel de recepción de uno cualquiera de los canales es el nivel predeterminado, o inferior, la señal de transmisión del canal asociado se transmite desde la antena con un segundo nivel más alto de potencia de recepción del canal, mediante el transmisor auxiliar, además del control habitual de diversidad.

40 **Sumario** De acuerdo a la presente invención, se proporcionan un procedimiento para planificar la transmisión de datos en un sistema de comunicación inalámbrica, según lo definido en la reivindicación 1, y una estación base para gestionar la transmisión de datos en un sistema de comunicación inalámbrica, según lo definido en la reivindicación 7. Las realizaciones preferidas de la invención son reivindicadas en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

45 Las características, la naturaleza y las ventajas de la presente invención se harán más evidentes a partir de la descripción detallada expuesta en lo que sigue, al considerarse conjuntamente con los dibujos, en los cuales los caracteres iguales de referencia identifican de forma correspondiente en toda la extensión del documento, y en los cuales:

la FIG. 1 es un diagrama de un sistema de comunicación de múltiples entradas y salidas (MIMO) que puede estar diseñado y operado para implementar diversos aspectos y realizaciones de la invención;

50 la FIG. 2 es un diagrama de flujo de un proceso para planificar terminales para la transmisión de datos, según una realización de la invención;

la FIG. 3 es un diagrama de flujo de un proceso para asignar antenas de transmisión a antenas de recepción, usando un criterio “máx-máx”, según una realización de la invención;

la FIG. 4 es un diagrama de flujo para un esquema de planificación basado en prioridades, por el cual un conjunto de uno o más de los terminales de más alta prioridad es considerado para la planificación, de acuerdo a una realización de la invención;

la FIG. 5 es un diagrama de bloques de una estación base y de un cierto número de terminales en el sistema de comunicación de MIMO;

la FIG. 6 es un diagrama de bloques de una realización de la parte de transmisión de una estación base capaz de procesar datos para su transmisión a los terminales, en base a la CSI disponible;

la FIG. 7 es un diagrama de bloques de una realización de la parte de recepción de un terminal;

las FIGS. 8A y 8B son diagramas de bloques de una realización de un procesador de datos de MIMO de canal y de un cancelador de interferencias, respectivamente, de un procesador de datos de MIMO de recepción (RX) en el terminal; y

la FIG. 9 muestra el caudal medio para un sistema de comunicación de MIMO con cuatro antenas de transmisión (es decir, $N_T = 4$) y cuatro antenas de recepción en cada terminal (es decir, $N_R = 4$) para dos modalidades de operación diferentes.

Descripción detallada

La FIG. 1 es un diagrama de un sistema 100 de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) que puede ser diseñado y operado para implementar diversos aspectos y realizaciones de la invención. El sistema 100 de MIMO emplea múltiples (N_T) antenas de transmisión y múltiples (N_R) antenas de recepción para transmitir datos. El sistema 100 de MIMO está formado eficazmente para un sistema de comunicación de acceso múltiple que tiene una estación base (BS) 104 que puede comunicarse concurrentemente con un cierto número de terminales (T) 106. En este caso, la estación base 104 emplea múltiples antenas y representa la múltiple entrada (MI) para transmisiones de enlace descendente desde la estación base hasta los terminales.

Un conjunto de uno o más terminales 106 “comunicantes” representa colectivamente la múltiple salida (MO) para transmisiones de enlace descendente. Como se usa en este documento, un terminal de comunicación es aquel que recibe los datos específicos del usuario procedentes de la estación base, y un terminal “activo” es aquel que desea la transmisión de datos en un intervalo de transmisión inmediato o futuro. Los terminales activos pueden incluir terminales que actualmente estén comunicándose.

El sistema 100 de MIMO puede ser diseñado para implementar cualquier número de estándares y diseños para el CDMA, el TDMA, el FDMA y otras técnicas de acceso múltiple. Los estándares de CDMA incluyen los estándares IS-95, cdma2000 y W-CDMA, y los estándares de TDMA incluyen el estándar *Sistema Global para Comunicaciones Móviles* (GSM). Estos estándares son conocidos en la técnica.

El sistema 100 de MIMO se puede operar para transmitir datos mediante un cierto número de canales de transmisión. Cada terminal 106 se comunica con la estación base 104 mediante un canal de MIMO. Un canal de MIMO se puede descomponer en N_C canales independientes, con $N_C \leq \min \{N_T, N_R\}$. También se hace referencia a cada uno de los N_C canales independientes como un subcanal espacial del canal de MIMO. Para un sistema de MIMO que no utiliza modulación ortogonal por división de frecuencia (OFDM), habitualmente sólo hay un subcanal de frecuencia y se puede hacer referencia a cada subcanal espacial como un “canal de transmisión”. Y para un sistema de MIMO que utiliza OFDM, se puede hacer referencia a cada subcanal espacial de cada subcanal de frecuencia como un canal de transmisión.

Para el ejemplo mostrado en la FIG. 1, la estación base 104 se comunica concurrentemente con los terminales 106a a 106d (según lo indicado por las líneas continuas) mediante múltiples antenas disponibles en la estación base y múltiples antenas disponibles en cada terminal. Los terminales 106e a 106h pueden recibir referencias piloto y otra información de señalización desde la estación base 104 (según lo indicado por las líneas discontinuas), pero no están recibiendo datos específicos del usuario desde la estación base.

Cada terminal 106 en el sistema 100 de MIMO emplea N_R antenas para la recepción de uno o más flujos de datos. Generalmente, el número de antenas en cada terminal es igual o mayor que el número de flujos de datos transmitidos por la estación base. Sin embargo, no todos los terminales en el sistema necesitan estar equipados con igual número de antenas de recepción.

Para el sistema 100 de MIMO, el número de antenas en cada uno de los terminales (N_R) es habitualmente mayor o igual que el número de antenas en la estación base (N_T). En este caso, para el enlace descendente, el número de subcanales espaciales está limitado por el número de antenas de transmisión en la estación base. Cada antena de transmisión puede ser usada para enviar un flujo independiente de datos que puede ser codificado y modulado en base a un esquema con soporte por parte del subcanal espacial asociado al canal de MIMO entre la estación base y el terminal seleccionado.

Aspectos de la invención proporcionan técnicas para aumentar el rendimiento de un sistema de comunicación inalámbrica. Estas técnicas se pueden usar ventajosamente para aumentar la capacidad de enlace descendente de un sistema celular de acceso múltiple. Estas técnicas también se pueden usar combinadas con otras técnicas de acceso múltiple.

En un aspecto, los datos se pueden transmitir desde una estación base hasta uno o más terminales usando una modalidad entre un cierto número de diferentes modalidades de funcionamiento. En una modalidad de MIMO, los recursos disponibles de enlace descendente son asignados a un único terminal (es decir, un terminal de MIMO). En una modalidad de N-SIMO, los recursos de enlace descendente son asignados a un cierto número de terminales distintos, demodulando cada terminal un único flujo de datos (es decir, terminales de SIMO). Y en una modalidad mixta, los recursos de enlace descendente pueden ser asignados a una combinación de terminales de SIMO y de MIMO, teniendo ambos tipos de terminales soporte simultáneo por parte del mismo canal, que puede ser una ranura de tiempo, un canal de código, un subcanal de frecuencia, etc. Al transmitir datos simultáneamente a múltiples terminales de SIMO, a uno o más terminales de MIMO o a una combinación de los mismos, se aumenta la capacidad de transmisión del sistema.

En otro aspecto, se facilitan esquemas de planificación para planificar transmisiones de datos a terminales activos. Un planificador selecciona la mejor modalidad de funcionamiento a usar, en base a diversos factores, tales como, por ejemplo, los servicios que estén siendo solicitados por los terminales. Además, el planificador puede realizar un nivel adicional de optimización seleccionando un conjunto específico de terminales para la transmisión simultánea de datos y la asignación de las antenas de transmisión disponibles a los terminales seleccionados, de modo que se logren altas prestaciones del sistema y otros requisitos. Varios esquemas de planificación y esquemas de asignación de antenas se describen con más detalle en lo que sigue.

Con MIMO, se pueden transmitir múltiples flujos de datos independientes desde la estación base, mediante múltiples antenas de transmisión, a uno o más terminales planificados. Si el entorno de propagación tiene dispersión suficiente, se pueden usar técnicas de procesamiento del receptor de MIMO en los terminales, para explotar eficazmente las dimensiones espaciales del canal de MIMO, para aumentar la capacidad de transmisión. Las técnicas de procesamiento del receptor de MIMO se pueden usar cuando la estación base está comunicándose simultáneamente con múltiples terminales. Desde el punto de vista del terminal, las mismas técnicas de procesamiento del receptor se pueden usar para procesar N_T diferentes señales, destinadas a ese terminal (por ejemplo, un solo terminal de MIMO), o solamente una de las N_T señales (es decir, terminales de SIMO).

Como se muestra en la FIG. 1, los terminales se pueden distribuir aleatoriamente en la zona de cobertura de la estación base (o "célula"), o pueden estar co-situados. Para un sistema de comunicación inalámbrica, las características de enlace varían habitualmente con el tiempo, debido a un cierto número de factores, tales como el desvanecimiento y la multi-trayectoria. En un instante particular en el tiempo, la respuesta del canal entre la formación de N_T antenas de transmisión de la estación base y las N_R antenas de recepción para un solo terminal puede estar caracterizada por una matriz H cuyos elementos están compuestos por variables aleatorias gaussianas independientes, según lo siguiente:

$$\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1 \ \mathbf{h}_2 \ \dots \ \mathbf{h}_{N_T}] = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{2,1} & \Lambda & h_{N_T,1} \\ h_{1,2} & h_{2,2} & \Lambda & h_{N_T,2} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ h_{1,N_R} & h_{2,N_R} & \Lambda & h_{N_T,N_R} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (1)}$$

donde H es la matriz de respuesta del canal para el terminal, y h_{ij} es el acoplamiento entre la i -ésima antena de transmisión de la estación base y la j -ésima antena de recepción del terminal.

Como se muestra en la ecuación (1), las estimaciones de canal para cada terminal pueden ser representadas con una matriz que tiene $N_T \times N_R$ elementos, correspondientes al número de antenas de transmisión en la estación base y al número de antenas de recepción en el terminal. Cada elemento de la matriz H describe la respuesta para un par de antenas de transmisión-recepción respectivas entre la estación base y un terminal. Por simplicidad, la ecuación (1) describe una caracterización de canal en base a un modelo de canal de desvanecimiento plano (es decir, un valor complejo para todo el ancho de banda del sistema). En un entorno de trabajo efectivo, el canal puede ser selectivo en frecuencia (es decir, la respuesta del canal varía por todo el ancho de banda del sistema) y se puede usar una caracterización del canal más detallada (por ejemplo, cada elemento de la matriz H puede incluir un conjunto de valores para diferentes subcanales de frecuencia o retrasos temporales).

Los terminales activos en el sistema de MIMO estiman periódicamente la respuesta del canal para cada par de antenas de transmisión-recepción. Las estimaciones del canal pueden ser facilitadas de un cierto número de maneras, tales como, por ejemplo, con el uso de señales piloto y / o técnicas dirigidas por la decisión de datos, conocidas en la técnica. Las estimaciones del canal pueden comprender la estimación de respuesta de canal de valor complejo para cada par de antenas de transmisión-recepción, como se ha descrito anteriormente en la ecuación (1). Las estimaciones del canal dan información sobre las características de transmisión de cada uno de los subcanales espaciales, es decir, qué tasa de transmisión de datos dispone de soporte en cada subcanal, con un conjunto dado de parámetros de transmisión. La información dada por las estimaciones del canal puede ser destilada en una estimación pos-procesada de la razón entre señal y ruido, más interferencia (SNR), para cada subcanal espacial (descrito en lo que sigue), o en alguna otra estadística que permita al transmisor seleccionar los parámetros adecuados de transmisión para ese subcanal espacial. Habitualmente, este proceso de obtención de la estadística esencial reduce la cantidad de datos necesarios para caracterizar un canal. En cualquier caso, esta información representa una forma de información del estado del canal (CSI), que puede ser informada a la estación base. Otras formas de la CSI también pueden ser informadas, y se describen en lo que sigue.

La CSI agrupada recibida desde la colección de terminales se puede usar para (1) seleccionar un "mejor" conjunto

de uno o más terminales para la transmisión de datos, (2) asignar las antenas de transmisión disponibles a los terminales seleccionados en el conjunto y (3) seleccionar el esquema adecuado de codificación y modulación para cada antena de transmisión. Con la CSI disponible, se pueden diseñar diversos esquemas de planificación para maximizar las prestaciones de enlace descendente, evaluando qué combinación específica de terminales y de asignaciones de antena proporciona las mejores prestaciones del sistema (por ejemplo, el mayor caudal), sujeto a cualquier restricción y requisito del sistema. Al explotar las "rúbricas" espaciales (y, posiblemente, de frecuencia) de los terminales activos individuales (es decir, sus estimaciones de canal), se puede aumentar el caudal medio del enlace descendente.

Los terminales se pueden planificar para la transmisión de datos en base a diversos factores. Un conjunto de factores puede referirse a las restricciones y los requisitos del sistema, tales como la calidad de servicio (QoS) deseada, la latencia máxima, la tasa media de transmisión de datos, etc. Algunos de, o todos, estos factores pueden tener que ser satisfechos de un terminal a otro (es decir, para cada terminal) en un sistema de comunicación de acceso múltiple. Otro conjunto de factores puede estar relacionado con las prestaciones del sistema, que pueden estar cuantificadas por una tasa media del caudal del sistema, o por algunas otras indicaciones de prestaciones. Estos diversos factores se describen con más detalle en lo que sigue.

Los esquemas de planificación se pueden diseñar para seleccionar el mejor conjunto de terminales para la transmisión simultánea de datos por los canales de transmisión disponibles, de modo que el rendimiento del sistema se maximice a la vez que se adapta a las restricciones y requisitos del sistema. Por simplicidad, diversos aspectos de la invención se describen en lo que sigue para un sistema de MIMO sin OFDM, en el cual la estación base puede transmitir un flujo de datos independiente desde cada antena de transmisión. En este caso, (hasta) N_T flujos independientes de datos pueden ser transmitidos simultáneamente por la estación base desde N_T antenas de transmisión, y destinados a uno o más terminales, cada uno equipado con N_R antenas de recepción (es decir, $N_T \times N_R$ MIMO), donde $N_R \geq N_T$.

Por simplicidad, se supone que el número de antenas de recepción es igual al número de antenas de transmisión (es decir, $N_R = N_T$) en gran parte de la descripción en lo que sigue. Esto no es una condición necesaria, ya que todo el análisis se aplica al caso en el cual $N_R \geq N_T$.

La planificación de la transmisión de datos por el enlace descendente comprende dos partes: (1) selección de uno o más conjuntos de terminales para su evaluación y (2) asignación de las antenas de transmisión disponibles a los terminales en cada conjunto. Todos, o únicamente un subconjunto de, los terminales activos pueden ser considerados para la planificación, y estos terminales se pueden combinar para formar uno o más conjuntos (es decir, hipótesis) que se han de evaluar. Para cada hipótesis, las antenas de transmisión disponibles pueden ser asignadas a los terminales en la hipótesis basada en cualquier esquema entre un cierto número de esquemas de asignación de antenas. Los terminales en la mejor hipótesis pueden ser planificados luego para la transmisión de datos en un intervalo próximo. La flexibilidad, tanto al seleccionar el mejor conjunto de terminales para la transmisión de datos como al asignar las antenas transmitidas a los terminales seleccionados, permite al planificador optimizar las prestaciones, explotando el entorno de diversidad de múltiples usuarios.

Con el fin de determinar la transmisión "óptima" a un conjunto de terminales, se proporcionan las SNR, o algunas otras estadísticas suficientes, para cada terminal y cada subcanal espacial. Si la estadística es la SNR, entonces, para cada conjunto de terminales que se ha de evaluar para la transmisión de datos en un intervalo de transmisión inminente, una matriz Γ de hipótesis de SNR "pos-procesadas" (definida en lo que sigue) para este terminal se puede expresar como:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \gamma_{1,1} & \gamma_{2,1} & \Lambda & \gamma_{N_T,1} \\ \gamma_{1,2} & \gamma_{2,2} & \Lambda & \gamma_{N_T,2} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ \gamma_{1,N_T} & \gamma_{2,N_T} & \Lambda & \gamma_{N_T,N_T} \end{bmatrix}, \quad \text{Ec. (2)}$$

donde $\gamma_{i,j}$ es la SNR pos-procesada para un flujo de datos (hipotéticamente) transmitido desde la i -ésima antena transmisora hasta el j -ésimo terminal.

En la modalidad de N-SIMO, las N_T filas en la matriz Γ de hipótesis se corresponden con N_T vectores de valores de SNR provenientes de N_T diferentes terminales. En esta modalidad, cada fila en la matriz Γ de hipótesis da la SNR de cada flujo de datos de transmisión para un terminal. Y en la modalidad mixta, para un terminal de MIMO específico, designado para recibir dos o más flujos de datos, el vector de las SNR de ese terminal se puede replicar de modo que el vector aparezca en tantas filas como el número de flujos de datos a transmitir para el terminal (es decir, una fila por flujo de datos). Alternativamente, una fila en la matriz Γ de hipótesis puede ser usada para cada terminal de SIMO o de MIMO, y el planificador se puede diseñar para marcar y evaluar en consecuencia estos tipos diferentes de terminales.

En cada terminal, en el conjunto a evaluar, los (hipotéticamente) N_T flujos de datos transmitidos son recibidos por las N_R antenas de recepción del terminal, y las N_R señales recibidas pueden ser procesadas usando la ecualización espacial, o espacial-temporal, para separar los N_T flujos de datos transmitidos, como se describe en lo que sigue. La SNR de un flujo de datos pos-procesado (es decir, tras la ecualización) se puede estimar, y comprende la SNR pos-procesada para ese flujo de datos. Para cada terminal, puede proporcionarse un conjunto de N_T SNR pos-procesadas para los N_T flujos de datos que pueden ser recibidos por ese terminal.

Si una técnica de procesamiento de receptor, de ecualización sucesiva y de cancelación de interferencia (o "cancelación sucesiva"), se usa en un terminal para procesar las señales recibidas, entonces la SNR pos-procesada lograda en el terminal para cada flujo de datos transmitido depende del orden en el cual son detectados los flujos de datos transmitidos (es decir, demodulados y descodificados) para recuperar los datos transmitidos, como se describe en lo que sigue. En este caso, puede proporcionarse un cierto número de conjuntos de SNR para cada terminal, para un cierto número de posibles ordenamientos de detección. Luego se pueden formar y evaluar matrices de múltiples hipótesis para determinar qué combinación específica de terminales y de ordenamiento de detección proporciona el mejor rendimiento del sistema.

En cualquier caso, cada matriz Γ de hipótesis incluye las SNR pos-procesadas para un conjunto específico de terminales (es decir, hipótesis) que se han de evaluar. Estas SNR pos-procesadas representan las SNR alcanzables por los terminales, y son usadas para evaluar la hipótesis.

La FIG. 2 es un diagrama de flujo de un proceso 200 para planificar terminales para la transmisión de datos, de acuerdo a una realización de la invención. Para mayor claridad, primero se describe el proceso global, y los detalles para algunas de las etapas en el proceso se describen posteriormente.

Inicialmente, en la etapa 212 se inicializan las métricas que se usarán para seleccionar el mejor conjunto de terminales para la transmisión de datos. Se pueden usar diversas métricas de prestaciones para evaluar los conjuntos de terminales, y algunas de éstas se describen con más detalle en lo que sigue. Por ejemplo, se puede usar una métrica de prestaciones que maximice el caudal del sistema.

A continuación, se selecciona un (nuevo) conjunto de uno o más terminales activos, entre todos los terminales activos considerados para la planificación, en la etapa 214. Este conjunto de terminales forma una hipótesis a evaluar. Diversas técnicas se pueden usar para limitar el número de terminales activos a considerar para la planificación, lo que reduce entonces el número de hipótesis a evaluar, como se describe en lo que sigue. Para cada terminal en la hipótesis, en la etapa 216 se recupera el vector de SNR (por ejemplo, $\gamma_j = [\gamma_{1,j}, \gamma_{2,j}, \dots, \gamma_{N_T,j}]$). Los vectores de SNR para todos los terminales en la hipótesis forman la matriz Γ de hipótesis mostrada en la ecuación (2).

Para cada matriz Γ de hipótesis de N_T antenas de transmisión y N_T terminales, hay $N_T!$ posibles combinaciones de asignaciones de antenas de transmisión a terminales (es decir, $N_T!$ sub-hipótesis). De este modo, una combinación particular (nueva) de asignaciones de antenas / terminales se selecciona para su evaluación, en la etapa 218. Esta combinación particular de asignaciones de antenas / terminales forma una sub-hipótesis que se ha de evaluar.

En la etapa 220 se evalúa luego la sub-hipótesis y se determina la métrica de rendimiento (por ejemplo, el caudal del sistema) que se corresponde con esta sub-hipótesis (por ejemplo, en función de las SNR para la sub-hipótesis). Esta métrica de rendimiento se usa, a continuación, en la etapa 222, para actualizar la métrica de rendimiento correspondiente a la mejor sub-hipótesis actual. Específicamente, si la métrica de rendimiento para esta sub-hipótesis es mejor que la de la mejor sub-hipótesis actual, a continuación, esta sub-hipótesis se convierte en la nueva mejor sub-hipótesis, y la métrica de rendimiento y las otras métricas de terminales correspondientes a esta sub-hipótesis se guardan. Las métricas de rendimiento y de terminales se describen en lo que sigue.

Se hace, a continuación, una determinación en cuanto a si todas las sub-hipótesis para la hipótesis actual han sido evaluadas o no, en la etapa 224. Si no todas las hipótesis han sido evaluadas, el proceso vuelve a la etapa 218 y una combinación diferente, y aún no evaluada, de asignaciones de antenas / terminales se selecciona para su evaluación. Las etapas 218 a 224 se repiten para cada sub-hipótesis que se deba evaluar.

Si todas las sub-hipótesis para una hipótesis particular se han evaluado, en la etapa 224, se toma, a continuación, una determinación en cuanto a si todas las hipótesis se han considerado o no. Si no se han considerado todas las hipótesis, a continuación, el proceso vuelve a la etapa 214 y un conjunto diferente, y aún no considerado, de terminales se selecciona para su evaluación. Las etapas 214 a 226 se repiten para cada hipótesis que se ha de considerar.

Si se han considerado todas las hipótesis en la etapa 226, entonces se conocen el conjunto específico de terminales planificados para la transmisión de datos en el próximo intervalo de transmisión y sus antenas de transmisión asignadas. Las SNR pos-procesadas que se corresponden con este conjunto de terminales y asignaciones de antenas se pueden usar para seleccionar los esquemas correctos de codificación y modulación para los flujos de datos que se han de transmitir a los terminales. El intervalo de transmisión planificado, las asignaciones de antena, los esquemas de codificación y modulación, otra información, o cualquier combinación de las mismas, se pueden llevar a los terminales planificados (por ejemplo, mediante un canal de control), en la etapa 228. Alternativamente, los terminales pueden realizar la detección "a ciegas" e intentar detectar todos los flujos de datos transmitidos para determinar cuáles, si acaso, de los flujos de datos están destinados a ellos.

Si el esquema de planificación exige que se mantengan otros sistemas y métricas de terminales (por ejemplo, la tasa media de transmisión de datos a lo largo de los K intervalos de transmisión pasados, la latencia para la transmisión de datos, etc.), entonces estas métricas se actualizan en la etapa 230. Las métricas de terminales se pueden usar para evaluar el rendimiento de los terminales individuales, y se describen en lo que sigue. La planificación se realiza habitualmente para cada intervalo de transmisión.

Para una matriz Γ de hipótesis dada, el planificador evalúa diversas combinaciones de parejas de antenas de transmisión y terminales (es decir, sub-hipótesis) para determinar las mejores asignaciones para la hipótesis. Diversos esquemas de asignación se pueden usar para asignar antenas de transmisión a los terminales, para lograr diversos objetivos del sistema, tales como la equidad, el rendimiento maximizado y otros.

En un esquema de asignación de antenas, todas las posibles sub-hipótesis se evalúan en base a una métrica de rendimiento particular y se selecciona la sub-hipótesis con la mejor métrica de rendimiento. Para cada matriz Γ de hipótesis, hay N_T factorial (es decir, $N_T!$) posibles sub-hipótesis que se pueden evaluar. Cada sub-hipótesis se corresponde con una asignación específica de cada antena de transmisión a un terminal correspondiente. Cada sub-hipótesis se puede representar, de este modo, con un vector de SNR pos-procesadas, que se puede expresar como:

$$\underline{\gamma}_{sub-hyp} = \{ \gamma_{1,a}, \gamma_{2,b}, \dots, \gamma_{N_T,r} \} ,$$

donde $\gamma_{i,j}$ es la SNR pos-procesada para la i -ésima antena de transmisión al j -ésimo terminal, y los subíndices $\{a, b, \dots, r\}$ identifican los terminales específicos en las parejas de antena de transmisión / terminal para las sub-hipótesis.

Cada sub-hipótesis está asociada, además, a una métrica de rendimiento, $R_{sub-hyp}$, que puede ser una función de diversos factores. Por ejemplo, una métrica de rendimiento basada en las SNR pos-procesadas se puede expresar como:

$$R_{sub-hyp} = f(\underline{\gamma}_{sub-hyp}) ,$$

donde $f(\cdot)$ es una función real positiva particular del (de los) argumento(s) entre paréntesis.

Se pueden usar diversas funciones para formular la métrica de rendimiento. En un ejemplo, se puede usar una función del caudal alcanzable para todas las N_T antenas de transmisión para las sub-hipótesis, la cual se puede expresar como:

$$f(\underline{\gamma}_{sub-hyp}) = \sum_{i=1}^{N_T} r_i , \quad \text{Ec. (3)}$$

donde r_i es el caudal asociado a la i -ésima antena de transmisión en la sub-hipótesis, y se puede expresar como:

$$r_i = c_i \cdot \log_2(1 + \gamma_i) , \quad \text{Ec. (4)}$$

donde c_i es una constante positiva que refleja la fracción de la capacidad teórica alcanzada por el esquema de codificación y modulación seleccionado para el flujo de datos transmitido por la i -ésima antena de transmisión, y γ_i es la SNR pos-procesada para el i -ésimo flujo de datos.

El primer esquema de asignación de antenas mostrado en la FIG. 2 y descrito en lo que antecede representa un esquema específico que evalúa todas las combinaciones posibles de asignaciones de antenas de transmisión a terminales. El número total de sub-hipótesis potenciales que el planificador ha de evaluar para cada hipótesis es $N_T!$, que puede ser grande, teniendo en cuenta que puede ser necesario evaluar un gran número de hipótesis. El primer esquema de planificación realiza una búsqueda exhaustiva para determinar la sub-hipótesis que proporciona el rendimiento de sistema "óptimo", según lo cuantificado por la métrica de rendimiento usada para seleccionar la mejor sub-hipótesis.

Se puede usar un cierto número de técnicas para reducir la complejidad del procesamiento para asignar antenas de transmisión. Una de estas técnicas se describe en lo que sigue, y otras también se pueden implementar, y están dentro del alcance de la invención. Estas técnicas también pueden proporcionar un alto rendimiento del sistema mientras reducen la magnitud del procesamiento requerido para asignar antenas de transmisión a terminales.

En un segundo esquema de asignación de antenas, se usa un criterio máximo-máximo ("máx-máx") para asignar antenas de transmisión a los terminales en las hipótesis que se están evaluando. Al usar este criterio máx-máx, cada antena de transmisión se asigna a un terminal particular que logra la mejor SNR para la antena de transmisión. La asignación de antenas se realiza para una antena de transmisión a la vez.

La FIG. 3 es un diagrama de flujo de un proceso 300 para asignar antenas de transmisión a terminales usando el criterio máx-máx, según una realización de la invención. El procesamiento mostrado en la FIG. 3 se realiza para una hipótesis particular, que se corresponde con un conjunto específico de uno o más terminales. Inicialmente, se determina la SNR pos-procesada máxima en la matriz Γ de hipótesis, en la etapa 312. Esta SNR máxima se corresponde con una pareja específica de antena de transmisión / terminal, y la antena de transmisión se asigna a este terminal, en la etapa 314. Esta antena de transmisión y este terminal se eliminan, a continuación, de la matriz Γ , y la matriz se reduce a la dimensión $(N_T-1) \times (N_T-1)$, eliminando tanto la columna correspondiente a la antena de transmisión como la fila correspondiente al terminal que se acaba de asignar, en la etapa 316.

En la etapa 318, se toma una determinación en cuanto a si todas las antenas de transmisión en la hipótesis han sido asignadas o no. Si todas las antenas de transmisión se han asignado, entonces las asignaciones de antenas se proporcionan en la etapa 320, y el proceso termina. En caso contrario, el proceso regresa a la etapa 312 y otra antena de transmisión se asigna de forma similar.

Una vez que las asignaciones de antenas se han hecho para una matriz r de hipótesis dada, se puede determinar la

5 métrica de rendimiento (por ejemplo, el caudal del sistema) correspondiente a esta hipótesis (por ejemplo, en base a las SNR correspondientes a las asignaciones de antenas), como se muestra en las ecuaciones (3) y (4). Esta métrica de rendimiento se actualiza para cada hipótesis. Cuando todas las hipótesis se han evaluado, se selecciona el mejor conjunto de asignaciones de terminales y antenas para la transmisión de datos en el próximo intervalo de datos.

10 La Tabla 1 muestra una matriz Γ ejemplar de SNR pos-procesadas obtenidas mediante terminales en un sistema de MIMO de 4 x 4, en el que la estación base incluye cuatro antenas de transmisión y cada terminal incluye cuatro antenas de recepción. Para el esquema de asignación de antenas basado en el criterio máx-máx, la mejor SNR (16 dB) en la matriz original es lograda por la antena 3 de transmisión y es asignada al terminal 1, según lo indicado por el cuadro sombreado en la tercera fila de la cuarta columna en la tabla. La antena 3 de transmisión y el terminal 1 se eliminan a continuación de la matriz. La mejor SNR (14 dB) en la matriz reducida de 3 x 3 es lograda por ambas antenas de transmisión 1 y 4, que se asignan, respectivamente, a los terminales 3 y 2. La antena 2 de transmisión restante se asigna entonces al terminal 4.

Tabla 1

SNR (dB)	Antena de transmisión			
Terminal	1	2	3	4
1	7	9	16	5
2	8	10	12	14
3	14	7	6	9
4	12	10	7	5

15 La Tabla 2 muestra las asignaciones de antena que usan el criterio máx-máx para la matriz Γ ejemplar mostrada en la Tabla 1. Para el terminal 1, la mejor SNR (16 dB) se logra al procesar la señal transmitida desde la antena 3 de transmisión. Las mejores antenas de transmisión para los otros terminales también se indican en la Tabla 2. El planificador puede usar esta información para seleccionar el esquema adecuado de codificación y modulación a emplear para la transmisión de datos.

Tabla 2

Terminal	Antena de transmisión	SNR (dB)
1	3	16
2	4	14
3	1	14
4	2	10

25 El esquema de planificación descrito en las FIGS. 2 y 3 representa un esquema específico que evalúa diversas hipótesis que se corresponden con los diversos conjuntos posibles de terminales activos que desean transmisión de datos en el próximo intervalo de transmisión. El número total de hipótesis a evaluar por parte del planificador puede ser bastante grande, incluso para un pequeño número de terminales activos. De hecho, el número total de hipótesis, N_{hyp} , se puede expresar como:

$$N_{hyp} = \binom{N_U}{N_T} = \frac{N_U!}{(N_U - N_T)! N_T!}, \quad \text{Ec. (5)}$$

30 donde N_U es el número de terminales activos que se deben considerar para la planificación. Por ejemplo, si $N_U = 8$ y $N_T = 4$, entonces $N_{hyp} = 70$. Se puede usar una búsqueda exhaustiva para determinar la hipótesis particular (y las asignaciones de antena particulares) que proporcione el rendimiento óptimo del sistema, según lo cuantificado por la métrica de rendimiento usada para seleccionar las mejores hipótesis y asignaciones de antenas.

35 También pueden ser implementados otros esquemas de planificación que tienen complejidad reducida, y están dentro del alcance de la invención. Uno de tales esquemas de planificación se describe en lo que sigue. Estos esquemas también pueden proporcionar un alto rendimiento del sistema mientras reducen la magnitud del procesamiento requerido para planificar terminales para la transmisión de datos.

En otro esquema de planificación, los terminales activos se planifican para la transmisión de datos en base a su prioridad. La prioridad de cada terminal se puede obtener en base a una o más métricas (por ejemplo, el caudal

medio), las restricciones y requisitos del sistema (por ejemplo, la latencia máxima), otros factores, o una combinación de los mismos, como se describe en lo que sigue. Se puede mantener una lista para todos los terminales activos que desean transmisión de datos en un próximo intervalo de datos (al que también se hace referencia como una "trama"). Cuando un terminal desea transmisión de datos, se añade a la lista y su métrica se inicializa (por ejemplo, a cero). Las métricas de cada terminal en la lista se actualizan, a continuación, en cada trama. Una vez que un terminal ya no desea transmisión de datos, se elimina de la lista.

Para cada trama, todos, o un subconjunto de, los terminales en la lista pueden ser considerados para la planificación. El número específico de terminales a considerar se puede basar en diversos factores. En una realización, únicamente los N_T terminales de mayor prioridad son seleccionados para la transmisión de datos. En otra realización, los N_x terminales de mayor prioridad en la lista son considerados para la planificación, donde $N_x > N_T$.

La FIG. 4 es un diagrama de flujo para un esquema 400 de planificación basado en la prioridad, por el cual se considera un conjunto de N_T terminales de mayor prioridad para la planificación, de acuerdo a una realización de la invención. En cada intervalo de trama, el planificador examina la prioridad para todos los terminales activos en la lista y selecciona el conjunto de N_T terminales de mayor prioridad, en la etapa 412. Los terminales restantes en la lista no se consideran para la planificación. Las estimaciones de canal para cada terminal seleccionado son recuperadas a continuación, en la etapa 414. Por ejemplo, las SNR pos-procesadas para los terminales seleccionados se pueden recuperar y usar para formar la matriz Γ de hipótesis.

Las N_T antenas de transmisión son luego asignadas a los terminales seleccionados en base a las estimaciones de canal, y usando uno cualquiera entre un cierto número de esquemas de asignación de antenas, en la etapa 416. Por ejemplo, las asignaciones de antenas se pueden basar en una búsqueda exhaustiva o en el criterio máx-máx descrito en lo que antecede. En otro esquema de asignación de antenas, las antenas de transmisión se asignan a los terminales de modo que sus prioridades estén normalizadas tan estrechamente como sea posible, una vez que las métricas de terminal estén actualizadas.

Las tasas de transmisión de datos y los esquemas de codificación y modulación para los terminales se determinan luego en base a las asignaciones de antenas, en la etapa 418. El intervalo de transmisión planificado y las tasas de transmisión de datos se pueden informar a los terminales planificados. Las métricas de los terminales planificados (y sin planificar) en las listas son actualizadas para reflejar la transmisión de datos planificada (y la ausencia de transmisión), y también se actualizan las métricas de sistema, en la etapa 420.

Diversas métricas y factores se pueden usar para determinar la prioridad de los terminales activos. En un ejemplo, se puede mantener una "puntuación" para cada terminal en la lista y para cada métrica que se usará para la planificación. En un ejemplo, se mantiene una puntuación indicativa de un caudal medio a lo largo de un intervalo particular de tiempo en promedio para cada terminal activo. En una implementación, la puntuación $\Phi_n(k)$ para el terminal n en la trama k se calcula como un caudal medio lineal alcanzado a lo largo de algún intervalo de tiempo, y se puede expresar como:

$$\phi_n(k) = \frac{1}{K} \sum_{i=k-K+1}^k r_n(i) / r_{max} , \quad \text{Ec. (6)}$$

donde $r_n(i)$ es la tasa de transmisión de datos realizada (en unidades de bits / trama) para el terminal n en la trama i , y se puede calcular como se muestra en la ecuación (4). Habitualmente, $r_n(i)$ está acotada por una específica tasa máxima alcanzable de transmisión de datos, r_{max} , y una específica tasa mínima de transmisión de datos (por ejemplo, cero). En otra implementación, la puntuación $\Phi_n(k)$ para el terminal n en la trama k es un caudal medio exponencial, alcanzado a lo largo de algún intervalo de tiempo, y se puede expresar como:

$$\phi_n(k) = (1 - \alpha) \cdot \phi_n(k - 1) + \alpha \cdot r_n(k) / r_{max} , \quad \text{Ec. (7)}$$

donde α es una constante de tiempo para obtener la media exponencial, con un valor mayor para α que corresponde a un mayor intervalo de tiempo medio.

Cuando un terminal desea transmisión de datos, se añade a la lista y su puntuación se inicializa a cero. La puntuación para cada terminal en la lista se actualiza posteriormente en cada trama. Toda vez que un terminal no esté planificado para la transmisión en una trama, su tasa de transmisión de datos para la trama se fija en cero (es decir, $r_n(k) = 0$) y su puntuación se actualiza en consecuencia. Si una trama es recibida con errores por un terminal, la tasa efectiva de transmisión de datos del terminal para esa trama se puede fijar en cero. El error de la trama puede no ser conocido inmediatamente (por ejemplo, debido al retardo de ida y vuelta del esquema de acuse de recibo, o de acuse de recibo negativo (Ack / Nak), usado para la transmisión de datos) pero la puntuación se puede ajustar en consecuencia una vez que esta información esté disponible.

La prioridad para los terminales activos también se puede determinar, en parte, en base a las restricciones y requisitos del sistema. Por ejemplo, si la latencia máxima para un terminal particular supera un valor de umbral, entonces el terminal puede ser elevado hasta una alta prioridad.

Otros factores también pueden ser considerados al determinar la prioridad de los terminales activos. Uno de tales factores puede estar relacionado con el tipo de datos a transmitir a los terminales. Los datos sensibles al retardo

5 pueden estar asociados a una mayor prioridad, y los insensibles al retardo pueden estar asociados a una menor prioridad. Los datos retransmitidos debido a errores de decodificación para una transmisión anterior también pueden estar asociados a una mayor prioridad, ya que otros procesos pueden estar esperando los datos retransmitidos. Otro factor puede estar relacionado con el tipo de servicio de datos que se está proporcionando para los terminales. Otros factores también pueden ser considerados al determinar la prioridad, y están dentro del alcance de la invención.

10 La prioridad de un terminal puede ser, por tanto, función de cualquier combinación de (1) la puntuación mantenida para el terminal para cada métrica que se ha de considerar, (2) otros valores de parámetros mantenidos para las restricciones y requisitos del sistema y (3) otros factores. En un ejemplo, las restricciones y requisitos del sistema representan valores “duros” (es decir, prioridad alta o baja, según que las restricciones y requisitos se hayan violado o no) y las puntuaciones representan valores “blandos”. Para este ejemplo, los terminales para los cuales las restricciones y requisitos del sistema no se han cumplido se consideran inmediatamente, junto con otros terminales, en base a sus puntuaciones.

15 Se puede diseñar un esquema de planificación basado en la prioridad para lograr un caudal medio (es decir, igual QoS) para todos los terminales en la lista. En este caso, se da prioridad a los terminales activos en base a su caudal medio logrado, que se puede determinar como se muestra en la ecuación (6) o (7). En este esquema de planificación basado en la prioridad, el planificador usa las puntuaciones para priorizar terminales, para su asignación a las antenas de transmisión disponibles. Las puntuaciones de los terminales se actualizan en base a sus asignaciones, o ausencia de asignaciones, a las antenas de transmisión. Los terminales activos en la lista pueden tener prioridades tales que al terminal con la menor puntuación se le dé la mayor prioridad, y el terminal con la mayor puntuación reciba, por el contrario, la menor prioridad. También pueden usarse otros procedimientos para clasificar terminales. El establecimiento de prioridades también puede asignar factores de ponderación no uniforme a las puntuaciones de terminales.

25 Para un esquema de planificación en el cual los terminales se seleccionan y planifican para la transmisión de datos en base a su prioridad, es posible que, ocasionalmente, se produzcan malos agrupamientos de terminales. Un conjunto “malo” de terminales es uno que da como resultado similares matrices H_k de respuesta de canal, que ocasionan SNR similares, y malas, para todos los terminales en todos los flujos de datos transmitidos, como los dados en la matriz Γ de hipótesis. Esto, entonces, da como resultado un caudal global bajo para cada terminal en el conjunto. Cuando esto sucede, las prioridades de los terminales pueden no variar sustancialmente a lo largo de varias tramas. De este modo, el planificador puede quedarse atascado en este conjunto particular de terminales, hasta que las prioridades cambien suficientemente para ocasionar un cambio en la membresía en el conjunto.

30 Para evitar el efecto de “agrupación” descrito en lo que antecede, el planificador puede ser diseñado para reconocer esta condición antes de asignar terminales a las antenas de transmisión disponibles y / o detectar la condición una vez que se ha producido. Se puede usar un cierto número de diferentes técnicas para determinar el grado de dependencia lineal en las matrices H_k de respuesta de canal. Un procedimiento sencillo de detección es aplicar un umbral particular en la matriz Γ de hipótesis. Si todas las SNR están por debajo de este umbral, entonces la condición de agrupación está presente. En el caso de que la condición de agrupación sea detectada, el planificador puede reordenar los terminales (por ejemplo, de una forma aleatoria) en un intento por reducir la dependencia lineal en la matriz de hipótesis. También puede idearse un esquema de mezcla aleatoria para forzar al planificador a seleccionar conjuntos de terminales que den como resultado matrices de hipótesis “buenas” (es decir, aquellas que tienen una magnitud mínima de dependencia lineal).

35 Algunos de los esquemas de planificación descritos en lo que antecede emplean técnicas para reducir la magnitud del procesamiento requerido para seleccionar terminales y asignar antenas de transmisión a los terminales seleccionados. Estas y otras técnicas también se pueden combinar para obtener otros esquemas de planificación, y esto está dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, los N_x terminales de mayor prioridad se pueden considerar para la planificación, usando uno cualquiera de los esquemas descritos anteriormente.

40 También pueden idearse esquemas de planificación más complejos que puedan ser capaces de lograr un caudal más cercano al óptimo. Se puede requerir que estos esquemas evalúen un número mayor de hipótesis y asignaciones de antena con el fin de determinar el mejor conjunto de terminales y las mejores asignaciones de antenas. También se puede diseñar otros esquemas de planificación para aprovechar la distribución estadística de las tasas de transmisión de datos logradas por cada terminal. Esta información puede ser útil para reducir el número de hipótesis que se han de evaluar. Además, para algunas aplicaciones, puede ser posible aprender qué agrupamientos de terminales (es decir, hipótesis) funcionan bien, analizando el rendimiento a lo largo del tiempo. Esta información luego puede ser almacenada, actualizada y usada por el planificador en futuros intervalos de planificación.

45 Las técnicas descritas en lo que antecede pueden ser usadas para planificar terminales para la transmisión de datos usando la modalidad de MIMO, la modalidad de N-SIMO y la modalidad mixta. Otras consideraciones también pueden ser aplicables para cada una de estas modalidades de funcionamiento, como se describe en lo que sigue.

Modalidad de MIMO

50 En la modalidad de MIMO, (hasta) N_T flujos de datos independientes pueden ser transmitidos simultáneamente por la estación base desde N_T antenas de transmisión, y destinados a un solo terminal de MIMO con N_R antenas de recepción (es decir, $N_T \times N_R$ MIMO), donde $N_R \geq N_T$. El terminal puede usar ecualización espacial (para un canal de MIMO no dispersivo con una respuesta de canal de frecuencia plana) para procesar y separar los N_T flujos de datos transmitidos. La SNR de cada flujo de datos pos-procesados (es decir, tras la ecualización) se puede estimar y enviar de nuevo a la estación base como CSI, que luego usa la información para seleccionar el esquema adecuado de codificación y modulación a usar en cada antena de transmisión, de modo que el terminal de destino sea capaz

de detectar cada flujo de datos transmitidos en el nivel deseado de rendimiento.

Si todos los flujos de datos se transmiten a un terminal, como es el caso en la modalidad de MIMO, entonces la técnica de procesamiento de recepción de cancelación sucesiva se puede usar en el terminal para procesar N_R señales recibidas para recuperar N_T flujos de datos transmitidos. Esta técnica procesa sucesivamente las N_R señales recibidas un cierto número de veces (o de iteraciones), para recuperar las señales transmitidas desde los terminales, siendo recuperada una señal transmitida por cada iteración. Para cada iteración, la técnica realiza el procesamiento lineal y no lineal (es decir, ecualización espacial o espacial-temporal) en las N_R señales recibidas, para recuperar una de las señales transmitidas, y cancela la interferencia debida a la señal recuperada de las señales recibidas, para obtener señales "modificadas" que tienen eliminada la componente de interferencia.

5 Las señales modificadas se procesan, a continuación, por la siguiente iteración, para recuperar otra señal transmitida. Al eliminar la interferencia debida a cada señal recuperada de las señales recibidas, la SNR mejora para las señales transmitidas incluidas en las señales modificadas, pero aún no recuperadas. La SNR mejorada da como resultado una mejora del rendimiento para el terminal, así como para el sistema. De hecho, en ciertas condiciones operativas, el rendimiento alcanzable con el uso del procesamiento de recepción de cancelación sucesiva, combinado con una ecualización espacial del error cuadrático medio mínimo (MMSE), es comparable al del procesamiento completo de la CSI. La técnica de procesamiento de recepción de cancelación sucesiva se describe con más detalle en el documento CA 2446512, titulado "PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA PROCESAR DATOS EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS MÚLTIPLES, UTILIZANDO INFORMACIÓN DE ESTADO DE CANAL", transferida al cesionario de la presente solicitud.

10 En un ejemplo, cada terminal de MIMO en el sistema estima y envía de vuelta N_T valores de SNR pos-procesadas para las N_T antenas de transmisión. Las SNR procedentes de los terminales activos pueden ser evaluadas por el planificador para determinar a qué terminal transmitir y cuándo, y el esquema adecuado de codificación y modulación a usar entre una antena transmisora y otra para cada terminal seleccionado.

15 Los terminales de MIMO se pueden seleccionar para la transmisión de datos en base a una métrica de rendimiento particular formulada para lograr los objetivos deseados del sistema. La métrica de rendimiento puede estar basada en una o más funciones y en cualquier número de parámetros. Se pueden usar diversas funciones para formular la métrica de rendimiento, tal como la función del caudal alcanzable para los terminales de MIMO, que se muestra anteriormente en las ecuaciones (3) y (4).

Modalidad de N-SIMO

20 En la modalidad de N-SIMO (hasta) N_T flujos de datos independientes pueden ser transmitidos simultáneamente por la estación base desde las N_T antenas de transmisión y destinados a (hasta) N_T diferentes terminales de SIMO. Para maximizar el rendimiento, el planificador puede considerar un gran número de posibles conjuntos de terminales para la transmisión de datos. El planificador determina luego el mejor conjunto de N_T terminales para transmitir simultáneamente por un canal determinado (es decir, ranura temporal, canal de código, subcanal de frecuencia, etc.). En un sistema de comunicación de acceso múltiple, generalmente, hay restricciones para satisfacer ciertos requisitos en función del terminal, tal como la latencia máxima o la tasa media de transmisión de datos. En este caso, el planificador puede ser diseñado para seleccionar el mejor conjunto de terminales sujeto a estas restricciones.

25 En una implementación para la modalidad de N-SIMO, los terminales usan ecualización espacial lineal para procesar las señales recibidas, y la SNR pos-procesada correspondiente a cada antena de transmisión se proporciona a la estación base. El planificador usa luego la información para seleccionar los terminales para la transmisión de datos y para asignar las antenas de transmisión a los terminales seleccionados.

30 En otra implementación para la modalidad de N-SIMO, los terminales usan el procesamiento de recepción de cancelación sucesiva para procesar la señal recibida, para lograr SNR pos-procesadas más altas. Con el procesamiento de recepción de cancelación sucesiva, las SNR pos-procesadas para los flujos de datos transmitidos dependen del orden en el cual son detectados los flujos de datos (es decir, demodulados y descodificados). En algunos casos, un terminal de SIMO en particular puede no ser capaz de cancelar la interferencia procedente de un flujo dado de datos transmitidos destinados a otro terminal, ya que el esquema de codificación y modulación usado para este flujo de datos fue seleccionado en base a la SNR pos-procesada del otro terminal. Por ejemplo, el flujo de datos transmitidos puede estar destinado para el terminal u_x , y codificado y modulado para una adecuada detección en una SNR pos-procesada (p. ej., de 10 dB), alcanzable en el terminal u_x de destino, pero otro terminal u_y puede recibir el mismo flujo de datos transmitidos en una peor SNR pos-procesada y, por tanto, no es capaz de detectar adecuadamente el flujo de datos. Si el flujo de datos destinado a otro terminal no se puede detectar sin errores, entonces la cancelación de la interferencia debida a este flujo de datos no es posible. El procesamiento de recepción de cancelación sucesiva es viable cuando la SNR pos-procesada correspondiente a un flujo de datos transmitidos permite la detección fiable.

35 A fin de que el planificador aproveche la mejora en las SNR pos-procesadas, ofrecida por los terminales de SIMO que usan el procesamiento de recepción de cancelación sucesiva, cada uno de tales terminales puede obtener las SNR pos-procesadas correspondientes a los diferentes órdenes posibles de detección para los flujos de datos transmitidos. Los N_T flujos de datos transmitidos se pueden detectar en base a N_T factorial (es decir, $N_T!$) posibles ordenamientos en un terminal de SIMO, y cada ordenamiento está asociado a N_T valores de SNR pos-procesada. De este modo, $N_T \cdot N_T!$ valores de SNR pueden ser informados por cada terminal activo a la estación base (p. ej., si $N_T = 4$, entonces 96 valores de SNR pueden ser informados por cada terminal de SIMO). El planificador puede usar luego la información para seleccionar terminales para la transmisión de datos, y para asignar, además, antenas de transmisión a los terminales seleccionados.

Si se usa el procesamiento de recepción de cancelación sucesiva en los terminales, el planificador también puede considerar los posibles ordenamientos de detección para cada terminal. Sin embargo, un gran número de estos ordenamientos son habitualmente inválidos, ya que un terminal particular puede no ser capaz de detectar adecuadamente flujos de datos transmitidos a otros terminales, debido a las menores SNR pos-procesadas logradas en este terminal para los flujos de datos indetectables.

Como se indicó anteriormente, las antenas de transmisión se pueden asignar a los terminales seleccionados en base a diversos esquemas. En un esquema de asignación de antenas, las antenas de transmisión son asignadas para lograr un gran rendimiento de sistema, y en base a la prioridad de los terminales.

La Tabla 3 muestra un ejemplo de las SNR pos-procesadas obtenidas por cada terminal en una hipótesis considerada. Para el terminal 1, la mejor SNR se logra al detectar el flujo de datos transmitido desde la antena 3 de transmisión, según lo indicado por el cuadro sombreado en la fila 3, columna 4 de la tabla. Las mejores antenas de transmisión para otros terminales en la hipótesis también están indicadas por el sombreado en los cuadros.

Tabla 3

SNR (dB)	Antena de transmisión			
Terminal	1	2	3	4
1	7	9	16	5
2	8	10	12	14
3	14	7	6	9
4	12	10	7	5

Si cada terminal identifica una antena de transmisión diferente desde la cual se detecta la mejor SNR pos-procesada, entonces las antenas de transmisión se pueden asignar a los terminales en base a sus mejores SNR pos-procesadas. Para el ejemplo mostrado en la Tabla 3, el terminal 1 se puede asignar a la antena 3 de transmisión, y el terminal 2 se puede asignar a la antena 2 de transmisión.

Si más de un terminal prefiere la misma antena de transmisión, entonces el planificador puede determinar las asignaciones de antenas en base a diversos criterios (por ejemplo, equidad, métrica de rendimiento y otros). Por ejemplo, la Tabla 3 indica que las mejores SNR pos-procesadas para los terminales 3 y 4 tienen lugar para el flujo de datos transmitido desde la misma antena 1 de transmisión. Si el objetivo es maximizar el caudal, entonces el planificador puede asignar la antena 1 de transmisión al terminal 3 y la antena 2 de transmisión al terminal 4. Sin embargo, si las antenas son asignadas para lograr equidad, entonces la antena 1 de transmisión se puede asignar al terminal 4, si el terminal 4 tiene prioridad más alta que el terminal 3.

Modalidad mixta

Las técnicas descritas en lo que antecede se pueden generalizar para abordar terminales mixtos de SIMO y MIMO. Por ejemplo, si cuatro antenas de transmisión están disponibles en la estación base, entonces cuatro flujos independientes de datos pueden ser transmitidos a un solo terminal de MIMO 4 x 4, dos terminales de MIMO 2 x 4, cuatro terminales de SIMO 1 x 4, un terminal de MIMO 2 x 4 más dos terminales de SIMO 1 x 4, o a cualquier otra combinación de terminales designada para recibir un total de cuatro flujos de datos. El planificador puede ser diseñado para seleccionar la mejor combinación de terminales en base a las SNR pos-procesadas para diversos conjuntos hipotéticos de terminales, donde cada conjunto hipotético puede incluir una mezcla de terminales tanto de MIMO como de SIMO.

Toda vez que se preste soporte al tráfico de modalidad mixta, el uso del procesamiento de recepción de cancelación sucesiva por parte de los terminales (por ejemplo, de MIMO) impone restricciones adicionales sobre el planificador debido a las dependencias introducidas. Estas restricciones pueden dar como resultado que se evalúen más conjuntos hipotéticos, ya que, además de considerar diferentes conjuntos de terminales, el planificador también debe considerar la demodulación de los flujos de datos en diversos órdenes por cada terminal. La asignación de las antenas de transmisión y la selección de los esquemas de codificación y modulación tendrían luego en cuenta estas dependencias con el fin de lograr un rendimiento mejorado.

Antenas de transmisión

El conjunto de antenas de transmisión en una estación base puede ser un conjunto físicamente distinto de "aberturas", cada una de las cuales se puede usar para transmitir directamente un respectivo flujo de datos. Cada abertura puede estar formada por una colección de uno o más elementos de antena que están distribuidos en el espacio (por ejemplo, físicamente situados en una sola sede o distribuidos en múltiples sedes). Alternativamente, las aberturas de antenas pueden estar precedidas por una o más matrices (fijas) de formación de haces, siendo usada cada matriz para sintetizar un conjunto diferente de haces de antena a partir del conjunto de aberturas. En este caso, la descripción anterior para las antenas de transmisión se aplica análogamente a los haces de antena transformados.

Un cierto número de matrices fijas de formación de haces puede estar definido de antemano, y los terminales pueden evaluar las SNR pos-procesadas para cada una de las posibles matrices (o conjuntos de haces de antenas) y enviar vectores de SNR a la estación base. Rendimientos diferentes (es decir, SNR pos-procesadas) se logran habitualmente para conjuntos diferentes de haces de antenas transformados, y esto se refleja en los vectores de SNR informados. La estación base puede realizar luego la planificación y asignación de antenas para cada una de las posibles matrices formadoras de haces (usando los vectores de SNR informados), y seleccionar una matriz específica de formación de haces, así como un conjunto de terminales, y sus asignaciones de antenas, que logran el mejor uso de los recursos disponibles.

El uso de matrices formadoras de haces permite flexibilidad adicional en la planificación de terminales y puede proporcionar, además, un rendimiento mejorado. Como ejemplos, las siguientes situaciones pueden ser muy adecuadas para las transformaciones de formación de haces:

- La correlación en el canal de MIMO es alta, por lo que el mejor rendimiento se puede lograr con un pequeño número de flujos de datos. Sin embargo, la transmisión con solo un subconjunto de las antenas de transmisión disponibles (y usando únicamente sus amplificadores de transmisión asociados) da como resultado una menor potencia de transmisión total. Una transformación puede ser seleccionada para usar la mayoría de, o todas, las antenas de transmisión (y sus amplificadores), para los flujos de datos a enviar. En este caso, se logra mayor potencia de transmisión para los flujos de datos transmitidos.
- Terminales físicamente dispersos pueden ser aislados de algún modo por sus ubicaciones. En este caso, los terminales pueden estar servidos por una transformación estándar del tipo FFT de aberturas horizontalmente espaciadas en un conjunto de haces señalando a acimuts diferentes.

Rendimiento

Las técnicas descritas en el presente documento se pueden ver como una forma particular de acceso múltiple por división espacial (SDMA), en la cual cada antena de transmisión en la formación de antenas de la estación base se usa para transmitir un flujo de datos diferente que usa información del estado del canal (por ejemplo, las SNR o algún otro parámetro suficiente que determine la tasa de transmisión de datos que dispone de soporte), obtenida por las terminales en la zona de cobertura. Se logra un alto rendimiento en base a la CSI, que se usa en la planificación de terminales y en el procesamiento de datos.

Las técnicas descritas en este documento pueden proporcionar un rendimiento mejorado del sistema (por ejemplo, un mayor caudal). Se han realizado simulaciones para cuantificar el posible caudal del sistema con alguna de estas técnicas. En las simulaciones, se supone que las matrices H_k de respuesta de canal que acoplan la formación de antenas de transmisión y las antenas de recepción del k -ésimo terminal están compuestas por variables aleatorias gaussianas complejas de media cero e igual varianza. Las simulaciones se realizaron para las modalidades de MIMO y de N-SIMO.

En la modalidad de MIMO, cuatro terminales de MIMO (cada una con cuatro antenas de recepción) se consideran para cada realización (por ejemplo, cada intervalo de transmisión) y el mejor terminal se selecciona y planifica para la transmisión de datos. Al terminal planificado se transmiten cuatro flujos independientes de datos, y usa el procesamiento de recepción de cancelación sucesiva (con ecualización de MMSE), para procesar las señales recibidas y recuperar los flujos de datos transmitidos. Se registra el caudal medio para los terminales de MIMO planificados.

En la modalidad de N-SIMO, cuatro terminales de SIMO, cada uno con cuatro antenas de recepción, se consideran para cada realización. Las SNR pos-procesadas para cada terminal de SIMO se determinan usando ecualización espacial lineal de MMSE (sin procesamiento de recepción de cancelación sucesiva). Las antenas de transmisión se asignan a los terminales seleccionados en base al criterio máx-máx. A los cuatro terminales planificados se transmiten cuatro flujos independientes de datos y cada terminal usa la ecualización de MMSE para procesar la señal recibida y recuperar su flujo de datos. Los caudales para cada terminal de SIMO planificado son registrados por separado, y el caudal medio para todos los terminales planificados también es registrado.

La FIG. 9 muestra el caudal medio para un sistema de comunicación de MIMO con cuatro antenas de transmisión (es decir, $N_T = 4$) y cuatro antenas de recepción por terminal (es decir, $N_R = 4$) para las modalidades de MIMO y de N-SIMO. El caudal simulado asociado a cada modalidad operativa se proporciona como una función de la SNR pos-procesada media. El caudal medio para la modalidad de MIMO se muestra como el gráfico 910, y el caudal medio para la modalidad de N-SIMO se muestra como el gráfico 912.

Como se muestra en la FIG. 9, el caudal simulado asociado a la modalidad de N-SIMO que usa la asignación de antenas por el criterio máx-máx muestra un mejor rendimiento que el logrado para la modalidad de MIMO. En la modalidad de MIMO, los terminales de MIMO se benefician usando el procesamiento de recepción de cancelación sucesiva para lograr mayores SNR pos-procesadas. En el modalidad de SIMO, los esquemas de planificación son capaces de explotar la diversidad de selección multi-usuario para lograr un rendimiento mejorado (es decir, un caudal mayor) incluso aunque cada terminal de SIMO use ecualización espacial lineal. De hecho, la diversidad multi-usuario proporcionada en la modalidad de N-SIMO da como resultado un caudal medio de enlace descendente que supera el caudal logrado al dividir un intervalo de transmisión en cuatro sub-ranuras de igual duración, y asignar cada terminal de MIMO a una respectiva sub-ranura.

Los esquemas de planificación usados en las simulaciones para ambas modalidades operativas no se diseñaron para proporcionar equidad proporcionada, y algunos terminales observarán un mayor caudal medio que otros. Cuando se impone un criterio de equidad, las diferencias en el caudal para las dos modalidades operativas se pueden reducir. Sin embargo, la capacidad para asimilar terminales tanto de MIMO como de N-SIMO proporciona

flexibilidad añadida al suministro de servicios inalámbricos de datos.

Por simplicidad, diversos aspectos y realizaciones de la invención se han descrito para un sistema de comunicación en el cual (1) el número de antenas de recepción es igual al número de antenas de transmisión (es decir, $N_R = N_T$) y (2) un flujo de datos se transmite desde cada antena en la estación base. En este caso, el número de canales de transmisión es igual al número de subcanales espaciales disponibles del canal de MIMO. Para un sistema de MIMO que utiliza OFDM, múltiples subcanales de frecuencia pueden estar asociados a cada subcanal espacial, y estos subcanales de frecuencia pueden estar asignados a terminales en base a las técnicas descritas en lo que antecede. Para un canal dispersivo, una matriz H representaría un cubo tridimensional de estimaciones de respuesta de canal para cada terminal.

Cada terminal planificado también puede estar equipado con más antenas de recepción que el número total de flujos de datos. Además, múltiples terminales pueden compartir una antena de transmisión dada, y la compartición se puede lograr mediante el multiplexado por división del tiempo (por ejemplo, asignando diferentes fracciones de un intervalo de transmisión a diferentes terminales), el multiplexado por división de frecuencia (por ejemplo, asignando diferentes subcanales de frecuencia a diferentes terminales), el multiplexado por división de código (por ejemplo, asignando diferentes códigos ortogonales a diferentes terminales), algunos otros esquemas de multiplexado, o cualquier combinación de estos esquemas.

Los esquemas de planificación descritos en el presente documento seleccionan terminales y asignan antenas para transmitir datos en base a información del estado del canal (por ejemplo, las SNR pos-procesadas). Las SNR pos-procesadas para los terminales dependen del nivel específico de potencia de transmisión usado para los flujos de datos transmitidos desde la estación base. Por simplicidad, el mismo nivel de potencia de transmisión se supone para todos los flujos de datos (es decir, no hay control de potencia para la potencia de transmisión). Sin embargo, al controlar la potencia de transmisión para cada antena, las SNR disponibles pueden ser ajustadas. Por ejemplo, al reducir la potencia de transmisión para una antena de transmisión en particular, mediante el control de potencia, la SNR asociada a un flujo de datos transmitido desde esta antena se reduce, y la interferencia ocasionada por este flujo de datos sobre otros flujos de datos también se reduciría, y otros flujos de datos pueden ser capaces de lograr mejores SNR. De este modo, el control de la potencia también se puede usar conjuntamente con los esquemas de planificación descritos en el presente documento, y esto está dentro del alcance de la invención.

La planificación de terminales en base a la prioridad también se describe en el documento EP 1320945, titulado "PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA DETERMINAR LA POTENCIA DE TRANSMISIÓN DISPONIBLE EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA". La planificación de la transmisión de datos para el enlace descendente también está descrita en el documento US 2010273503, titulado "PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA LA PLANIFICACIÓN DE VELOCIDADES DEL ENLACE DIRECTO". Estas solicitudes están transferidas al cesionario de la presente invención.

Los esquemas de planificación descritos en la presente memoria incorporan un cierto número de características y proporcionan numerosas ventajas. Algunas de estas características y ventajas se describen en lo que sigue.

En primer lugar, los esquemas de planificación prestan soporte a varias modalidades operativas, incluyendo la modalidad mixta por la cual cualquier combinación de terminales de SIMO y de MIMO puede ser planificada para la transmisión de datos en el enlace descendente. Cada terminal de SIMO o de MIMO está asociado a un vector de SNR (es decir, una fila en la ecuación (2)). Los esquemas de planificación pueden evaluar cualquier número de posibles combinaciones de terminales para la transmisión de datos.

En segundo lugar, los esquemas de planificación proporcionan un plan para cada intervalo de transmisión que incluye un conjunto de terminales "mutuamente compatibles" (óptimos o casi óptimos) en base a sus rúbricas espaciales. Se puede considerar que la compatibilidad mutua significa coexistencia de transmisión por el mismo canal y al mismo tiempo, restricciones específicas dadas en cuanto a requisitos de tasa de transmisión de datos de terminales, potencia de transmisión, margen de enlace, capacidad entre terminales de SIMO o de MIMO y, posiblemente, otros factores.

En tercer lugar, los esquemas de planificación prestan soporte a la adaptación de tasas variables de transmisión de datos, en base a las SNR pos-procesadas logradas en los terminales. Cada terminal planificado puede estar informado en cuanto a cuándo cabe esperar la transmisión de datos, la(s) antena(s) de transmisión asignada(s) y la(s) tasa(s) de transmisión de datos para la transmisión de datos (por ejemplo, según cada antena de transmisión).

En cuarto lugar, los esquemas de planificación se pueden diseñar para considerar conjuntos de terminales que tengan márgenes de enlace similares. Los terminales pueden estar agrupados según sus propiedades de margen de enlace. El planificador puede considerar luego combinaciones de terminales en el mismo grupo de "margen de enlace" al buscar rúbricas espaciales mutuamente compatibles. Este agrupamiento según el margen de enlace puede mejorar el rendimiento espectral global de los esquemas de planificación, en comparación con el logrado al ignorar los márgenes de enlace. Además, planificando terminales con márgenes de enlace similares para transmitir, el control de la potencia de enlace descendente se puede ejercer más fácilmente (por ejemplo, sobre todo el conjunto de terminales) para mejorar la reutilización espectral global. Esto se puede ver como una combinación de una planificación adaptable de reutilización de enlace descendente combinada con el SDMA para SIMO / MIMO. La planificación basada en márgenes de enlace se describe con más detalle en el documento EP 1269654, titulado "PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA CONTROLAR LAS TRANSMISIONES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES", y el documento EP 1269654 titulado "PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA CONTROLAR TRANSMISIONES DE ENLACE ASCENDENTE DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA", ambos transferidos al cesionario de la presente invención.

Sistema de comunicaciones de MIMO

La FIG. 5 es un diagrama de bloques de una estación base 104 y terminales 106 dentro del sistema 100 de comunicación de MIMO. En la estación 104 base, una fuente 512 de datos proporciona datos (es decir, bits de información) a un procesador 514 de datos de transmisión (TX). Para cada antena de transmisión, el procesador 514 de datos TX (1) codifica los datos según un esquema particular de codificación, (2) intercala (es decir, reordena) los datos codificados en base a un esquema particular de intercalación y (3) correlaciona los bits intercalados con símbolos de modulación para uno o más canales de transmisión seleccionados para la transmisión de datos. La codificación aumenta la fiabilidad de la transmisión de datos. La intercalación proporciona diversidad temporal para los bits codificados, permite que los datos sean transferidos en base a una SNR media para la antena de transmisión, combate el desvanecimiento y además elimina la correlación entre los bits codificados usados para formar cada símbolo de modulación. La intercalación puede proporcionar, además, diversidad de frecuencia si los bits codificados se transmiten por múltiples subcanales de frecuencia. En un aspecto, la codificación y la correlación de símbolos se pueden realizar en base a señales de control proporcionadas por un planificador 534.

La codificación, la intercalación y la correlación de señales se pueden lograr en base a diversos esquemas. Algunos de tales esquemas se describen en el documento US 2009323851, titulado "PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA UTILIZAR INFORMACIÓN DE ESTADO DE CANAL EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA", y el documento EP 1374466, titulado "ESQUEMA DE CODIFICACIÓN PARA UNA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA", todos transferidos al cesionario de la presente solicitud.

Un procesador 520 de MIMO de TX recibe y demultiplexa los símbolos de modulación del procesador 514 de datos de TX, y proporciona un flujo de símbolos de modulación para cada canal de transmisión (por ejemplo, cada antena de transmisión), un símbolo de modulación por ranura temporal. El procesador 520 de MIMO de TX puede preacondicionar, además, los símbolos de modulación para cada canal de transmisión seleccionado si la CSI completa está disponible (por ejemplo, la matriz H de respuesta de canal). El procesamiento de MIMO y de CSI completa se describe con más detalle en el documento WO 0171928, titulado "SISTEMA DE COMUNICACIONES DE ALTA EFICACIA Y ALTO RENDIMIENTO QUE EMPLEA MODULACIÓN DE MULTIPORTADORA", transferido al cesionario de la presente solicitud.

Si no se emplea el OFDM, el procesador 520 de MIMO de TX proporciona un flujo de símbolos de modulación para cada antena usada para la transmisión de datos. Y si se emplea el OFDM, el procesador 520 de MIMO de TX proporciona un flujo de vectores de símbolos de modulación para cada antena usada para la transmisión de datos. Y si se realiza un procesamiento completo de CSI, el procesador 520 de MIMO de TX proporciona un flujo de símbolos de modulación preacondicionados, o vectores de símbolos de modulación preacondicionados, para cada antena usada para la transmisión de datos. Cada flujo es luego recibido y modulado por un respectivo modulador (MOD) 522, y transmitido mediante una antena 524 asociada.

En cada terminal 106 planificado, un cierto número de antenas 552 de recepción reciben las señales transmitidas, y cada antena de recepción proporciona una señal recibida a un respectivo demodulador (DEMOM) 554. Cada demodulador (o unidad de interfaz de usuario) 554 realiza un procesamiento complementario al realizado en el modulador 522. Los símbolos de modulación procedentes de todos los demoduladores 554 se proporcionan luego a un procesador 556 de MIMO / datos de recepción (RX), y son procesados para recuperar uno o más flujos de datos transmitidos para el terminal. El procesador 556 de MIMO / datos de RX realiza el procesamiento complementario al realizado por el procesador 514 de datos de TX y el procesador 520 de MIMO de TX, y proporciona datos descodificados a un sumidero 560 de datos. El procesamiento por parte del terminal 106 se describe con más detalle en el precitado documento EP 1374466.

En cada terminal 106 activo, el procesador 556 de MIMO / datos de RX estima, además, las condiciones de enlace y proporciona CSI (por ejemplo, las SNR pos-procesadas o las estimaciones de ganancia de canal). Un procesador 562 de datos de TX luego recibe y procesa la CSI, y proporciona datos procesados indicativos de la CSI a uno o más moduladores 554. El (Los) modulador(es) 554 acondiciona(n), además, los datos procesados y transmite(n) la CSI de vuelta a la estación 104 base mediante un canal inverso. La CSI puede ser informada por el terminal usando diversas técnicas de señalización (por ejemplo, en su totalidad, diferencialmente, o una combinación de las mismas), como se describe en el precitado documento US 2009323851.

En la estación 104 base, la señal de retroalimentación transmitida es recibida por las antenas 524, demodulada por los demoduladores 522 y proporcionada a un procesador 532 de datos / MIMO de RX. El procesador 532 de datos / MIMO de RX realiza el procesamiento complementario al realizado por el procesador 562 de datos de TX, y recupera la CSI informada, que se proporciona luego al planificador 534.

El planificador 534 usa la CSI informada para realizar un cierto número de funciones tales como (1) seleccionar el conjunto de los mejores terminales para la transmisión de datos, (2) asignar las antenas de transmisión disponibles a los terminales seleccionados y (3) determinar el esquema de codificación y modulación a usar para cada antena de transmisión asignada. El planificador 534 puede planificar terminales para lograr un alto caudal, o en base a algunos otros criterios o métricas de rendimiento, como se ha descrito en lo que antecede. En la FIG. 5, el planificador 534 se muestra como implementado dentro de la estación 104 base. En otra implementación, el planificador 534 puede estar implementado dentro de algún otro elemento del sistema 100 de comunicación (por ejemplo, un controlador de estación base que se acopla e interactúa con un cierto número de estaciones base).

La FIG. 6 es un diagrama de bloques de un ejemplo de una estación 104x base capaz de procesar datos para su transmisión a los terminales en base a la CSI disponible para la estación base (por ejemplo, según lo informado por los terminales). La estación 104x base es un ejemplo de la parte del transmisor de la estación 104 base en la FIG. 5. La estación 104x base incluye (1) un procesador 514x de datos de TX que recibe y procesa bits de información para proporcionar símbolos de modulación y (2) un procesador 520x de MIMO de TX que demultiplexa los símbolos de modulación para las N_T antenas de transmisión.

En el ejemplo específico mostrado en la FIG. 6, el procesador 514x de datos de TX incluye un demultiplexador 608 acoplado con un cierto número de procesadores 610 de datos de canal, un procesador para cada uno de los N_C canales de transmisión. El demultiplexador 608 recibe y demultiplexa los bits de información agrupados en un cierto número de (hasta N_C) flujos de datos, un flujo de datos para cada uno de los canales de transmisión que se usarán para la transmisión de datos. Cada flujo de datos se proporciona a un respectivo procesador 610 de datos de canal.

En el ejemplo mostrado en la FIG. 6, cada procesador 610 de datos de canal incluye un codificador 612, un intercalador 614 de canal, y un elemento 616 de correlación de símbolos. El codificador 612 recibe y codifica los bits de información en el flujo de datos recibido, de acuerdo a un esquema de codificación particular, para proporcionar bits codificados. El intercalador 614 de canal intercala los bits codificados en base a un esquema particular de intercalación, para proporcionar diversidad temporal. Y el elemento 616 de correlación de símbolos correlaciona los bits intercalados con símbolos de modulación para el canal de transmisión usado para transmitir el flujo de datos.

Los datos piloto (por ejemplo, los datos de patrón conocido) también se pueden codificar y multiplexar con los bits de información procesados. Los datos piloto procesados se pueden transmitir (por ejemplo, de una forma multiplexada por división del tiempo (TDM)) en todos, o en un subconjunto de, los canales de transmisión usados para transmitir los bits de información. Los datos piloto se pueden usar en los terminales para realizar la estimación de canal.

Como se muestra en la FIG. 6, la codificación, intercalación y modulación de datos (o una combinación de las mismas) se pueden ajustar en base a la CSI disponible (por ejemplo, según lo informado por los terminales). En un esquema de codificación y modulación, la codificación adaptable se logra usando un código base fijo (por ejemplo, un código Turbo de tasa 1/3) y ajustando la punción para lograr la tasa deseada de transmisión de código, según el soporte prestado por la SNR del canal de transmisión usado para transmitir los datos. Para este esquema, la punción se puede realizar tras la intercalación del canal. En otro esquema de codificación y modulación, se pueden usar diferentes esquemas de codificación en base a la CSI informada. Por ejemplo, cada uno de los flujos de datos puede ser codificado con un código independiente. Con este esquema, se puede usar un esquema de procesamiento de recepción de cancelación sucesiva en los terminales para detectar y descodificar los flujos de datos, para obtener una estimación más fiable de los flujos de datos transmitidos, como se describe con más detalle en lo que sigue.

El elemento 616 de correlación de símbolos se puede diseñar para agrupar conjuntos de bits intercalados, para formar símbolos no binarios, y para correlacionar cada símbolo no binario con un punto en una constelación de señales correspondiente a un esquema particular de modulación (por ejemplo, QPSK, M-PSK, M-QAM, o algún otro esquema) seleccionado para el canal de transmisión. Cada punto de señal correlacionado corresponde a un símbolo de modulación. El número de bits de información que se pueden transmitir para cada símbolo de modulación, para un nivel particular de rendimiento (por ejemplo, una tasa de errores de paquete (PER) del uno por ciento), depende de la SNR del canal de transmisión. De este modo, el esquema de codificación y modulación para cada canal de transmisión se puede seleccionar en base a la CSI disponible. La intercalación de canal también se puede ajustar en base a la CSI disponible.

Los símbolos de modulación provenientes del procesador 514x de datos de TX se proporcionan al procesador 520x de MIMO de TX, que es un ejemplo del procesador 520 de MIMO de TX en la FIG. 5. Dentro del procesador 520x de MIMO de TX, un demultiplexador 622 recibe (hasta) N_C flujos de símbolos de modulación desde los N_C procesadores 610 de datos de canal y demultiplexa los símbolos de modulación recibidos en un cierto número de (N_T) flujos de símbolos de modulación, un flujo para cada antena usada para transmitir los símbolos de modulación. Cada flujo de símbolos de modulación se proporciona a un respectivo modulador 522. Cada modulador 522 convierte los símbolos de modulación en una señal analógica, y, además, amplifica, filtra, modula en cuadratura y aumenta la frecuencia de la señal para generar una señal modulada, adecuada para la transmisión por el enlace inalámbrico.

Un diseño de transmisor que implementa el OFDM se describe en los precitados documentos US 2009323851, EP 1374466 y WO 0171928.

La FIG. 7 es un diagrama de bloques de un ejemplo de terminal 106x capaz de implementar diversos aspectos y realizaciones de la invención. El terminal 106x es un ejemplo de la parte de recepción de los terminales 106a a 106n en la FIG. 5, e implementa la técnica de procesamiento de recepción de cancelación sucesiva para recibir y recuperar las señales transmitidas. Las señales transmitidas desde (hasta) N_T antenas de transmisión son recibidas por cada una de las N_R antenas 552a a 552r, y encaminadas a un respectivo demodulador (DEMOM) 554 (al que también se hace referencia como procesador de interfaz de usuario). Cada demodulador 554 acondiciona (por ejemplo, filtra y amplifica) una respectiva señal recibida, reduce la frecuencia de la señal acondicionada hasta una frecuencia intermedia, o banda base, y digitaliza la señal de frecuencia reducida para proporcionar muestras. Cada demodulador 554 puede demodular, además, las muestras con una señal piloto recibida, para generar un flujo de símbolos de modulación recibidos, que se proporciona a un procesador 556x de MIMO / datos de RX.

En el ejemplo mostrado en la FIG. 7, el procesador 556x de MIMO / datos de RX (que es un ejemplo del procesador 556 de MIMO / datos de RX de la FIG. 5) incluye un cierto número de etapas 710 de procesamiento de recepción sucesivas (es decir, en cascada), una etapa para cada uno de los flujos de datos transmitidos, para ser recuperados por el terminal 106x. En un esquema de procesamiento de transmisión, un flujo de datos se transmite por cada canal de transmisión asignado al terminal 106x, y cada flujo de datos se procesa independientemente (por ejemplo, con su propio esquema de codificación y modulación) y se transmite desde una respectiva antena de transmisión. Para este esquema de procesamiento de transmisión, el número de flujos de datos es igual al número de canales de transmisión asignados, que también es igual al número de las antenas de transmisión asignadas para la transmisión de datos al terminal 106x (que puede ser un subconjunto de las antenas de transmisión disponibles). Para clarificar, el procesador 556x de MIMO / datos de RX se describe para este esquema de procesamiento de transmisión.

Cada etapa 710 de procesamiento del receptor (salvo para la última etapa 710n) incluye un procesador 720 de datos

/ MIMO de canal, acoplado con un cancelador 730 de interferencias, y la última etapa 710n incluye únicamente el procesador 720n de datos / MIMO de canal. Para la primera etapa 710a de procesamiento del receptor, el procesador 720a de datos/ MIMO de canal recibe y procesa los N_R flujos de símbolos de modulación desde los demoduladores 554a a 554r, para proporcionar un flujo de datos descodificados para el primer canal de transmisión (o la primera señal transmitida). Y para cada una de las etapas 710b a 710n, entre la segunda y la última, el procesador 720 de datos / MIMO de canal para esa etapa recibe y procesa los N_R flujos de símbolos modificados desde el cancelador 720 de interferencia en la etapa precedente, para obtener un flujo de datos descodificados para el canal de transmisión que está siendo procesado por esa etapa. Cada procesador 720 de datos / MIMO de canal proporciona, además, la CSI (por ejemplo, la SNR) para el canal de transmisión asociado.

Para la primera etapa 710a de procesamiento del receptor, el cancelador 730a de interferencias recibe los N_R flujos de símbolos de modulación desde todos los N_R demoduladores 554. Y para cada una de las etapas entre la segunda y la anteúltima, el cancelador 730 de interferencias recibe los N_R flujos de símbolos modificados desde el cancelador de interferencias en la etapa precedente. Cada cancelador 730 de interferencias también recibe el flujo de datos descodificados procedente del procesador 720 de datos/ MIMO de canal dentro de la misma etapa, y realiza el procesamiento (por ejemplo; codificación, intercalación, modulación, respuesta del canal, etc.) para obtener N_R flujos de símbolos remodulados que son estimaciones de los componentes de interferencia de los flujos de símbolos de modulación recibidos, debidos a este flujo de datos descodificados. Los flujos de símbolos remodulados son luego restados de los flujos de símbolos de modulación recibidos, para obtener N_R flujos de símbolos modificados que incluyen todos los componentes de interferencia, excepto los restados (es decir, cancelados). Los N_R flujos de símbolos modificados se proporcionan luego a la etapa siguiente.

En la FIG. 7, un controlador 740 se muestra acoplado con un procesador 556x de MIMO / datos de RX, y puede ser usado para dirigir varias etapas en el procesamiento de recepción de cancelación sucesiva realizado por el procesador 556x.

La FIG. 7 muestra una estructura de receptor que puede ser usada de manera directa cuando cada flujo de datos se transmite por una respectiva antena de transmisión (es decir, un flujo de datos correspondiente a cada señal transmitida). En este caso, cada etapa 710 de procesamiento de receptor se puede operar para recuperar una de las señales transmitidas y proporcionar el flujo de datos descodificados correspondiente a la señal transmitida recuperada. Para algunos otros esquemas de procesamiento de transmisión, un flujo de datos se puede transmitir por múltiples antenas de transmisión, subcanales de frecuencia y / o intervalos de tiempo para proporcionar diversidad espacial, de frecuencia, y temporal, respectivamente. Para estos esquemas, el procesamiento del receptor obtiene inicialmente un flujo de símbolos de modulación, recibido para la señal transmitida por cada antena de transmisión de cada subcanal de frecuencia. Los símbolos de modulación para múltiples antenas de transmisión, subcanales de frecuencia y / o intervalos de tiempo se pueden combinar luego de una forma complementaria como el demultiplexado realizado en la estación base. El flujo de símbolos de modulación combinados se procesa luego para proporcionar el correspondiente flujo de datos descodificados.

La FIG. 8A es un diagrama de bloques de un ejemplo de procesador 720x de datos / MIMO de canal, que es un ejemplo del procesador 720 de datos / MIMO de canal en la FIG. 7. En este ejemplo, el procesador 720x de datos / MIMO de canal incluye un procesador 810 espacial / espacial-temporal, un procesador 812 de CSI, un selector 814, un elemento 818 de demodulación, un desintercalador 818 y un descodificador 820.

El procesador 810 espacial / espacial-temporal realiza el procesamiento espacial lineal sobre las N_R señales recibidas para un canal de MIMO no dispersivo (es decir, con desvanecimiento plano) o el procesamiento espacial-temporal sobre las N_R señales recibidas para un canal de MIMO dispersivo (es decir, con desvanecimiento selectivo de frecuencia). El procesamiento espacial se puede lograr usando técnicas de procesamiento espacial lineal tales como una técnica de inversión de matriz de correlación de canal (CCMI), una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE) y otras. Estas técnicas se pueden usar para anular las señales indeseadas o para maximizar la SNR recibida de cada una de las señales constituyentes en presencia de ruido e interferencias procedentes de las otras señales. El procesamiento espacial-temporal se puede lograr usando técnicas de procesamiento espacial-temporal tales como un ecualizador lineal de MMSE (MMSE-LE), un ecualizador de retroalimentación de decisiones (DFE), un estimador de secuencias de máxima probabilidad (MLSE) y otras. Las técnicas de CCMI, MMSE, MMSE-LE y DFE se describen con más detalle en el precitado documento CA 2446512. Las técnicas DFE y MLSE también son descritas con más detalle por S.L. Ariyavistakul y colaboradores en un documento titulado "Procesadores espaciales-temporales óptimos con interferencia dispersiva: análisis unificado y tramo de filtrado requerido", Transacciones de comunicaciones del IEEE, vol. 7, n° 7, julio 1999.

El procesador 812 de CSI determina la CSI para cada uno de los canales de transmisión usados para la transmisión de datos. Por ejemplo, el procesador 812 de CSI puede estimar una matriz de covarianza de ruido en base a señales piloto recibidas y, a continuación, calcular la SNR del k-ésimo canal de transmisión usado para el flujo de datos a descodificar. La SNR se puede estimar de manera similar a los sistemas convencionales asistidos por piloto, de portadora única y portadoras múltiples, como se conoce en la técnica. La SNR para todos los canales de transmisión usados para la transmisión de datos puede comprender la CSI que se informa de vuelta a la estación base para este canal de transmisión. El procesador 812 de CSI proporciona además al selector 814 una señal de control que identifica el flujo de datos específico a recuperar por parte de esta etapa de procesamiento del receptor.

El selector 814 recibe un cierto número de flujos de símbolos desde el procesador 810 espacial / espacial-temporal y extrae el flujo de símbolos correspondiente al flujo de datos a descodificar, según lo indicado por la señal de control procedente del procesador 812 de CSI. El flujo extraído de símbolos de modulación se proporciona luego a un elemento 814 de demodulación.

Para el ejemplo mostrado en la FIG. 6, en el cual el flujo de datos para cada canal de transmisión se codifica independientemente y se modula en base a la SNR del canal, los símbolos de modulación recuperados para el canal

de transmisión seleccionado son demodulados según un esquema de demodulación (por ejemplo, M-PSK, M-QAM) que es complementario del esquema de modulación usado para el canal de transmisión. Los datos demodulados procedentes del elemento 816 de demodulación son luego desintercalados mediante un desintercalador 818, de una forma complementaria a la realizada por el intercalador 614 de canal, y los datos desintercalados son
 5 adicionalmente descodificados por un descodificador 820, de una forma complementaria a la realizada por el codificador 612. Por ejemplo, un descodificador Turbo o un descodificador Viterbi pueden ser usados para el descodificador 820 si se realiza la codificación Turbo o convolutiva, respectivamente, en la estación base. El flujo de datos descodificados proveniente del descodificador 820 representa una estimación del flujo de datos transmitidos que se está recuperando.

10 La FIG. 8B es un diagrama de bloques de un cancelador 730x de interferencias que es un ejemplo de un cancelador 730 de interferencias en la FIG. 7. Dentro del cancelador 730x de interferencias, el flujo de datos descodificados procedentes del procesador 720 de datos / MIMO de canal dentro de la misma etapa es re-codificado, intercalado y re-modulado por un procesador 610x de datos de canal, para proporcionar símbolos re-modulados que son estimaciones de los símbolos de modulación en la estación base antes del procesamiento de MIMO y de la
 15 distorsión de canal. El procesador 610x de datos de canal realiza el mismo procesamiento de datos (por ejemplo, codificación, intercalación y modulación) que el realizado en la estación base para el flujo de datos. Los símbolos remodulados se proporcionan luego a un simulador 830 de canal, que procesa los símbolos con la respuesta estimada de canal para proporcionar estimaciones \hat{h}^k de la interferencia debida al flujo de datos descodificados. La estimación de la respuesta del canal se puede obtener en base a las señales piloto y / o los datos transmitidos por la
 20 estación base y de acuerdo a las técnicas descritas en el precitado documento CA 2446512.

Los N_R elementos en el vector \hat{h}^k de interferencias corresponden al componente de la señal recibida en cada una de las N_R antenas de recepción, debido al flujo de símbolos transmitido por la k-ésima antena de transmisión. Cada elemento del vector representa un componente estimado debido al flujo de datos descodificados en el correspondiente flujo de símbolos de modulación recibidos. Estos componentes son interferencias para las restantes
 25 señales transmitidas (no detectadas aún) en los N_R flujos de símbolos de modulación recibidos (es decir, el vector r^k), y se restan (es decir, se cancelan) del vector r^k de señales recibidas mediante un sumador 832, para proporcionar un vector r^{k+1} modificado, que tiene eliminados los componentes procedentes del flujo de datos descodificados. El vector r^{k+1} modificado se proporciona como el vector de entrada para la siguiente fase de procesamiento del receptor, como se muestra en la FIG. 7.

30 Diversos aspectos del procesamiento del receptor de cancelación sucesiva se describen con más detalle en el precitado documento CA 2446512.

Los diseños del receptor que no empleen la técnica de procesamiento del receptor de cancelación sucesiva también se pueden usar para recibir, procesar y recuperar los flujos de datos transmitidos. Algunos de tales diseños de receptor se describen en los precitados documentos EP 1374466 y US 2009323851, y el WO 171928, titulados
 35 "SISTEMA DE COMUNICACIONES DE ALTA EFICACIA Y ALTO RENDIMIENTO QUE EMPLEA MODULACIÓN DE MULTIPORTADORA", transferida al cesionario de la presente invención.

Por simplicidad, han sido descritos diversos aspectos y realizaciones de la invención, en los cuales la CSI comprende la SNR. En general, la CSI puede comprender cualquier tipo de información que sea indicativa de las características del enlace de comunicación. Diversos tipos de información pueden ser proporcionados como CSI, algunos ejemplos de los cuales se describen en lo que sigue.
 40

En un ejemplo, la CSI comprende la razón entre señal y ruido más interferencia (SNR), que se obtiene como la razón entre la potencia de la señal y la potencia del ruido más la interferencia. La SNR habitualmente se estima y se proporciona para cada canal de transmisión usado para la transmisión de datos (por ejemplo, cada flujo de datos transmitido), aunque una SNR compuesta también puede ser proporcionada para un cierto número de canales de
 45 transmisión. La estimación de SNR puede estar cuantizada en un valor que tiene un número particular de bits. En un ejemplo, la estimación de SNR se correlaciona con un índice de SNR, por ejemplo, usando una tabla de consulta.

En otro ejemplo, la CSI comprende la potencia de señal y la potencia de la interferencia más el ruido. Estos dos componentes pueden ser obtenidos por separado y proporcionados para cada canal de transmisión usado para la transmisión de datos.

50 En otro ejemplo más, la CSI comprende potencia de señal, potencia de interferencia y potencia de ruido. Estos tres componentes pueden ser obtenidos y proporcionados para cada canal de transmisión usado para la transmisión de datos.

En otro ejemplo más, la CSI comprende una razón entre señal y ruido, más una lista de potencias de interferencia para cada término de interferencia observable. Esta información puede ser obtenida y proporcionada para cada canal de transmisión usado para la transmisión de datos.
 55

En otro ejemplo más, la CSI comprende componentes de señal en forma matricial (por ejemplo, $N_T \times N_R$ entradas complejas para todos los pares de antenas de transmisión-recepción) y componentes de ruido más interferencia en forma matricial (por ejemplo, $N_T \times N_R$ entradas complejas). La estación base puede luego combinar adecuadamente los componentes de señal y los componentes de ruido más interferencia para los pares adecuados de antenas de
 60 transmisión-recepción, para obtener la calidad para cada canal de transmisión usado para la transmisión de datos (por ejemplo, la SNR pos-procesada para cada flujo de datos transmitidos, según se recibe en los terminales).

En otro ejemplo más, la CSI comprende un indicador de tasa de transmisión de datos para cada flujo de datos transmitidos. La calidad de un canal de transmisión a usar para la transmisión de datos puede ser determinada

inicialmente (por ejemplo, en base a la SNR estimada para el canal de transmisión), y una tasa de transmisión de datos correspondiente a la calidad determinada del canal puede ser identificada luego (por ejemplo, en base a una tabla de consulta). La tasa de transmisión de datos identificada es indicativa de la máxima tasa de transmisión de datos que puede ser transmitida por el canal de transmisión para el nivel requerido de rendimiento. La tasa de transmisión de datos luego se correlaciona y se representa con un indicador de tasa de transmisión de datos (DRI), que puede ser eficazmente codificado. Por ejemplo, si (hasta) siete posibles tasas de transmisión de datos tienen soporte en la estación base para cada antena de transmisión, entonces un valor de 3 bits puede ser usado para representar el DRI, donde, por ejemplo, un cero puede indicar una tasa cero de transmisión de datos (es decir, no se usa la antena de transmisión), y un valor entre 1 y 7 se puede usar para indicar siete tasas de transmisión de datos diferentes. En una implementación típica, las mediciones de calidad (por ejemplo, estimaciones de SNR) se correlacionan directamente con el DRI, en base a, por ejemplo, una tabla de consulta.

En otro ejemplo, la CSI comprende información de control de potencia para cada canal de transmisión. La información de control de potencia puede incluir un único bit para cada canal de transmisión, para indicar una solicitud, bien de más o bien de menos potencia, o puede incluir múltiples bits para indicar la magnitud del cambio de nivel de potencia requerido. En esta realización, la estación base puede hacer uso de la información de control de potencia retroalimentada desde los terminales para ajustar el procesamiento de datos y / o la potencia de transmisión.

En otro ejemplo más, la CSI comprende una indicación del esquema específico de procesamiento a usar en la estación base para cada flujo de datos transmitidos. En este ejemplo, el indicador puede identificar el esquema específico de codificación y el esquema específico de modulación a usar para el flujo de datos transmitidos, de modo que se logre el nivel deseado de rendimiento.

En otro ejemplo más, la CSI comprende un indicador diferencial para una medición particular de la calidad para un canal de transmisión. Inicialmente, la SNR o el DRI o alguna otra medición de calidad para el canal de transmisión es determinada e informada como un valor de medición de referencia. En adelante, la monitorización de la calidad del canal de transmisión continúa, y se determina la diferencia entre la última medición informada y la medición actual. La diferencia se puede cuantizar luego en uno o más bits, y la diferencia cuantizada es correlacionada y representada con el indicador diferencial, del que se informa a continuación. El indicador diferencial puede indicar aumentar o reducir la última medición informada, en un tamaño específico de paso (o mantener la última medición informada). Por ejemplo, el indicador diferencial puede indicar que (1) la SNR observada para un canal de transmisión particular ha aumentado o disminuido en un tamaño específico de paso o (2) la tasa de transmisión de datos debería ser ajustada en una magnitud específica, o algún otro cambio. La medición de referencia se puede transmitir periódicamente para asegurar que los errores en los indicadores diferenciales y / o la recepción errónea de estos indicadores no se acumulen.

Otras formas de CSI también pueden ser usadas, y están dentro del alcance de la invención. En general, la CSI incluye suficiente información, en la forma que sea, que puede ser usada para ajustar el procesamiento en la estación base, de modo que se logre el nivel deseado de rendimiento para los flujos de datos transmitidos.

La CSI se puede obtener en base a las señales transmitidas desde la estación base y recibidas en los terminales. En un ejemplo, la CSI se obtiene en base a una referencia piloto incluida en las señales transmitidas. Alternativamente o adicionalmente, la CSI se puede obtener en base a los datos incluidos en las señales transmitidas.

En otro ejemplo más, la CSI comprende una o más señales transmitidas por el enlace ascendente desde los terminales a la estación base. En algunos sistemas, puede existir un grado de correlación entre el enlace ascendente y el enlace descendente (por ejemplo, sistemas duplexados por división del tiempo (TDD), donde el enlace ascendente y el enlace descendente comparten la misma banda de una forma multiplexada por división del tiempo). En estos sistemas, la calidad del enlace descendente se puede estimar (hasta un grado requerido de precisión) en base a la calidad del enlace ascendente, que se puede estimar en base a señales (por ejemplo, señales piloto), transmitidas desde los terminales. Las señales piloto representarían entonces un medio para el cual la estación base podría estimar la CSI según se observa en los terminales.

La calidad de la señal se puede estimar en los terminales en base a diversas técnicas. Algunas de estas técnicas se describen en las siguientes patentes, que están transferidas al cesionario de la presente solicitud:

50 • Patente estadounidense nº 5.799.005, titulada "SISTEMA Y PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA POTENCIA PILOTO RECIBIDA Y LA PÉRDIDA DE TRAYECTO EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE CDMA", expedida el 25 de agosto de 1998,

55 • Patente estadounidense nº 5.903.554, titulada "PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA MEDIR LA CALIDAD DEL ENLACE EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE ESPECTRO ENSANCHADO", expedida el 11 de mayo de 1999,

• Patentes estadounidense nº 5.056.109 y nº 5.265.119, ambas tituladas "PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA CONTROLAR LA POTENCIA DE TRANSMISIÓN EN UN SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL CELULAR DE CDMA", expedidas, respectivamente, el 8 de octubre de 1991 y el 23 de noviembre de 1993, y

60 • Patente estadounidense nº 6.097.972, titulada "PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA PROCESAR SEÑALES DE CONTROL DE POTENCIA EN UN SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL DE CDMA", expedida el 1 de agosto de 2000.

Los procedimientos para estimar un solo canal de transmisión en base a una señal piloto o una transmisión de datos también se pueden encontrar en un cierto número de documentos disponibles en la técnica. Uno de tales procedimientos de estimación de canal es descrito por F. Ling en un documento titulado "Recepción óptima, cota de

rendimiento y análisis de la tasa de recorte de comunicaciones de CDMA consistentes, apoyados con referencias, con aplicaciones”, Transacciones de comunicación del IEEE, octubre de 1999.

5 Diversos tipos de información para la CSI y diversos mecanismos de información de la CSI también se describen en la Solicitud de patente estadounidense con nº de serie 08/963.386, titulada “PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA TRANSMISIÓN DE DATOS EN PAQUETES DE ALTA VELOCIDAD”, presentada el 3 de noviembre de 1997, transferida al cesionario de la presente solicitud, y en el documento “Especificación de interfaz aérea TIE/EIA/IS-856 cdma2000 de datos en paquetes de alta velocidad”.

10 La CSI puede ser informada de vuelta a la estación base usando diversos esquemas de transmisión de CSI. Por ejemplo, la CSI se puede enviar completa, diferencialmente, o en una combinación de ambos casos. En una realización, la CSI se informa periódicamente, y las actualizaciones diferenciales se envían en base a la CSI previa transmitida. En otra realización, la CSI se envía únicamente cuando hay un cambio (por ejemplo, si el cambio supera un umbral particular), que puede reducir la velocidad efectiva de transmisión del canal de retroalimentación. Como un ejemplo, las SNR se pueden enviar de vuelta (por ejemplo, diferencialmente) únicamente cuando cambian. Para 15 un sistema de OFDM (con o sin MIMO), la correlación en el dominio de frecuencias se puede explotar para permitir la reducción en la cantidad de CSI a retroalimentar. Como un ejemplo de un sistema de OFDM, si la SNR correspondiente a un subcanal espacial particular, para N_M subcanales de frecuencia, es la misma, la SNR y los subcanales de frecuencia primero y último, para los cuales esta condición es cierta, puede ser informados. Otras técnicas de recuperación de errores de canal de compresión y de retroalimentación, para reducir la cantidad de datos a retroalimentar para la CSI, también pueden ser usadas, y están dentro del ámbito de esta invención.

20 Los elementos de la estación base y los terminales pueden ser implementados con uno o más procesadores de señales digitales (DSP), circuitos integrados específicos de una aplicación (ASIC), procesadores, microprocesadores, controladores, microcontroladores, formaciones de compuertas programables in-situ (FPGA), dispositivos lógicos programables, otras unidades electrónicas o cualquier combinación de las mismas. Algunos de las funciones y procesamientos descritos en la presente memoria también se pueden implementar con software 25 ejecutado en un procesador.

Ciertos aspectos de la invención se pueden implementar con una combinación de software y hardware. Por ejemplo, el procesamiento para planificar (es decir, seleccionar terminales y asignar antenas de transmisión) se puede realizar en base a códigos de programa ejecutados en un procesador (planificador 534 en la FIG. 5).

30 Los encabezados se han incluido en la presente memoria para referencia, y para ayudar a localizar ciertas secciones. No se pretende que estos encabezados limiten el alcance de los conceptos descritos en ellos, y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones en toda la memoria.

35 La descripción previa de las realizaciones reveladas se proporciona para permitir que cualquier persona experta en la técnica pueda hacer o usar la presente invención. Diversas modificaciones a estas realizaciones serán inmediatamente evidentes para los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en la presente memoria pueden ser aplicados a otras realizaciones sin apartarse del alcance de la invención, según se define en el conjunto de reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de planificación de la transmisión de datos en un sistema (100) de comunicación inalámbrica, estando el procedimiento implementado por una estación base (104), y comprendiendo el procedimiento:
 - 5 formar múltiples conjuntos de terminales (106) para recibir la transmisión de datos desde la estación base (104) en un próximo intervalo de transmisión, incluyendo cada conjunto uno o más terminales (106), y correspondiendo a una hipótesis distinta, a evaluar en base a uno o más criterios, en donde los múltiples conjuntos de terminales (106) incluyen un primer conjunto de uno o más terminales (106) correspondientes a una primera hipótesis a evaluar, y un segundo conjunto de uno o más terminales (106) correspondientes a una
 - 10 segunda hipótesis a evaluar, y en donde dichos uno o más terminales (106) en el primer conjunto son distintos a dichos uno o más terminales (106) en el segundo conjunto;
 - asignar una pluralidad de antenas (524) de transmisión a dichos uno o más terminales (106) en cada conjunto;
 - evaluar el rendimiento de cada hipótesis en base a la información de estado de canal, CSI, asociada a cada terminal (106), siendo la CSI indicativa de las características de canal entre el respectivo terminal (106) y las correspondientes antenas transmisoras (524);
 - 15 seleccionar una de las múltiples hipótesis evaluadas, en base al rendimiento; y
 - planificar la transmisión de datos a dichos uno o más terminales (106) en la hipótesis seleccionada.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el cual cada hipótesis comprende una pluralidad de sub-hipótesis, correspondiendo a cada una de las cuales una o más asignaciones específicas de las antenas transmisoras (524) a dichos uno o más terminales (106) en el respectivo conjunto, y en el cual el rendimiento de cada hipótesis se evalúa
 - 20 en base al rendimiento de la correspondiente sub-hipótesis.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el cual la CSI para cada terminal (106) comprende las estimaciones de la razón entre señal y ruido más interferencia, SNR, obtenidas en el respectivo terminal (106) en base a señales transmitidas desde las antenas transmisoras (524).
4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el cual la evaluación incluye:
 - 25 calcular una métrica de rendimiento para cada hipótesis, como función del caudal alcanzable por cada terminal (106) en el respectivo conjunto.
5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el cual la pluralidad de antenas transmisoras (524) están asignadas a dichos uno o más terminales (106) en cada conjunto, en base a la prioridad de los terminales en el conjunto.
6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el cual la prioridad de cada terminal (106) está determinada en base a uno o más factores, que incluyen la calidad de servicio, QoS, asociada al respectivo terminal (106).
 - 30
7. Una estación base (104) para gestionar la transmisión de datos en un sistema (100) de comunicación inalámbrica, comprendiendo la estación base (104):
 - 35 medios (532, 534) para formar múltiples conjuntos de terminales (106) para recibir la transmisión de datos desde la estación base (104) en un próximo intervalo de transmisión, incluyendo cada conjunto uno o más terminales (106), y correspondiendo a una hipótesis distinta, a evaluar en base a uno o más criterios, en donde los múltiples conjuntos de terminales (106) incluyen un primer conjunto de uno o más terminales (106) correspondientes a una primera hipótesis a evaluar, y un segundo conjunto de uno o más terminales (106) correspondientes a una segunda hipótesis a evaluar, y en donde dichos uno o más terminales (106) en el primer conjunto son distintos a dichos uno o más terminales (106) en el segundo conjunto;
 - 40 medios (520, 534) para asignar una pluralidad de antenas (524) de transmisión a dichos uno o más terminales (106) en cada conjunto;
 - medios (532, 534) para evaluar el rendimiento de cada hipótesis en base a la información de estado de canal, CSI, asociada a cada terminal (106), siendo la CSI indicativa de las características de canal entre el respectivo terminal (106) y las correspondientes antenas transmisoras (524);
 - 45 medios (534) para seleccionar una de las múltiples hipótesis evaluadas, en base al rendimiento; y
 - medios (534) para planificar la transmisión de datos a dichos uno o más terminales (106) en la hipótesis seleccionada.
8. La estación base (104) de la reivindicación 7, en la cual cada hipótesis comprende una pluralidad de sub-hipótesis, cada una de las cuales corresponde a una o más asignaciones específicas de las antenas transmisoras (524) a dichos uno o más terminales (106) en el respectivo conjunto, y en la cual el rendimiento de cada hipótesis es evaluado en base al rendimiento de la correspondiente sub-hipótesis.
 - 50
9. La estación base (104) de la reivindicación 7, en la cual la CSI para cada terminal (106) comprende estimaciones de la razón entre señal y ruido más interferencia, SNR, obtenidas en el respectivo terminal en base a señales transmitidas desde las antenas transmisoras.
- 55 10. La estación base (104) de la reivindicación 7, en la cual los medios para la evaluación incluyen:

medios para calcular una métrica de rendimiento para cada hipótesis, como función del caudal alcanzable por cada terminal (106) en el respectivo conjunto.

- 5 11. La estación base (104) de la reivindicación 7, en la cual la pluralidad de antenas transmisoras (524) son asignadas a dichos uno o más terminales (106) en cada conjunto, en base a la prioridad de los terminales en el conjunto.
12. La estación base (104) de la reivindicación 11, en la cual la prioridad de cada terminal (106) es determinada en base a uno o más factores que incluyen la calidad de servicio, QoS, asociada al respectivo terminal.
13. La estación base (104) de la reivindicación 7, que comprende adicionalmente:
un procesador configurado para llevar a cabo las etapas de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.
- 10 14. Un medio legible por ordenador que comprende instrucciones para llevar a cabo las etapas de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6.

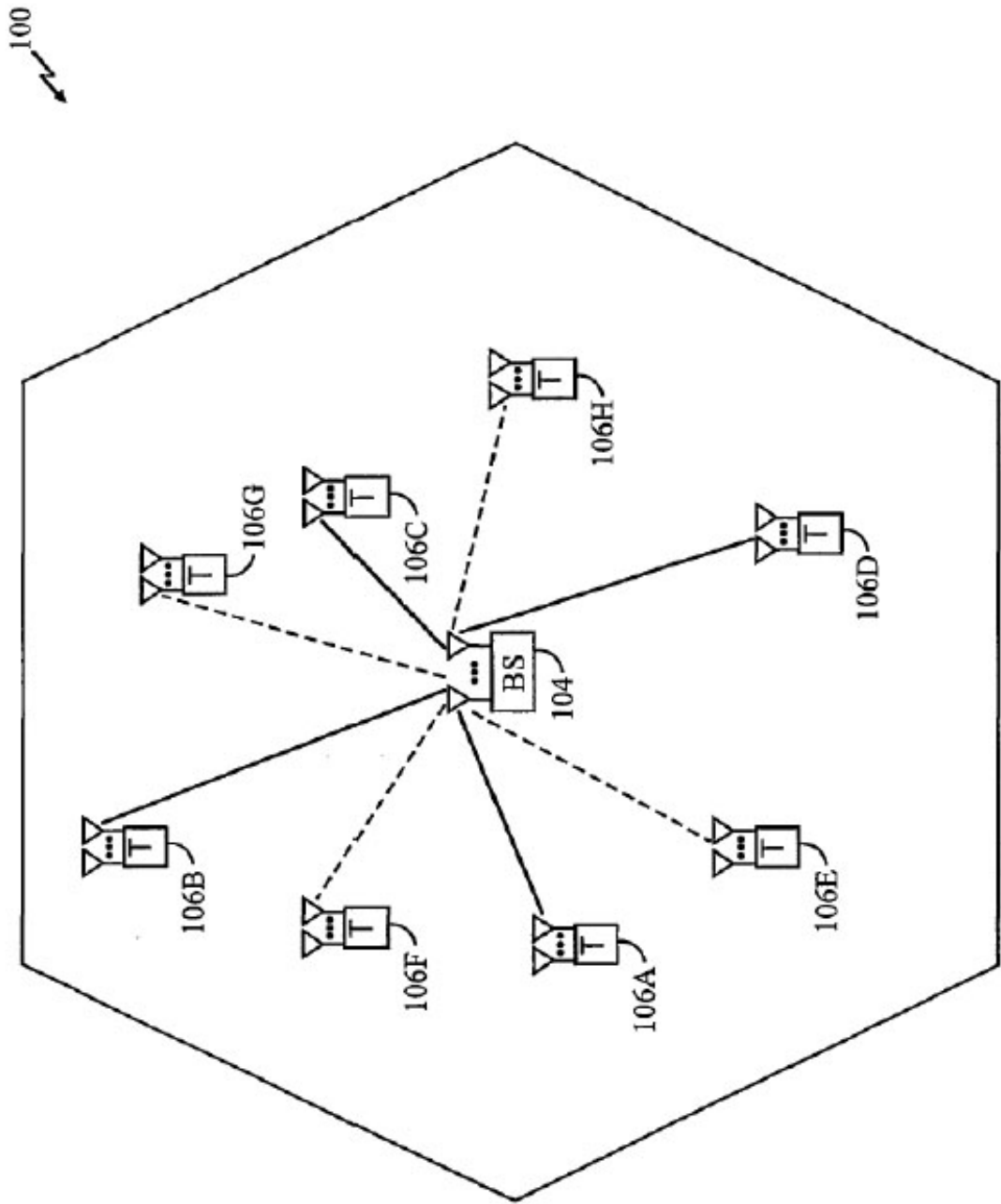


FIG. 1

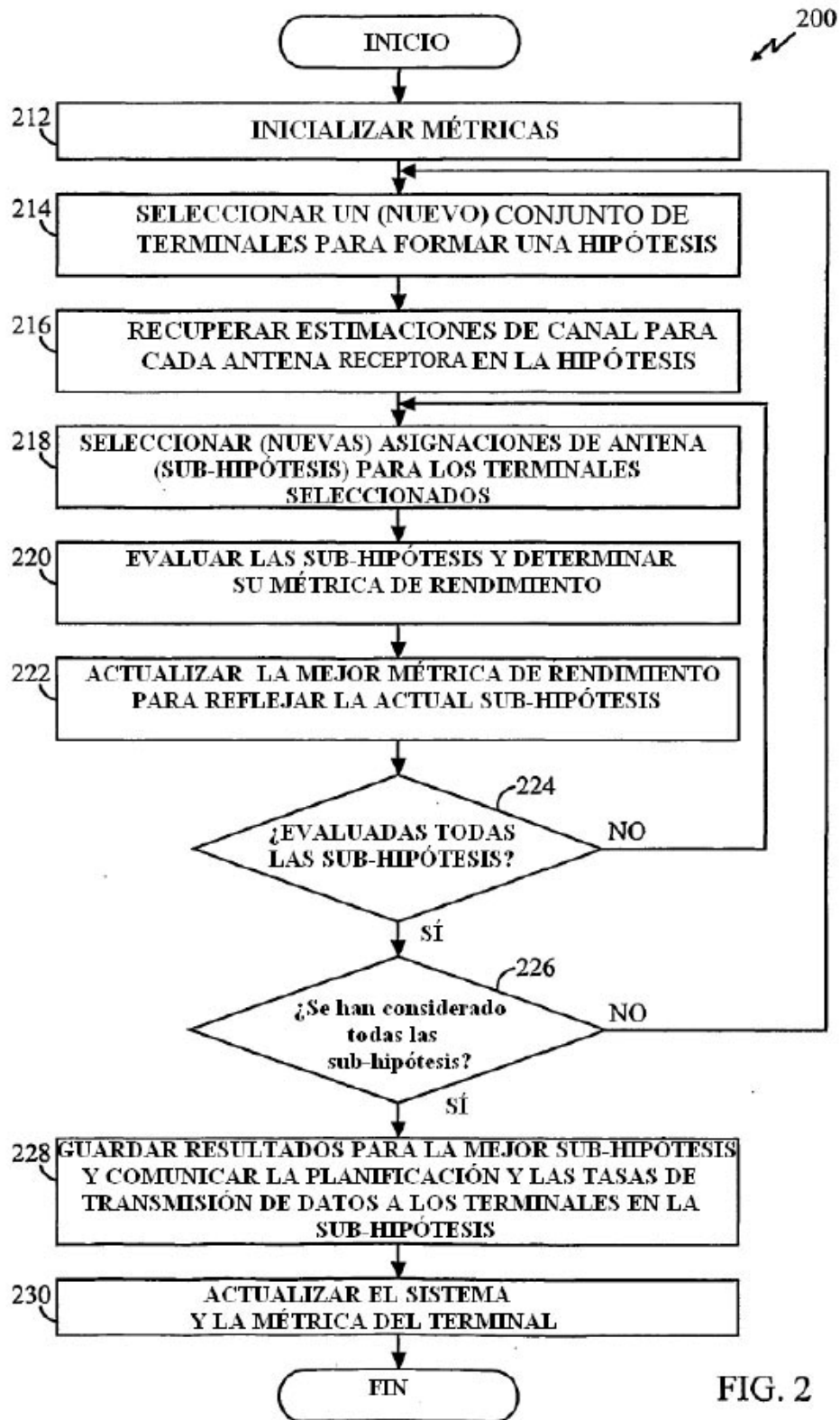


FIG. 2

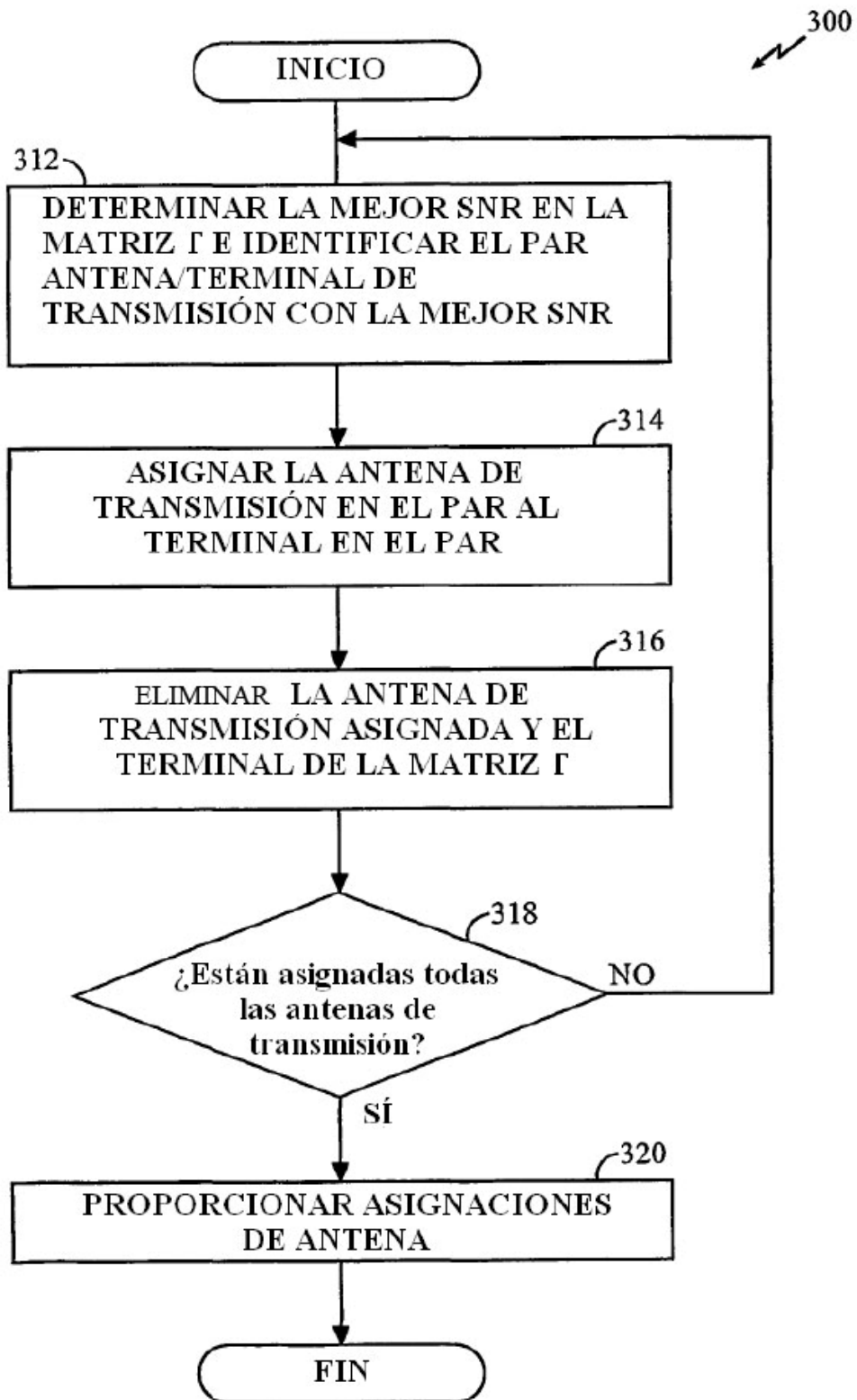


FIG. 3

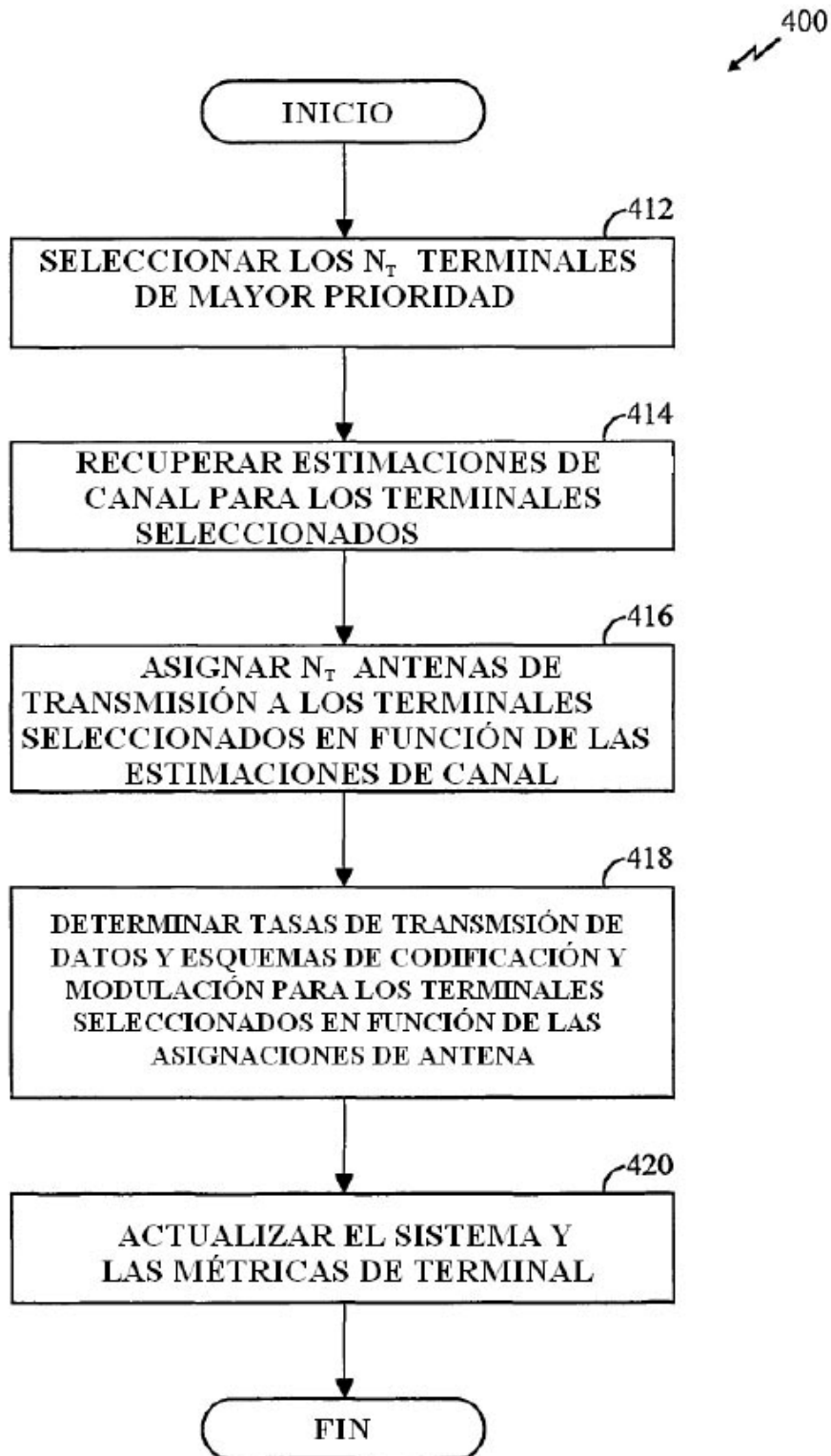


FIG. 4

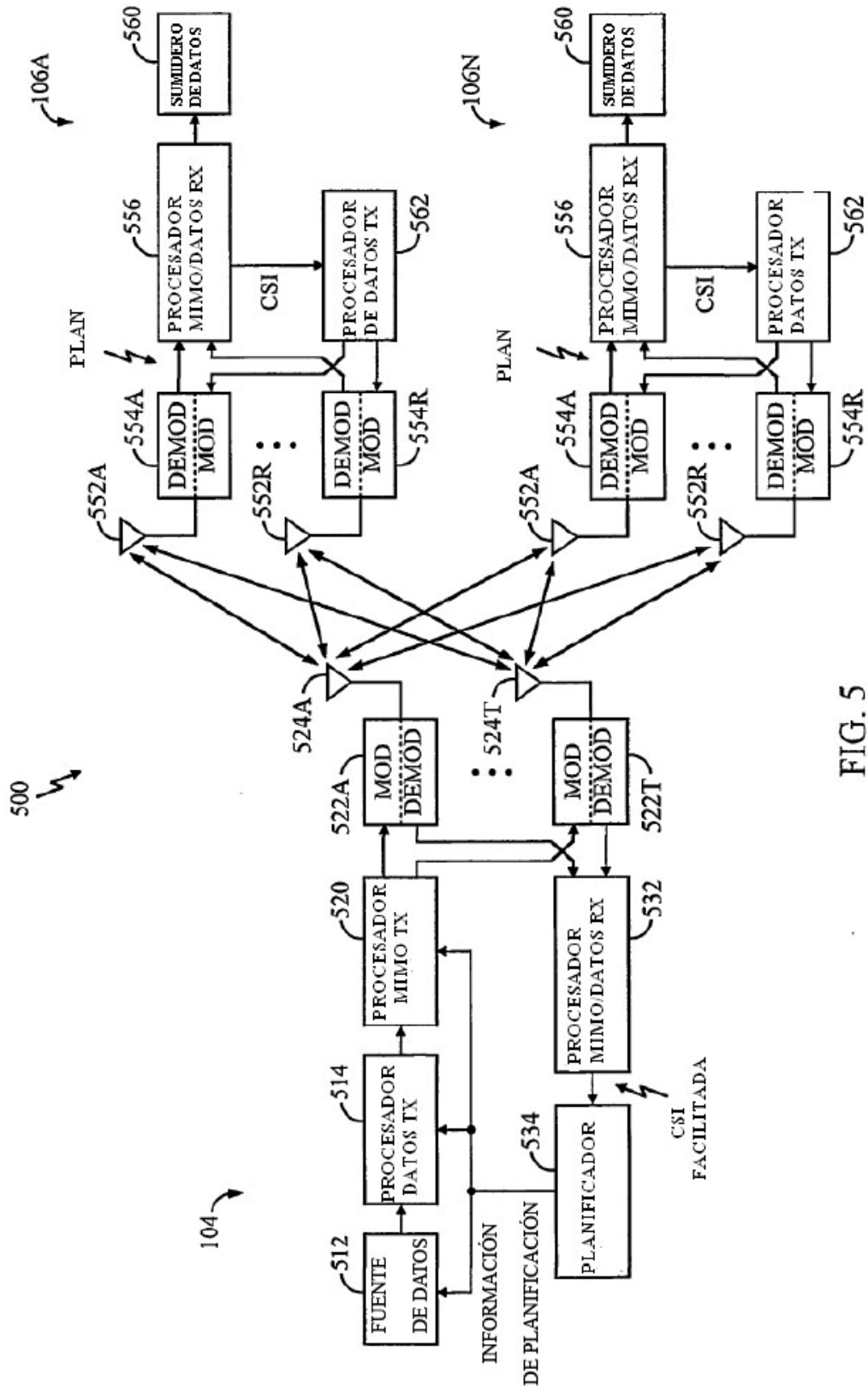


FIG. 5

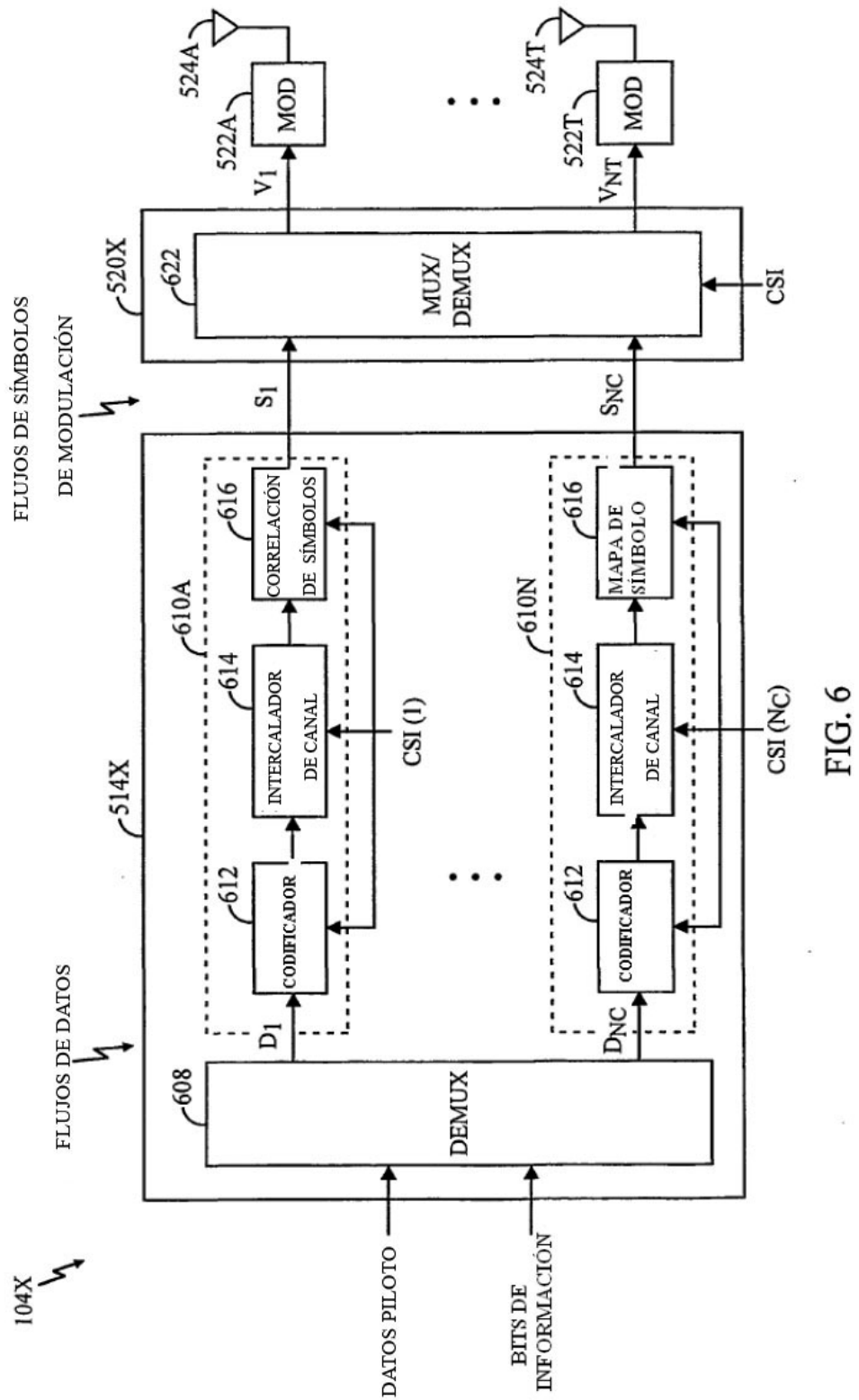


FIG. 6

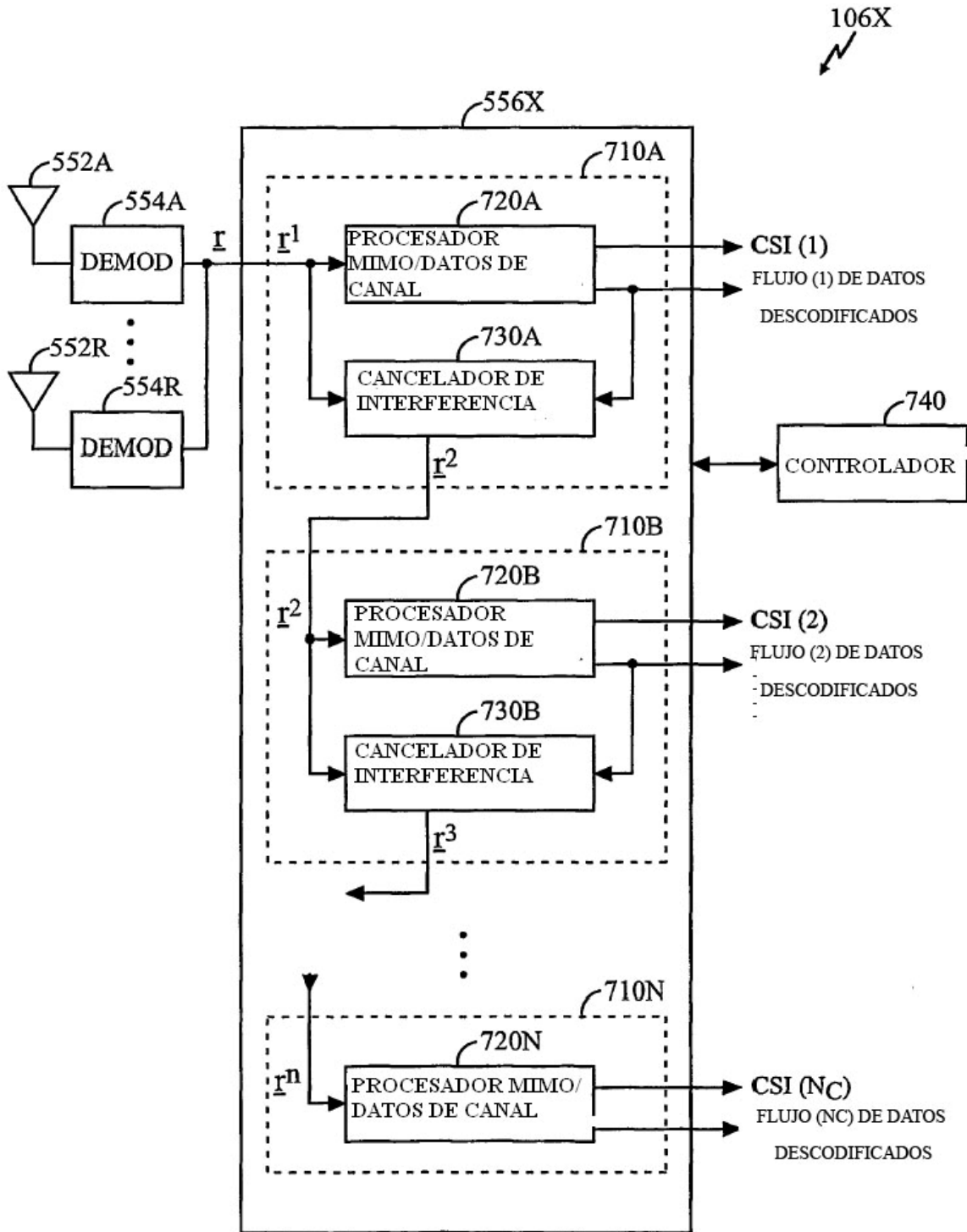


FIG. 7

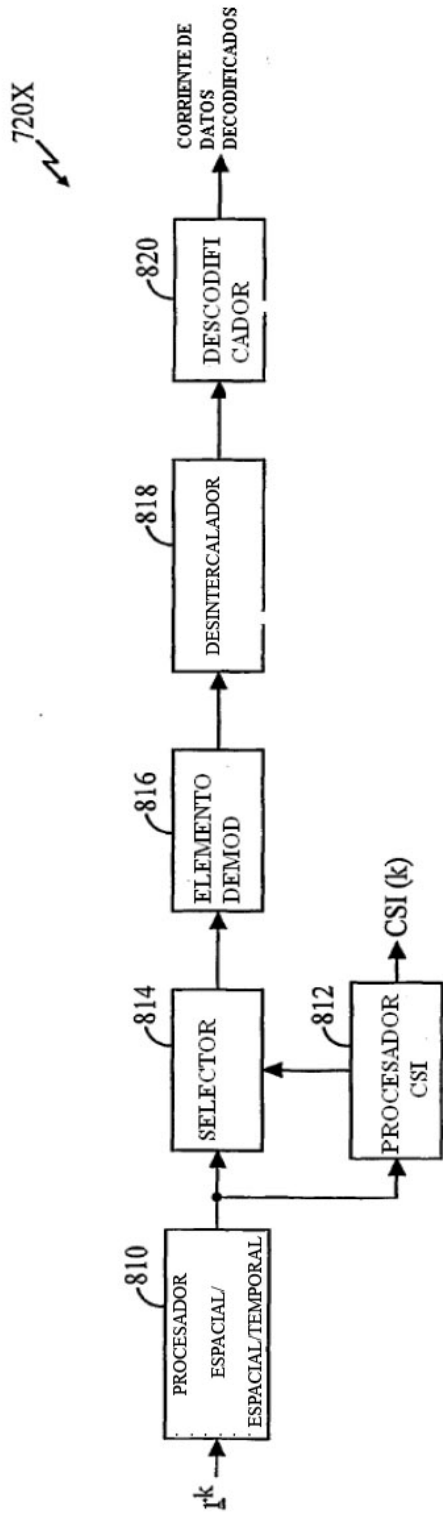


FIG. 8A

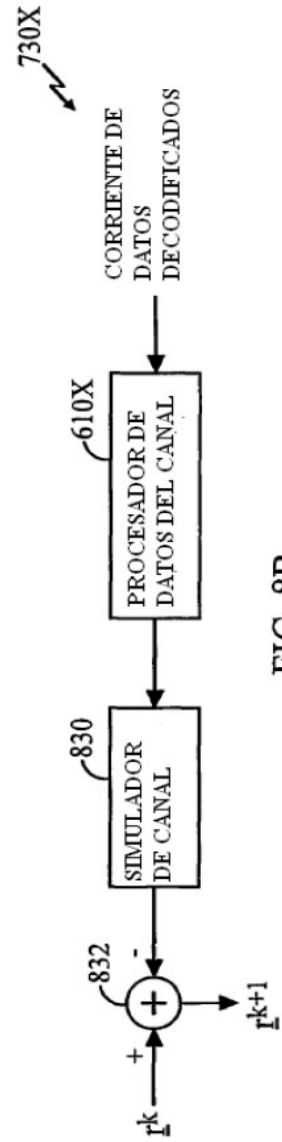


FIG. 8B

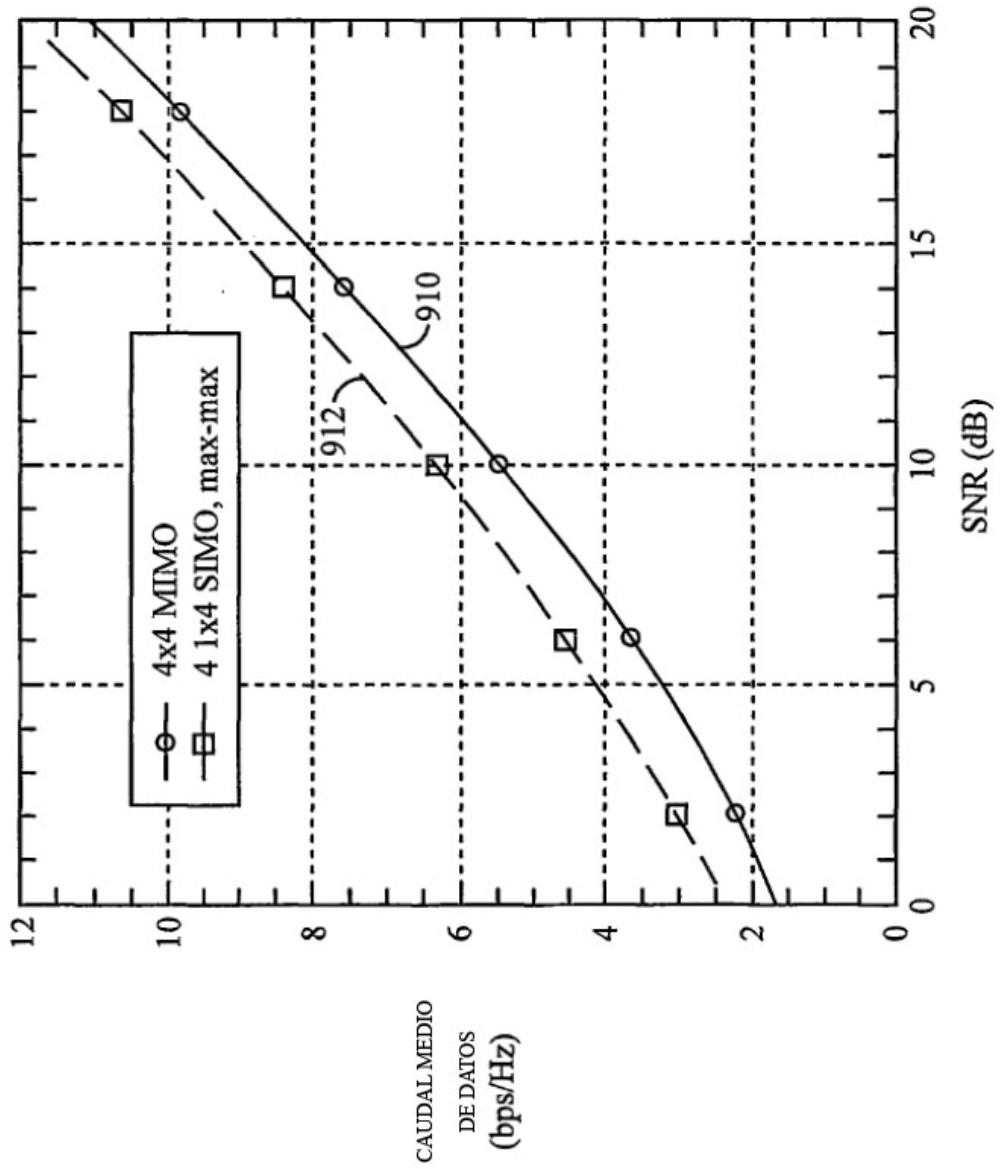


FIG. 9