

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 842 625**

51 Int. Cl.:

H04L 5/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.12.2002** **E 10175654 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.08.2020** **EP 2252002**

54 Título: **Aparato y procedimiento para la asignación de recursos en un sistema de comunicación MIMO-OFDM**

30 Prioridad:

08.01.2002 US 42529

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

14.07.2021

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
5775 Morehouse Drive, R-132 D
San Diego, CA 92121-1714, US**

72 Inventor/es:

**WALTON, JAY ROD;
KETCHUM, JOHN W.;
WALLACE, MARK y
MEDVEDEV, IRINA**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 842 625 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

Aparato y procedimiento para la asignación de recursos en un sistema de comunicación MIMO-OFDM

5 ANTECEDENTES

Campo

10 [0001] La presente invención se refiere, en general, a la comunicación de datos y, más específicamente, a técnicas para asignar recursos en sistemas de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas que utilizan multiplexación por división ortogonal de frecuencia (es decir, sistemas MIMO-OFDM).

Antecedentes

15 [0002] Un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) emplea múltiples (N_T) antenas transmisoras y múltiples (N_R) antenas receptoras para la transmisión de múltiples flujos de datos independientes. En una implementación de sistema MIMO, en cualquier momento dado, todos los flujos de datos se usan para una comunicación entre una estación base de múltiples antenas y un solo terminal de múltiples antenas. Sin embargo, en un sistema de comunicación de acceso múltiple, la estación base también puede comunicarse simultáneamente con
20 varios terminales. En este caso, cada uno de los terminales emplea un número suficiente de antenas de modo que pueda transmitir y/o recibir uno o más flujos de datos.

[0003] El canal de RF entre el conjunto de múltiples antenas en la estación base y el conjunto de múltiples antenas en un terminal dado se denomina canal MIMO. El canal MIMO formado por las N_T antenas transmisoras y las N_R
25 antenas receptoras puede descomponerse en N_S canales independientes, donde $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$. Cada uno de los N_S canales independientes también se denomina subcanal espacial del canal MIMO y corresponde a una dimensión. El sistema MIMO puede proporcionar un rendimiento mejorado (por ejemplo, una mayor capacidad de transmisión) si se utilizan las dimensiones adicionales creadas por las múltiples antenas transmisoras y receptoras.

30 [0004] Un sistema MIMO de banda ancha generalmente experimenta desvanecimiento selectivo de frecuencia, que se caracteriza por diferentes cantidades de atenuación en todo el ancho de banda del sistema. Este desvanecimiento selectivo de frecuencia causa interferencia entre símbolos (ISI), que es un fenómeno por el cual cada símbolo en una señal recibida actúa como distorsión de los símbolos subsiguientes en la señal recibida. Esta distorsión degrada el
35 rendimiento al afectar a la capacidad de detectar correctamente los símbolos recibidos.

[0005] La multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM) se puede usar para combatir la ISI y/o con algunos otros propósitos. Un sistema OFDM divide de manera efectiva el ancho de banda de sistema global en varios subcanales de frecuencia (NF), que pueden denominarse subbandas o celdas de frecuencia. Cada subcanal de frecuencia está asociado a una subportadora respectiva en la que se pueden modular datos. Los subcanales de
40 frecuencia del sistema OFDM también pueden experimentar desvanecimiento selectivo de frecuencia, dependiendo de las características (por ejemplo, el perfil de trayectos múltiples) del trayecto de propagación entre las antenas transmisoras y receptoras. Con OFDM, la ISI debida al desvanecimiento selectivo de frecuencia puede combatirse repitiendo una parte de cada símbolo OFDM (es decir, añadiendo un prefijo cíclico a cada símbolo OFDM), como se conoce en la técnica.

45 [0006] Para un sistema MIMO que emplea OFDM (es decir, un sistema MIMO-OFDM), los subcanales de frecuencia NF están disponibles para cada uno de los N_S subcanales espaciales de un canal MIMO. Cada subcanal de frecuencia de cada subcanal espacial puede denominarse canal de transmisión. Puede haber hasta $N_F \cdot N_S$ canales de transmisión disponibles para su uso en cualquier momento dado para la comunicación entre la estación base de
50 múltiples antenas y el terminal de múltiples antenas.

[0007] El canal MIMO entre la estación base y cada terminal típicamente experimenta diferentes características de enlace y, por lo tanto, puede estar asociado a diferentes capacidades de transmisión. Además, cada subcanal espacial puede experimentar además un desvanecimiento selectivo de frecuencia, en cuyo caso los subcanales de frecuencia
55 también pueden estar asociados a diferentes capacidades de transmisión. Por tanto, los canales de transmisión disponibles para cada terminal pueden tener diferentes capacidades efectivas. Se puede lograr un uso eficiente de los recursos disponibles y un mayor rendimiento si los $N_F \cdot N_S$ canales de transmisión disponibles se asignan eficazmente de manera que estos canales sean utilizados por un conjunto "apropiado" de uno o más terminales en el sistema MIMO-OFDM.

60 [0008] La solicitud de patente internacional publicada con el número WO 01/76098 describe el control de las transmisiones de un sistema de comunicaciones para aumentar la eficiencia y mejorar el rendimiento.

65 [0009] El documento de CHEONG YUI WONG *et al.*: "Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit, and Power Allocation", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, CENTRO DE SERVICIOS DE IEEE, PISCATAWAY, EE. UU., vol. 17, n.º 10, 1 de octubre de 1999 (01/10/1999), XP011055027, ISSN: 0733-8716 describe

multiplexación por división ortogonal de frecuencia multiusuario con asignación adaptativa de subportadoras multiusuario y modulación adaptativa.

[0010] Por tanto, existe una necesidad en la técnica de técnicas para asignar recursos en un sistema MIMO-OFDM para proporcionar un alto rendimiento de sistema.

BREVE EXPLICACIÓN

[0011] La invención está definida por las reivindicaciones adjuntas. Los modos de realización que no están totalmente dentro del alcance de las reivindicaciones se deben interpretar como ejemplos útiles para entender la invención. De acuerdo con la invención, se proporciona un procedimiento de comunicación inalámbrica, que comprende:

seleccionar una pluralidad de conjuntos de terminales para una posible transmisión de datos en un recurso, incluyendo cada conjunto al menos un terminal, siendo cada conjunto de terminales diferente; evaluar el rendimiento de cada uno de la pluralidad de conjuntos de terminales;

seleccionar un conjunto de terminales entre la pluralidad de conjuntos de terminales en base al mejor rendimiento de cada conjunto de terminales; y

planificar cada terminal del conjunto seleccionado de terminales para la transmisión de datos en el recurso.

[0012] En el presente documento se proporcionan técnicas para planificar terminales para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o el enlace ascendente en base a las "firmas" espaciales y/o de frecuencia de los terminales. En un sistema MIMO-OFDM, cada terminal "activo" que desee la transmisión de datos en un intervalo de tiempo próximo puede asociarse a canales de transmisión que tienen diferentes capacidades debido a las diferentes condiciones de enlace experimentadas por el terminal. En el presente documento se proporcionan diversos esquemas de planificación para seleccionar un conjunto "apropiado" de uno o más terminales para la transmisión de datos en cada banda de frecuencia y para asignar los canales de transmisión disponibles a los terminales seleccionados de manera que logren los objetivos del sistema (por ejemplo, alto caudal de tráfico, equidad, etc.).

[0013] Se puede diseñar un planificador para formar uno o más conjuntos de terminales para una posible transmisión de datos (enlace descendente o ascendente) para cada una de varias bandas de frecuencia. Cada conjunto incluye uno o más terminales activos y corresponde a una hipótesis a evaluar. Cada banda de frecuencia corresponde a un grupo de uno o más subcanales de frecuencia en el sistema MIMO-OFDM. El planificador puede además formar una o más subhipótesis para cada hipótesis. En el enlace descendente, cada subhipótesis puede corresponder a asignaciones específicas de varias antenas transmisoras en la estación base al uno o más terminales en la hipótesis. Y en el enlace ascendente, cada subhipótesis puede corresponder a un orden específico para procesar las transmisiones de datos de enlace ascendente desde el uno o más terminales en la hipótesis. A continuación, se evalúa el rendimiento de cada subhipótesis (por ejemplo, en base a una o más métricas de rendimiento, tales como una métrica de rendimiento indicativa del caudal de tráfico general de los terminales en la hipótesis). A continuación se selecciona una subhipótesis para cada banda de frecuencia en base al rendimiento evaluado, y después uno o más terminales en cada subhipótesis seleccionada se planifican para la transmisión de datos en la banda de frecuencia correspondiente.

[0014] El conjunto de uno o más terminales planificados para la transmisión de datos (enlace descendente o enlace ascendente) en cada banda de frecuencia puede incluir múltiples terminales SIMO, un solo terminal MIMO, múltiples terminales MISO o una combinación de terminales SIMO, MISO y MIMO. Un terminal SIMO es un terminal planificado para la transmisión de datos por medio de un único subcanal espacial en el sistema MIMO-OFDM y que emplea múltiples antenas receptoras y una única antena transmisora, un terminal MISO es un terminal que utiliza una única antena receptora para recibir una transmisión utilizando un único subcanal espacial, y un terminal MIMO es un terminal planificado para la transmisión de datos por medio de dos o más subcanales espaciales.

A cada terminal SIMO, MISO o MIMO se le puede asignar una o múltiples bandas de frecuencia para la transmisión de datos. Los canales de transmisión disponibles se asignan a los terminales de manera que se logren los objetivos del sistema.

[0015] A continuación se describen detalles de diversos aspectos, modos de realización y características de la invención. La invención proporciona además procedimientos, productos informáticos, planificadores, estaciones base, terminales, sistemas y aparatos que implementan diversos aspectos, modos de realización y características de la invención, como se describe con más detalle a continuación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0016] Las características, naturaleza y ventajas de la presente invención resultarán más evidentes a partir de la descripción detallada expuesta a continuación cuando se tomen conjuntamente con los dibujos en los que se identifican caracteres de referencia similares de manera correspondiente de principio a fin, y en los que:

La FIG. 1 es un diagrama de un sistema MIMO-OFDM;

La FIG. 2 es un diagrama de flujo de un proceso para planificar terminales para la transmisión de datos de enlace descendente;

La FIG. 3 es un diagrama de flujo de un proceso para asignar antenas transmisoras a terminales usando un criterio "max-max";

La FIG. 4 es un diagrama de flujo para un esquema de planificación de enlace descendente basado en prioridades en el que se considera para la planificación un conjunto de N_T terminales con la mayor prioridad;

La FIG. 5 es un diagrama de flujo de un proceso para planificar terminales para la transmisión de enlace ascendente;

Las FIGS. 6A y 6B son diagramas de flujo de dos esquemas de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas en los que el orden de procesamiento es (1) impuesto por un conjunto ordenado de terminales y (2) determinado en base a las SNR posprocesadas, respectivamente;

La FIG. 7 es un diagrama de flujo para un esquema de planificación de enlace ascendente basado en prioridades en el que se considera para la planificación un conjunto de N_T terminales con la mayor prioridad;

Las FIGS. 8A y 8B son diagramas de bloques de una estación base y de dos terminales para la transmisión de datos de enlace descendente y de enlace ascendente, respectivamente;

La FIG. 9 es un diagrama de bloques de un modo de realización de una unidad transmisora; y

Las FIGS. 10A y 10B son diagramas de bloques de dos modos de realización de una unidad receptora sin y con procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas, respectivamente;

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0017] El alcance de la protección será determinado por las reivindicaciones. Los modos de realización en la siguiente descripción que no están cubiertos por las reivindicaciones se presentan como simples ejemplos que pueden ser útiles para el entendimiento de la invención, y no como modos de realización de la invención.

[0018] La FIG. 1 es un diagrama de un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas 100 que utiliza multiplexación por división ortogonal de frecuencia (es decir, un sistema MIMO-OFDM). Un sistema MIMO-OFDM 100 emplea múltiples (N_T) antenas transmisoras y múltiples (N_R) antenas receptoras para la transmisión de datos. El sistema MIMO-OFDM 100 puede ser un sistema de comunicación de acceso múltiple que tiene una o más estaciones base (BS) 104 que pueden comunicarse simultáneamente con uno o más terminales (T) 106 (solo se muestra una estación base en la FIG. 1 por simplicidad). Las estaciones base también pueden denominarse puntos de acceso, UTRAN o usando alguna otra terminología, y los terminales también pueden denominarse microteléfonos, estaciones móviles, estaciones remotas, equipo de usuario o usando alguna otra terminología.

[0019] Cada estación base 104 emplea múltiples antenas y representa las múltiples entradas (MI) para transmisiones de enlace descendente desde la estación base hasta los terminales y las múltiples salidas (MO) para transmisiones de enlace ascendente desde los terminales hasta la estación base. Un conjunto de uno o más terminales de "comunicación" 106 representa conjuntamente las múltiples salidas para transmisiones de enlace descendente y las múltiples entradas para transmisiones de enlace ascendente. Como se usa en el presente documento, un terminal de comunicación es un terminal que transmite y/o recibe datos específicos de usuario hacia/desde la estación base, y un terminal "activo" es un terminal que desea una transmisión de datos de enlace descendente y/o de enlace ascendente en una ranura de tiempo próxima o futura. Los terminales activos pueden incluir terminales que se estén comunicando actualmente.

[0020] En relación con el ejemplo mostrado en la FIG. 1, la estación base 104 se comunica simultáneamente con los terminales 106a a 106d (como se indica mediante las líneas continuas) por medio de las múltiples antenas disponibles en la estación base y la una o más antenas disponibles en cada terminal de comunicación. Los terminales 106e a 106h pueden recibir señales piloto y/u otra información de señalización desde la estación base 104 (como se indica mediante las líneas discontinuas), pero no están transmitiendo ni recibiendo datos específicos del usuario hacia/desde la estación base.

[0021] En relación con el enlace descendente, la estación base emplea N_T antenas y cada terminal de comunicación emplea 1 o N_R antenas para la recepción de uno o más flujos de datos desde la estación base. En general, N_R puede ser el número entero dos o superior. Un canal MIMO formado por N_T antenas transmisoras y N_R antenas receptoras se puede descomponer en N_S canales independientes, donde $N_S \leq \min \{N_T, N_R\}$. Cada uno de dichos canales

independientes puede denominarse subcanal espacial del canal MIMO.

[0022] En relación con el enlace descendente, el número de antenas receptoras en un terminal de comunicación puede ser igual a o mayor que el número de antenas transmisoras en la estación base (es decir, $N_R \geq N_T$). En un terminal de este tipo, el número de subcanales espaciales está limitado por el número de antenas transmisoras en la estación base. Cada terminal de múltiples antenas se comunica con la estación base por medio de un canal MIMO respectivo formado por las N_T antenas transmisoras de la estación base y sus propias N_R antenas receptoras. Sin embargo, incluso si se seleccionan múltiples terminales de múltiples antenas para la transmisión de datos de enlace descendente, solo están disponibles N_S subcanales espaciales independientemente del número de terminales que reciben la transmisión de enlace descendente. No es necesario que todos los terminales que se consideren para la transmisión de datos de enlace descendente estén equipados con el mismo número de antenas receptoras.

[0023] En el enlace descendente, el número de antenas receptoras en un terminal de comunicación también puede ser menor que el número de antenas transmisoras en la estación base (es decir, $N_R < N_T$). En particular, un terminal MISO emplea una única antena receptora ($N_R = 1$) para la transmisión de datos de enlace descendente. La estación base puede entonces emplear orientación de haz y acceso múltiple por división de espacio (SDMA) para comunicarse simultáneamente con varios terminales MISO, como se describe a continuación.

[0024] En el enlace ascendente, cada terminal de comunicación puede emplear una única antena o múltiples antenas para la transmisión de datos de enlace ascendente. Cada terminal también puede utilizar todas o solo un subconjunto de sus antenas disponibles para la transmisión de enlace ascendente. En cualquier momento dado, las N_T antenas transmisoras para el enlace ascendente están formadas por todas las antenas usadas por uno o más terminales de comunicación. El canal MIMO está formado entonces por las N_T antenas transmisoras de todos los terminales de comunicación por y las N_R antenas receptoras de la estación base. El número de subcanales espaciales está limitado por el número de antenas transmisoras, que a su vez está limitado por el número de antenas receptoras en la estación base (es decir, $N_S \leq \min(N_T, N_R)$).

[0025] Con SDMA, las "firmas espaciales" asociadas a diferentes terminales se aprovechan para permitir que múltiples terminales funcionen simultáneamente en el mismo canal, que puede ser una ranura de tiempo, una banda de frecuencia, un canal de código, etc. Una firma espacial constituye una caracterización de RF completa del trayecto de propagación entre cada par de antenas de transmisión-recepción que se usarán para la transmisión de datos. En el enlace descendente, las firmas espaciales pueden obtenerse en los terminales y notificarse a la estación base. La estación base puede entonces procesar estas firmas espaciales para seleccionar terminales para la transmisión de datos en el mismo canal, y obtener vectores con una orientación mutuamente "ortogonal" para cada uno de los flujos de datos independientes que se transmitirán a los terminales seleccionados. En el enlace ascendente, la estación base puede obtener las firmas espaciales de los diferentes terminales. La estación base puede entonces procesar estas firmas para planificar terminales para la transmisión de datos y procesar además las transmisiones desde los terminales planificados para demodular por separado cada transmisión.

[0026] Si los terminales están equipados con múltiples antenas receptoras de modo que $N_R \geq N_T$, entonces la estación base no necesita las firmas espaciales de los terminales para obtener los beneficios de SDMA. Todo lo que puede ser necesario en la estación base es información de cada terminal que indique la SNR "posprocesada" asociada a la señal de cada antena transmisora de estación base, después de la demodulación en el terminal. El proceso de estimación de SNR puede facilitarse transmitiendo periódicamente una señal piloto desde cada antena transmisora de estación base, como se describe a continuación.

[0027] Como se usa en el presente documento, un terminal SIMO es un terminal designado (o planificado) para transmitir y/o recibir datos por medio de un único subcanal espacial y que emplea múltiples antenas receptoras para la transmisión de datos, un terminal MISO es un terminal designado para recibir una transmisión de datos por medio de un solo subcanal espacial y que emplea una única antena receptora, y un terminal MIMO es un terminal designado para transmitir y/o recibir datos por medio de múltiples subcanales espaciales. En relación con el enlace descendente, un terminal SIMO puede recibir una transmisión de datos desde una única antena transmisora en la estación base, y un terminal MISO puede recibir una transmisión de datos por medio de un haz formado por las N_T antenas transmisoras en la estación base. Y en relación con el enlace ascendente, el terminal SIMO puede transmitir datos desde una antena en el terminal.

[0028] En el sistema MIMO-OFDM, cada subcanal espacial se divide adicionalmente en N_F subcanales de frecuencia. Cada subcanal de frecuencia de cada subcanal espacial puede denominarse canal de transmisión. Tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente, las N_T antenas transmisoras pueden, por tanto, usarse para transmitir hasta $N_F \cdot N_S$ flujos de datos independientes en los $N_F \cdot N_S$ canales de transmisión. Cada flujo de datos independiente está asociado a una "velocidad" particular, que indica diversos valores de parámetros de transmisión tales como, por ejemplo, una velocidad de transferencia de datos específica, un esquema de codificación específico, un esquema de modulación específico, etc., que se utilizan para el flujo de datos. La velocidad está determinada típicamente por la capacidad del uno o más canales de transmisión usados para transmitir el flujo de datos.

Sistema OFDM multiusuario

[0029] En un sistema OFDM de acceso múltiple sin capacidad MIMO, el ancho de banda de sistema global, W , se divide en N_F subcanales de frecuencia ortogonales, donde cada uno de estos subcanales tiene un ancho de banda de W/N_F . En este sistema, varios terminales pueden compartir el espectro disponible mediante multiplexación por división de tiempo (TDM). En un esquema TDM "puro", a un solo terminal se le puede asignar todo el ancho de banda de sistema, W , para cada ranura de tiempo fijo, que puede denominarse ranura de tiempo. Los terminales pueden planificarse para la transmisión de datos mediante la asignación de ranuras de tiempo según la demanda. De forma alternativa, en este sistema OFDM, es posible asignar solo una fracción, N_A , de los N_F subcanales de frecuencia a un terminal dado para una ranura de tiempo dada, haciendo así que los $(N_F - N_A)$ subcanales de frecuencia restantes en la misma ranura de tiempo estén disponibles para otros terminales. De esta forma, el esquema de acceso TDM se convierte en un esquema de acceso TDM/FDM híbrido.

[0030] La asignación de diferentes subcanales de frecuencia a diferentes terminales puede proporcionar un rendimiento mejorado para el canal selectivo de frecuencia. En el esquema TDM puro en el que la totalidad de N_F subcanales de frecuencia se asignan a un solo terminal para una ranura de tiempo determinada, es posible que algunos de los subcanales de frecuencia asociados a este terminal se desvanezcan, lo que da como resultado una SNR baja y un caudal de tráfico deficiente para estos subcanales desvanecidos. Sin embargo, estos mismos subcanales de frecuencia pueden tener una alta SNR para otro terminal del sistema, ya que es probable que el canal de RF no esté correlacionado de un terminal a otro. Si un planificador conoce la SNR para cada terminal activo y para la totalidad de N_F subcanales de frecuencia, entonces puede ser posible maximizar el caudal de tráfico del sistema asignando cada uno de los N_F subcanales de frecuencia al terminal que logre la mejor SNR para ese subcanal. En la práctica, es necesario cumplir determinados requisitos mínimos de rendimiento para todos los terminales, de modo que el planificador debería observar algunos criterios de equidad para garantizar que los terminales en las mejores ubicaciones no "acaparen" continuamente los recursos.

[0031] El esquema de planificación TDM puro descrito anteriormente puede asignar ranuras de tiempo a terminales que tienen condiciones de desvanecimiento favorables. Para conseguir un rendimiento mejorado, el planificador puede considerar además la asignación de subcanales de frecuencia a los terminales en cada ranura de tiempo y, posiblemente, la asignación de potencia de transmisión por subcanal. La capacidad de asignar potencia de transmisión proporciona un grado adicional de flexibilidad de planificación que se puede usar para mejorar el rendimiento (por ejemplo, para aumentar el caudal de tráfico).

Sistema MIMO-OFDM de usuario único

[0032] En el sistema MIMO-OFDM, los N_F subcanales de frecuencia pueden usarse para transmitir hasta N_F flujos de datos independientes en cada uno de los N_S subcanales espaciales. Por tanto, el número total de canales de transmisión es $N_C = N_F \cdot N_S$. En el esquema TDM puro, los N_C canales de transmisión pueden ser asignados a un solo terminal para cada ranura de tiempo.

[0033] Los N_C canales de transmisión pueden estar asociados a diferentes SNR y pueden tener diferentes capacidades de transmisión. Una fracción de los canales de transmisión puede lograr una mala SNR. En un esquema, se puede usar redundancia adicional (por ejemplo, un código de menor velocidad) para los canales de transmisión con una SNR deficiente para lograr la tasa de error de paquetes (PER) objetivo. La redundancia adicional reduce el caudal de tráfico. En otro esquema, algunos o todos los canales de transmisión con una SNR deficiente pueden eliminarse del uso, y solo se selecciona un subconjunto de los subcanales de frecuencia disponibles para su uso para cada subcanal espacial.

[0034] La potencia de transmisión total disponible puede asignarse de manera uniforme o no uniforme a través de los canales de transmisión para mejorar el caudal de tráfico. Por ejemplo, la potencia de transmisión total disponible para cada antena transmisora puede asignarse de manera uniforme o no uniforme a través de los subcanales de frecuencia seleccionados para su uso para esa antena transmisora. De esta manera, la potencia de transmisión no se desperdicia en canales de transmisión que proporcionan poca o ninguna información para permitir que el receptor recupere los datos transmitidos. La selección de subcanales de frecuencia y la asignación de potencia se pueden implementar por antena transmisora, por lo que (1) todos o un subconjunto de los N_F subcanales de frecuencia para cada antena transmisora pueden seleccionarse para su uso, y (2) la potencia de transmisión disponible para cada antena transmisora puede asignarse de manera uniforme o no uniforme a través de los subcanales de frecuencia seleccionados.

[0035] La técnica usada para procesar las señales recibidas en el receptor puede afectar en la selección de canales de transmisión que se usarán. Si en el receptor se usa una técnica de procesamiento de receptor de cancelación sucesiva de interferencias y ecualización (o "cancelación sucesiva") (descrita más adelante), entonces puede ser ventajoso inhabilitar determinadas antenas transmisoras para aumentar el caudal de tráfico en el enlace. En este caso, el receptor puede determinar qué subconjunto de antenas transmisoras debe usarse para la transmisión de datos y puede proporcionar esta información al transmisor por medio de un canal de retroalimentación. Si el canal de RF experimenta un desvanecimiento selectivo de frecuencia, entonces el conjunto de antenas transmisoras usadas para un subcanal de frecuencia puede no ser el mejor conjunto a usar en otro subcanal de frecuencia. En este caso, el

planificador puede seleccionar un conjunto apropiado de antenas transmisoras a usar por subcanal de frecuencia con el fin de mejorar el caudal de tráfico.

Sistema MIMO-OFDM multiusuario

[0036] Anteriormente se han descrito diversas técnicas para (1) asignar diferentes subcanales de frecuencia a diferentes terminales en un sistema OFDM multiusuario, y (2) asignar canales de transmisión a un solo terminal en un sistema MIMO-OFDM de un solo usuario. Estas técnicas también pueden usarse para asignar recursos (por ejemplo, canales de transmisión y potencia de transmisión) a múltiples terminales en un sistema MIMO-OFDM de acceso múltiple. Pueden diseñarse diversos esquemas de planificación para lograr un alto caudal de tráfico del sistema utilizando estas y, posiblemente, otras técnicas para el entorno multiusuario.

[0037] Los recursos del sistema pueden asignarse seleccionando el "mejor" conjunto de terminales para la transmisión de datos de manera que se logre un alto caudal de tráfico y/o algunos otros criterios. Con el desvanecimiento selectivo de frecuencia, la asignación de recursos puede realizarse para cada grupo de uno o más subcanales de frecuencia. La asignación de recursos para cada fracción del ancho de banda de sistema global puede proporcionar ganancias adicionales con respecto a un esquema que intente maximizar el caudal de tráfico en función del ancho de banda total del sistema (es decir, como sería el caso de un sistema MIMO de única portadora).

[0038] Si todo el ancho de banda del sistema se trata como un canal de única frecuencia (por ejemplo, como en un sistema MIMO de única portadora), entonces el número máximo de terminales que pueden planificarse para transmitir simultáneamente es igual al número de subcanales espaciales, que es $N_S \leq \min \{N_R, N_T\}$. Si el ancho de banda del sistema se divide en N_F canales de frecuencia (por ejemplo, como en un sistema MIMO-OFDM), entonces el número máximo de terminales que se pueden planificar para transmisiones simultáneas es $N_F \cdot N_S$, ya que cada canal de transmisión (es decir, cada subcanal de frecuencia de cada subcanal espacial) puede asignarse a un terminal diferente. Y si el ancho de banda del sistema se divide en N_G grupos de subcanales de frecuencia, entonces el número máximo de terminales que pueden planificarse para transmisiones simultáneas es $N_G \cdot N_S$, ya que cada grupo de subcanales de frecuencia de cada subcanal espacial puede asignarse a un terminal diferente. Si el número de terminales es menor que el número máximo permitido, entonces se pueden asignar múltiples canales de transmisión a un terminal dado.

[0039] El sistema MIMO-OFDM puede admitir diversos modos de funcionamiento. En un modo MIMO, todos los subcanales espaciales de un grupo de subcanales de frecuencia particular se asignan a un solo terminal MIMO. Puede seguir siendo posible que múltiples terminales MIMO se admitan simultáneamente por medio de los N_G grupos de subcanales de frecuencia. En un modo N-SIMO, los N_S subcanales espaciales de un grupo de subcanales de frecuencia particular se asignan a varios terminales SIMO distintos, asignándose a cada terminal SIMO un subcanal espacial. A un terminal SIMO dado se le pueden asignar uno o más grupos de subcanales de frecuencia de un subcanal espacial particular. En un modo N-MISO (que también puede referirse a un modo de orientación de haz multiusuario), los N_S subcanales espaciales de un grupo de subcanales de frecuencia particular se asignan a varios terminales MISO distintos, donde cada terminal MISO tiene asignado un subcanal espacial. La caracterización completa de los trayectos de antena transmisora-receptora se puede usar para obtener haces distintivos para la transmisión de datos hacia estos terminales MISO. De forma similar, a un terminal MISO dado se le pueden asignar uno o más grupos de subcanales de frecuencia de un subcanal espacial particular. Y en un modo mixto, los N_S subcanales espaciales para un grupo de subcanales de frecuencia particular pueden asignarse a una combinación de terminales SIMO, MISO y MIMO, con múltiples tipos de terminales admitidos simultáneamente. Puede admitirse cualquier combinación de modos de funcionamiento para una ranura de tiempo particular. Por ejemplo, el modo MIMO puede ser compatible con el primer grupo de subcanales de frecuencia, el modo N-SIMO puede ser compatible con el segundo grupo de subcanales de frecuencia, el modo N-MISO puede ser compatible con el tercer grupo de subcanales de frecuencia, el modo mixto puede ser compatible con el cuarto grupo de subcanales de frecuencia, y así sucesivamente. Al comunicarse simultáneamente con múltiples terminales SIMO, múltiples terminales MISO, uno o más terminales MIMO, o una combinación de terminales SIMO, MISO y MIMO, se puede aumentar el caudal de tráfico del sistema.

[0040] Si el entorno de propagación tiene suficiente dispersión, entonces se pueden usar técnicas de procesamiento de receptor MIMO para aprovechar eficazmente las dimensionalidades espaciales del canal MIMO para aumentar la capacidad de transmisión. Las técnicas de procesamiento de receptor MIMO se pueden usar si la estación base se comunica con uno o múltiples terminales simultáneamente. En relación con el enlace descendente, desde la perspectiva de un terminal, se pueden usar las mismas técnicas de procesamiento de receptor para procesar N_T señales diferentes destinadas a ese terminal (si es un terminal MIMO) o solo una de las N_T señales (si es un terminal SIMO). Si se va a usar el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas en los terminales, entonces pueden aplicarse determinadas restricciones ya que un flujo de datos asignado a un terminal puede no ser detectado sin errores por otro terminal. Y en relación con el enlace ascendente, desde la perspectiva de la estación base, no hay una diferencia apreciable entre el procesamiento de N_T señales diferentes de un solo terminal MIMO y el procesamiento de una señal de cada uno de N_T terminales SIMO diferentes.

[0041] Como se muestra en la FIG. 1, los terminales pueden estar distribuidos aleatoriamente en el área de cobertura

de la estación base (o "célula") o pueden estar ubicados conjuntamente. En un sistema de comunicación inalámbrica, las características de enlace varían típicamente con el tiempo debido a varios factores, tal como el desvanecimiento y los múltiples trayectos. En un instante particular en el tiempo, la respuesta para un canal MIMO formado por un conjunto de N_T antenas transmisoras y un conjunto de N_R antenas receptoras puede caracterizarse por una matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ cuyos elementos están compuestos de variables aleatorias gaussianas independientes, como sigue:

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(k) & h_{1,2}(k) & \Lambda & h_{1,N_T}(k) \\ h_{2,1}(k) & h_{2,2}(k) & \Lambda & h_{2,N_T}(k) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{N_R,1}(k) & h_{N_R,2}(k) & \Lambda & h_{N_R,N_T}(k) \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (1)}$$

En relación con el enlace descendente, el conjunto de N_T antenas transmisoras está en la estación base, y el conjunto de N_R antenas receptoras puede formarse en un solo terminal SIMO o MIMO (para el modo N-SIMO o MIMO) o en múltiples terminales MISO (para el modo N-MISO). Y en relación el enlace ascendente, el conjunto de antenas transmisoras está formada por las antenas usadas por todos los terminales de comunicación, y el conjunto de antenas receptoras está en la estación base. En la ecuación (1), $\underline{\mathbf{H}}(k)$ es la matriz de respuesta de canal para el canal MIMO para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia, y $h_{ij}(k)$ es el acoplamiento (es decir, la ganancia compleja) entre j -ésima antena transmisora y la i -ésima antena receptora para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia.

[0042] Cada grupo de subcanales de frecuencia puede incluir uno o más subcanales de frecuencia y corresponde a una banda de frecuencia particular del ancho de banda de sistema global. Dependiendo del diseño de sistema particular, puede haber (1) solo un grupo con la totalidad de N_F subcanales de frecuencia, o (2) N_F grupos, donde cada grupo tiene un único subcanal de frecuencia, o (3) cualquier número de grupos entre 1 y N_F . El número de grupos de subcanales de frecuencia, N_G , puede, por tanto, oscilar entre 1 y N_F , ambos inclusive (es decir, $1 \leq N_G \leq N_F$). Cada grupo puede incluir cualquier número de subcanales de frecuencia, y los N_G grupos pueden incluir el mismo o diferente número de subcanales de frecuencia. Además, cada grupo puede incluir cualquier combinación de subcanales de frecuencia (por ejemplo, los subcanales de frecuencia para un grupo no necesitan ser contiguos entre sí).

[0043] Como se muestra en la ecuación (1), la respuesta del canal MIMO para cada grupo de subcanales de frecuencia puede representarse con una matriz respectiva $\underline{\mathbf{H}}(k)$ que tiene $N_R \times N_T$ elementos correspondientes al número de antenas receptoras y al número de antenas transmisoras. Cada elemento de la matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$ describe la respuesta para un respectivo par de antenas de transmisión-recepción para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia. Para un canal de desvanecimiento plano (o cuando $N_G = 1$), se puede usar un valor complejo para todo el ancho de banda del sistema (es decir, para la totalidad de N_F subcanales de frecuencia) para cada par de antenas de transmisión-recepción.

[0044] En un entorno operativo real, la respuesta de canal varía típicamente a través del ancho de banda del sistema y se puede usar una caracterización de canal más detallada para el canal MIMO. Por tanto, para un canal de desvanecimiento selectivo de frecuencia, puede proporcionarse una matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ para cada

grupo de subcanales de frecuencia. De forma alternativa, una matriz de respuesta de impulso de canal, $\hat{\underline{\mathbf{H}}}(n)$ puede proporcionarse para el canal MIMO, donde cada elemento de esta matriz corresponde a una secuencia de valores indicativos de la respuesta de impulso muestreada para un par respectivo de antenas de transmisión-recepción.

[0045] El receptor puede estimar periódicamente la respuesta de canal para cada par de antenas de transmisión-recepción. Las estimaciones de canal pueden facilitarse de diversas formas, tal como, por ejemplo, con el uso de técnicas dirigidas a decisiones de señales piloto y/o de datos conocidas en la técnica. Las estimaciones de canal pueden comprender la estimación de respuesta de canal de valor complejo (por ejemplo, la ganancia y la fase) para cada grupo de subcanales de frecuencia de cada par de antenas de transmisión-recepción, como se muestra en la ecuación (1). Las estimaciones de canal proporcionan información acerca de las características de transmisión de (por ejemplo, qué velocidad de transferencia de datos es admitida por) cada subcanal espacial para cada grupo de subcanales de frecuencia.

[0046] La información proporcionada por las estimaciones de canal también se puede destilar en (1) una estimación de la relación señal/ruido e interferencia (SNR) posprocesada (descrita más adelante) para cada subcanal espacial de cada grupo de subcanales de frecuencia, y/o (2) alguna otra estadística que permita al transmisor seleccionar la velocidad apropiada para cada flujo de datos independiente. Este proceso de obtener la estadística esencial puede reducir la cantidad de datos necesarios para caracterizar un canal MIMO. Las ganancias de canal complejas y las SNR posprocesadas representan diferentes formas de información de estado de canal (CSI) que el receptor puede notificar al transmisor. En los sistemas dúplex por división de tiempo (TDD), el transmisor puede ser capaz de deducir o inferir parte de la información de estado de canal en base a la transmisión (por ejemplo, una señal piloto) del receptor, ya que puede haber suficiente grado de correlación entre el enlace descendente y el enlace ascendente para tales sistemas, como se describe más adelante. También pueden obtenerse y notificarse otras formas de CSI, descritas

posteriormente.

[0047] La CSI agregada recibida desde los receptores se puede usar para lograr un elevado caudal de tráfico asignando un conjunto apropiado de uno o más terminales a los canales de transmisión disponibles, de manera que puedan comunicarse simultáneamente con la estación base. Un planificador puede evaluar qué combinación específica de terminales proporciona el mejor rendimiento del sistema (por ejemplo, el mayor caudal de tráfico) sujeto a cualquier restricción y requisito del sistema.

[0048] Aprovechando las "firmas" espaciales y de frecuencia de los terminales individuales (es decir, sus estimaciones de respuesta de canal, que pueden depender de la frecuencia), el caudal de tráfico promedio puede aumentar en relación con el logrado por un solo terminal. Además, al aprovechar la diversidad de múltiples usuarios, el planificador puede identificar combinaciones de terminales "mutuamente compatibles" que pueden comunicarse al mismo tiempo en el mismo canal, mejorando eficazmente la capacidad del sistema en relación con la planificación de un solo usuario y la planificación aleatoria para múltiples usuarios.

[0049] Los terminales pueden planificarse para la transmisión de datos en base a diversos factores. Un conjunto de factores puede referirse a las limitaciones y requisitos del sistema, tales como la calidad de servicio (QoS) deseada, la latencia máxima, el rendimiento promedio, etc. Es posible que algunos o todos estos factores deban satisfacerse por terminal (es decir, en cada terminal) en un sistema de comunicación de acceso múltiple. Otro conjunto de factores puede referirse al rendimiento del sistema, que puede cuantificarse mediante un caudal de tráfico promedio del sistema o algunas otras indicaciones de rendimiento. Estos diversos factores se describen con más detalle a continuación.

[0050] En relación con el enlace descendente, el planificador puede (1) seleccionar el "mejor" conjunto de uno o más terminales para la transmisión de datos, (2) asignar los canales de transmisión disponibles a los terminales seleccionados, (3) asignar la potencia de transmisión de manera uniforme o no uniforme a través de los canales de transmisión asignados, y (4) determinar la velocidad apropiada para cada flujo de datos independiente que se transmitirá a los terminales seleccionados. En relación con el enlace ascendente, el planificador puede (1) seleccionar el mejor conjunto de uno o más terminales para la transmisión de datos, (2) asignar los canales de transmisión disponibles a los terminales seleccionados, (3) determinar el orden apropiado para procesar los flujos de datos a partir de estos terminales seleccionados (si se usa la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas en la estación base) y (4) determinar la velocidad para cada flujo de datos independiente de los terminales seleccionados. A continuación, se describen diversos detalles de la asignación de recursos para el enlace descendente y el enlace ascendente.

[0051] Para simplificar la planificación, a los terminales se les pueden asignar canales de transmisión (y posiblemente potencia de transmisión) en base a su prioridad. Inicialmente, los terminales activos se pueden clasificar por su prioridad, que puede determinarse en base a diversos factores, como se describe a continuación. Los N_x terminales de mayor prioridad pueden entonces considerarse en cada intervalo de planificación. Esto permite entonces que el planificador solo asigne los canales de transmisión disponibles a N_x terminales en lugar de todos los terminales activos. La asignación de recursos se puede simplificar aún más (1) seleccionando $N_x = N_s$ y asignando a cada terminal todos los subcanales de frecuencia de un subcanal espacial, o (2) seleccionando $N_x = N_c$ y asignando a cada terminal todos los subcanales espaciales de un grupo de subcanales de frecuencia, o (3) haciendo alguna otra simplificación. Las ganancias en el caudal de tráfico incluso con algunas de estas simplificaciones pueden ser sustanciales en comparación con el esquema de planificación TDM puro que asigna todos los canales de transmisión a un solo terminal para cada ranura de tiempo, particularmente si se considera en la asignación de recursos el desvanecimiento selectivo de frecuencia independiente de los N_x terminales.

[0052] En aras de la simplicidad, se realizan varias suposiciones en la siguiente descripción. En primer lugar, se supone que la potencia promedio recibida para cada flujo de datos independiente puede ajustarse para lograr una relación objetivo de energía por bit a ruido total e interferencia (E_b/N_t) después del procesamiento de señales en el receptor (que es el terminal para una transmisión de enlace descendente y la estación base para una transmisión de enlace ascendente). Esta E_b/N_t objetivo se denomina a menudo punto de ajuste de control de potencia (o simplemente, el punto de ajuste) y se selecciona para proporcionar un nivel particular de rendimiento (por ejemplo, un PER particular). El punto de ajuste puede lograrse mediante un mecanismo de control de potencia de bucle cerrado que ajusta la potencia de transmisión para cada flujo de datos (por ejemplo, en base a una señal de control de potencia del receptor). Para simplificar, se puede usar un punto de ajuste común para todos los flujos de datos recibidos en el receptor. De forma alternativa, se puede usar un punto de ajuste diferente para cada flujo de datos, y las técnicas descritas en el presente documento se pueden generalizar para cubrir este modo operativo. Además, para el enlace ascendente, se supone que las transmisiones simultáneas desde diferentes terminales están sincronizadas de modo que las transmisiones lleguen a la estación base dentro de una ventana de tiempo prescrita.

[0053] Para simplificar, se supone que el número de antenas receptoras es igual al número de antenas transmisoras (es decir, $N_R = N_T$) para la siguiente descripción de los modos N-SIMO y MIMO. Esta no es una condición necesaria ya que el análisis se aplica al caso en el que $N_R \geq N_T$. Para el modo N-MISO, se supone que el número de antenas receptoras en cada terminal MISO es igual a uno (es decir, $N_R = 1$). También para simplificar, se supone que el número de subcanales espaciales es igual al número de antenas transmisoras (es decir, $N_s = N_T$).

Asignación de recursos de enlace descendente

[0054] La asignación de recursos para el enlace descendente comprende (1) seleccionar uno o más conjuntos de terminales para la evaluación, (2) asignar los canales de transmisión disponibles a los terminales en cada conjunto y evaluar el rendimiento, y (3) identificar el mejor conjunto de terminales y sus asignaciones de canales de transmisión. Cada conjunto puede incluir varios terminales SIMO, varios terminales MISO, uno o más terminales MIMO o una combinación de terminales SIMO, MISO y MIMO. Todos o sólo un subconjunto de los terminales activos pueden considerarse para su evaluación, y estos terminales pueden seleccionarse para formar uno o más conjuntos para ser evaluados. Cada conjunto de terminales corresponde a una hipótesis. Para cada hipótesis, los canales de transmisión disponibles pueden asignarse a los terminales en la hipótesis en base a uno cualquiera de varios esquemas de asignación de canales. Los terminales con la mejor hipótesis pueden entonces planificarse para la transmisión de datos en una próxima ranura de tiempo. La flexibilidad tanto para seleccionar el mejor conjunto de terminales para la transmisión de datos como para asignar los canales de transmisión a los terminales seleccionados permite al planificador aprovechar el entorno de diversidad multiusuario para lograr un alto rendimiento tanto en canales de desvanecimiento plano como de desvanecimiento selectivo de frecuencia.

[0055] Para determinar la transmisión "óptima" a un conjunto de terminales, pueden proporcionarse SNR o algunas otras estadísticas suficientes para cada terminal. Para los modos N-SIMO y MIMO, donde ($N_R \geq N_T$), el procesamiento espacial se puede realizar en los terminales SIMO y MIMO para separar las señales transmitidas, y la estación base no necesita las firmas espaciales de los terminales para transmitir simultáneamente múltiples flujos de datos en los subcanales espaciales disponibles. Todo lo que puede ser necesario en la estación base es la SNR posprocesada asociada a la señal de cada antena transmisora de estación base. Para mayor claridad, en primer lugar, se describe la planificación de enlace descendente para terminales SIMO y MIMO, y la planificación de enlace descendente para terminales MISO se describe posteriormente.

Planificación de enlace descendente para terminales SIMO y MIMO

[0056] La planificación para terminales SIMO y MIMO puede realizarse en base a varios tipos de información de estado de canal, incluyendo una CSI total (por ejemplo, ganancias de canal complejas) y una CSI parcial (por ejemplo, SNR). Si la estadística que se va a usar para planificar terminales es SNR, entonces para cada conjunto de uno o más terminales que se evaluarán para la transmisión de datos en una ranura de tiempo próxima, una matriz de hipótesis $\underline{\Gamma}(k)$ de SNR posprocesadas para este terminal establecidas para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia puede expresarse como:

$$\underline{\Gamma}(k) = \begin{bmatrix} \gamma_{1,1}(k) & \gamma_{2,1}(k) & \Lambda & \gamma_{N_T,1}(k) \\ \gamma_{1,2}(k) & \gamma_{2,2}(k) & \Lambda & \gamma_{N_T,2}(k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{1,N_T}(k) & \gamma_{2,N_T}(k) & \Lambda & \gamma_{N_T,N_T}(k) \end{bmatrix}, \quad \text{Ec. (2)}$$

donde $\gamma_{ij}(k)$ es la SNR posprocesada para un flujo de datos (hipotéticamente) transmitido desde la j -ésima antena transmisora al i -ésimo terminal para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia. Un conjunto de N_G de tales matrices $\underline{\Gamma}(k)$, para $1 \leq k \leq N_G$, caracterizaría entonces la frecuencia completa y las dimensiones espaciales para este conjunto de terminales.

[0057] En cada terminal del conjunto que se está evaluando, N_T flujos de datos pueden transmitirse (hipotéticamente) desde las N_T antenas transmisoras para cada grupo de subcanales de frecuencia y recibirse por las N_R antenas receptoras de ese terminal. Las N_R señales recibidas en el terminal pueden procesarse usando ecualización espacial o espacio-temporal para separar los N_T flujos de datos transmitidos para cada grupo de subcanales de frecuencia, como se describe a continuación. La SNR de un flujo de datos posprocesado (es decir, después de la ecualización) puede estimarse y comprende la SNR posprocesada para ese flujo de datos. Para cada terminal, puede proporcionarse un conjunto de N_T SNR posprocesadas para los N_T flujos de datos que pueden ser recibidos por ese terminal para cada uno de los N_G grupos de subcanales de frecuencia.

[0058] En el modo N-SIMO, las N_T filas de la matriz de hipótesis $\underline{\Gamma}(k)$ corresponden a N_T vectores de SNR para N_T terminales diferentes para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia. En este modo, cada fila de la matriz de hipótesis $\underline{\Gamma}(k)$ proporciona la SNR de cada uno de los N_T (hipotéticos) flujos de datos de las N_T antenas transmisoras para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia para un terminal SIMO. En el modo MIMO, las N_T filas de la matriz de hipótesis $\underline{\Gamma}(k)$ corresponden a un solo vector de SNR para un solo terminal MIMO. Este vector SNR incluye las SNR para los N_T flujos de datos para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia, y puede repetirse N_T veces para formar la matriz $\underline{\Gamma}(k)$. Y en el modo mixto, para que un terminal MIMO particular tenga potencialmente asignado dos o más subcanales espaciales para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia, el vector de SNR de ese terminal puede repetirse de manera que el vector SNR aparezca en tantas filas de la matriz de hipótesis $\underline{\Gamma}(k)$ como el número de

subcanales espaciales que se asignarán al terminal (es decir, una fila por subcanal espacial).

[0059] De forma alternativa, en todos los modos de funcionamiento, se puede usar una fila en la matriz de hipótesis $\underline{\Gamma}(k)$ para cada terminal SIMO o MIMO, y el planificador se puede diseñar para marcar y evaluar estos diferentes tipos de terminales en consecuencia. En la siguiente descripción, se supone que la matriz de hipótesis $\underline{\Gamma}(k)$ incluye vectores SNR para N_T terminales, donde un terminal SIMO se representa como un solo terminal en la matriz y un terminal MIMO puede representarse como dos o más de los N_T terminales en la matriz.

[0060] Si la técnica de procesamiento de receptor de cancelación sucesiva se usa en un terminal para procesar las señales recibidas, entonces la SNR posprocesada lograda en el terminal para cada flujo de datos transmitido para un grupo de subcanales de frecuencia particular depende del orden en el que se detectan (es decir, se demodulan y se decodifican) los flujos de datos transmitidos para recuperar los datos transmitidos, como se describe más adelante. En este caso, se pueden proporcionar varios conjuntos de SNR para cada terminal para una pluralidad de posibles ordenaciones de detección. Entonces se pueden formar múltiples matrices de hipótesis $\underline{\Gamma}(k)$ para cada grupo de subcanales de frecuencia de cada conjunto de terminales, y estas matrices se pueden evaluar para determinar qué combinación específica de terminales y ordenación de detección proporciona el mejor rendimiento del sistema.

[0061] En cualquier caso, cada matriz de hipótesis $\underline{\Gamma}(k)$ incluye las SNR posprocesadas para un grupo de subcanales de frecuencia dado para un conjunto específico de terminales (es decir, hipótesis) a evaluar. Estas SNR posprocesadas representan las SNR que pueden lograr los terminales y se usan para evaluar la hipótesis.

[0062] En los modos N-SIMO y MIMO, cada antena transmisora del conjunto de antenas de la estación base puede usarse para transmitir un flujo de datos diferente en cada grupo de subcanales de frecuencia usando información de estado de canal (por ejemplo, las SNR o algunas otras estadísticas) obtenida por los terminales en el área de cobertura. El alto rendimiento se consigue en base a la CSI, que se usa para planificar terminales y procesar datos.

[0063] Pueden usarse diversos esquemas de planificación de enlace descendente para asignar recursos (por ejemplo, canales de transmisión) a los terminales activos. Estos diversos esquemas incluyen (1) un esquema de planificación "exhaustivo" que puede asignar cada canal de transmisión a un terminal específico de manera que se logre un rendimiento "óptimo", según lo determinado por algunas métricas, (2) un esquema de planificación basado en prioridades que asigna canales de transmisión en base a la prioridad de los terminales activos, (3) un esquema de planificación FDM-TDM que asigna todos los subcanales espaciales de cada grupo de subcanales de frecuencia a un terminal específico, y (4) un esquema de planificación SDMA-TDM que asigna todos los subcanales de frecuencia de cada subcanal espacial a un terminal específico. Estos diversos esquemas de planificación de enlace descendente se describen con más detalle posteriormente. También pueden usarse otros esquemas de planificación que pueden proporcionar un rendimiento bueno o casi óptimo, y que pueden requerir menos procesamiento y/o estadísticas, y esto está dentro del alcance de la invención.

[0064] La FIG. 2 es un diagrama de flujo de un proceso 200 para planificar terminales para la transmisión de datos de enlace descendente. El proceso 200 se puede usar para implementar diversos esquemas de planificación de enlace descendente, como se describe a continuación. Para mayor claridad, en primer lugar, se describe el proceso general y los detalles de algunas de las etapas del proceso se describen posteriormente.

[0065] En un modo de realización, los canales de transmisión se asignan a los terminales activos evaluando un grupo de subcanales de frecuencia a la vez. El primer grupo de subcanales de frecuencia se considera estableciendo el índice de frecuencia $k = 1$, en la etapa 210. Comenzando en la etapa 212, los subcanales espaciales para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia se asignan a continuación a los terminales para la transmisión de enlace descendente. Para los modos N-SIMO y MIMO en el enlace descendente, la asignación de subcanales espaciales a los terminales es equivalente a la asignación de las antenas transmisoras de la estación base a los terminales, ya que se supone que $N_S = N_T$.

[0066] Inicialmente, en la etapa 212 se inicializan una o más métricas de rendimiento que se usarán para seleccionar el mejor conjunto de terminales para la transmisión de enlace descendente. Se pueden usar diversas métricas de rendimiento para evaluar los conjuntos de terminales y algunas de las mismas se describen con más detalle posteriormente. Por ejemplo, se puede usar una métrica de rendimiento que maximice el caudal de tráfico del sistema.

[0067] A continuación, se selecciona un nuevo conjunto de uno o más terminales activos de entre todos los terminales activos y se considera para la asignación de antena transmisora, en la etapa 214. Este conjunto de terminales forma una hipótesis a evaluar. Se pueden usar varias técnicas para limitar el número de terminales activos a considerar para la planificación, lo que luego reduce el número de hipótesis a evaluar, como se describe a continuación. Para cada terminal en la hipótesis, en la etapa 216 se recupera el vector SNR, $\underline{\gamma}_i(k) = [\gamma_{i,1}(k), \gamma_{i,2}(k), \dots, \gamma_{i,N_T}(k)]$, indicativo de las SNR posprocesadas para las N_T antenas transmisoras en el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia. En el modo MIMO se selecciona un solo terminal MIMO para su evaluación para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia, y se recupera un vector SNR para este terminal. En el modo N-SIMO, se seleccionan N_T terminales SIMO para su evaluación y se recuperan N_T vectores SNR para estos terminales. Y en el modo mixto, los vectores SNR se recuperan para los terminales SIMO y MIMO en el conjunto seleccionado. Para cada terminal MIMO en los modos MIMO y mixto,

el vector SNR se puede repetir (o marcar apropiadamente) de manera que el número de vectores SNR para este terminal sea igual al número de antenas transmisoras que se asignarán al terminal. Los vectores SNR para todos los terminales seleccionados en la hipótesis se usan para formar la matriz de hipótesis $\Gamma(k)$ que se muestra en la ecuación (2).

[0068] Para cada matriz de hipótesis $\Gamma(k)$ para N_T antenas transmisoras y N_T terminales, hay N_T factorial posibles combinaciones de asignaciones de antenas transmisoras a terminales (es decir, $N_T!$ subhipótesis). Dado que un terminal MIMO se representa como múltiples terminales en la matriz $\Gamma(k)$, hay menos subhipótesis si la matriz de hipótesis $\Gamma(k)$ incluye uno o más terminales MIMO. En cualquier caso, se selecciona una nueva combinación particular de asignaciones de antena/terminal para su evaluación, en la etapa 218. Esta combinación incluye una antena asignada a cada uno de los N_T terminales. La asignación de antena puede realizarse de manera que finalmente se evalúen todas las posibles combinaciones de asignaciones de antena/terminal. De forma alternativa, se puede usar un esquema específico para asignar antenas a los terminales, como se describe a continuación. La nueva combinación de asignaciones de antena/terminal forma una subhipótesis que debe evaluarse.

[0069] A continuación, se evalúa la subhipótesis y se determina la métrica de rendimiento (por ejemplo, el caudal de tráfico del sistema) correspondiente a esta subhipótesis (por ejemplo, en base a las SNR para la subhipótesis), en la etapa 220. La métrica de rendimiento correspondiente a la mejor subhipótesis se actualiza a continuación para reflejar la métrica de rendimiento para la subhipótesis actual, en la etapa 222. Específicamente, si la métrica de rendimiento para la subhipótesis actual es mejor que la de la mejor subhipótesis, entonces la subhipótesis actual se convierte en la nueva mejor subhipótesis, y se guarda la métrica de rendimiento, métricas de terminal y asignaciones antena/terminal correspondientes a esta subhipótesis. Las métricas de rendimiento y de terminal se describen posteriormente.

[0070] A continuación, se determina si se han evaluado o no todas las subhipótesis de la hipótesis actual, en la etapa 224. Si no se han evaluado todas las subhipótesis, entonces el proceso vuelve a la etapa 218 y se selecciona para su evaluación una combinación diferente y aún no evaluada de asignaciones antena/terminal. Las etapas 218 a 224 se repiten para cada subhipótesis que se va a evaluar.

[0071] Si se han evaluado todas las subhipótesis de la hipótesis actual, en la etapa 224, a continuación se determina si se han considerado o no todas las hipótesis para el grupo de subcanales de frecuencia actual, en la etapa 226. Si no se han considerado todas las hipótesis, entonces el proceso vuelve a la etapa 214 y se selecciona un conjunto de terminales diferente y aún no considerado para su evaluación. Las etapas 214 a 226 se repiten para cada hipótesis a considerar para el grupo de subcanales de frecuencia actual.

[0072] Si se han evaluado todas las hipótesis para el grupo de subcanales de frecuencia actual, en la etapa 226, entonces se guardan los resultados de la mejor subhipótesis para este grupo de subcanales de frecuencia, en la etapa 228. La mejor subhipótesis corresponde a un conjunto específico de uno o más terminales activos que proporciona el mejor rendimiento para el grupo de subcanales de frecuencia.

[0073] Si el esquema de planificación requiere que se mantengan otras métricas de sistema y de terminal (por ejemplo, el caudal de tráfico promedio durante las últimas N_p ranuras de tiempo, la latencia para la transmisión de datos, etc.), entonces estas métricas se actualizan y pueden guardarse, en la etapa 230. Las métricas de terminal se pueden usar para evaluar el rendimiento de los terminales individuales y se describen posteriormente.

[0074] A continuación, en la etapa 232, se determina si se han asignado o no todos los subcanales de frecuencia para la transmisión de enlace descendente. Si no se han asignado todos los subcanales de frecuencia, entonces se considera el siguiente grupo de subcanales de frecuencia incrementando el índice k (es decir, $k = k+1$), en la etapa 234. A continuación, el proceso vuelve a la etapa 212 para asignar los subcanales espaciales de este nuevo grupo de subcanales de frecuencia a los terminales para la transmisión de enlace descendente. Las etapas 212 a 234 se repiten para cada grupo de subcanales de frecuencia que se va a asignar.

[0075] Si se han asignado todos los grupos de subcanales de frecuencia, en la etapa 232, entonces se determinan las velocidades de transferencia de datos y los esquemas de codificación y modulación para los terminales en la mejor subhipótesis para cada grupo de subcanales de frecuencia (por ejemplo, en base a sus SNR posprocesadas), en la etapa 236. Se puede formar y comunicar una planificación indicativa de los terminales activos específicos seleccionados para la transmisión de datos de enlace descendente, sus canales de transmisión asignados, la(s) ranura(s) de tiempo planificada(s), las velocidades de transferencia de datos, los esquemas de codificación y modulación, otra información o cualquier combinación de los mismos, a estos terminales (por ejemplo, por medio de un canal de control) antes de la ranura de tiempo planificada, también en la etapa 236. De forma alternativa, los terminales activos pueden realizar una detección "ciega" e intentar detectar todos los flujos de datos transmitidos para determinar cuáles, si los hay, de los flujos de datos están destinados a los mismos. La planificación de enlace descendente se realiza típicamente para cada intervalo de planificación, que puede corresponder a una o más ranuras de tiempo.

[0076] El proceso mostrado en la FIG. 2 puede usarse para implementar los diversos esquemas de planificación de

enlace descendente descritos anteriormente. En el esquema de planificación exhaustivo, cada canal de transmisión disponible puede asignarse a cualquier terminal activo. Esto puede lograrse considerando (1) todos los posibles conjuntos de terminales (es decir, todas las hipótesis posibles) para cada grupo de subcanales de frecuencia y (2) todas las posibles asignaciones de antena para cada conjunto de terminales (es decir, todas las subhipótesis posibles). Este esquema puede proporcionar el mejor rendimiento y la mayor flexibilidad, pero también requiere el mayor procesamiento para planificar terminales para la transmisión de datos de enlace descendente.

[0077] En relación con el esquema de planificación basado en prioridades, los terminales activos que se considerarán para la asignación de canales de transmisión se pueden seleccionar en base a su prioridad, y la métrica de rendimiento también se puede hacer en función de la prioridad del terminal, como se describe más adelante. Este esquema puede reducir el número de terminales a considerar para la asignación de canales de transmisión, lo que reduce por tanto la complejidad de planificación. En el esquema de planificación FDM-TDM, a un terminal MIMO se le asignan todos los subcanales espaciales para cada grupo de subcanales de frecuencia. En este caso, la matriz de hipótesis $\Gamma(k)$ incluye un solo vector de SNR posprocesadas para un terminal MIMO, y solo hay una subhipótesis para cada hipótesis. Y para el esquema de planificación SDMA-TDM, todos los subcanales de frecuencia de cada subcanal espacial se asignan a un solo terminal, que puede ser un terminal SIMO o MIMO. En este esquema, las etapas 210, 212, 232 y 234 de la FIG. 2 pueden omitirse.

[0078] En una matriz de hipótesis $\Gamma(k)$ dada, el planificador evalúa diversas combinaciones de emparejamientos entre antenas transmisoras y terminales (es decir, subhipótesis) para determinar las mejores asignaciones antena/terminal para la hipótesis. Se pueden usar varios esquemas para asignar antenas transmisoras a los terminales para lograr varios objetivos del sistema, tales como equidad, alto rendimiento, etc.

[0079] En un esquema de asignación de antena, todas las posibles subhipótesis se evalúan en base a una métrica de rendimiento particular, y se selecciona la subhipótesis con la mejor métrica de rendimiento. Para cada matriz de hipótesis $\Gamma(k)$ hay N_T factorial (es decir, $N_T!$) posibles subhipótesis que pueden ser evaluadas. Cada subhipótesis corresponde a una asignación específica de cada antena transmisora a un terminal particular. Por tanto, cada subhipótesis puede representarse con un vector de SNR posprocesadas, lo que puede expresarse como:

$$\gamma_{\text{sub-hyp}}(k) = \{\gamma_{a,1}(k), \gamma_{b,2}(k), \dots, \gamma_{r,N_T}(k)\} , \quad \text{Ec. (3)}$$

donde $\gamma_{i,j}(k)$ es la SNR posprocesada para el flujo de datos desde la j -ésima antena transmisora al i -ésimo terminal para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia, y los subíndices $\{a, b, \dots, r\}$ identifican los terminales específicos en los emparejamientos de antena transmisora/terminal para la subhipótesis.

[0080] Cada subhipótesis se asocia además a una métrica de rendimiento, $R_{\text{sub-hyp}}(k)$, que puede depender de diversos factores. Por ejemplo, una métrica de rendimiento basada en las SNR posprocesadas puede expresarse como:

$$R_{\text{sub-hyp}}(k) = f(\gamma_{\text{sub-hyp}}(k)) , \quad \text{Ec. (4)}$$

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

[0081] Se pueden usar diversas funciones para formular la métrica de rendimiento. En un modo de realización, se puede usar una función del caudal de tráfico alcanzable para todas las N_T antenas transmisoras para la subhipótesis como métrica de rendimiento, lo que puede expresarse como:

$$f(\gamma_{\text{sub-hyp}}(k)) = \sum_{j=1}^{N_T} r_j(k) , \quad \text{Ec. (5)}$$

donde $r_j(k)$ es el rendimiento asociado a la j -ésima antena transmisora en la subhipótesis para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia, y puede expresarse como:

$$r_j(k) = c_j \cdot \log_2(1 + \gamma_j(k)) , \quad \text{Ec. (6)}$$

donde c_j es una constante positiva que refleja la fracción de la capacidad teórica lograda por el esquema de codificación y modulación seleccionado para el flujo de datos transmitido en la j -ésima antena transmisora, y $\gamma_j(k)$ es la SNR posprocesada para el j -ésimo flujo de datos en el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia.

[0082] Para simplificar la planificación, la asignación de recursos puede realizarse en base a grupos de múltiples subcanales de frecuencia en lugar de grupos de subcanales de frecuencia individuales. Incluso si un grupo dado incluye múltiples subcanales de frecuencia, la naturaleza selectiva de frecuencia de la respuesta de canal puede

considerarse al asignar recursos a los terminales. Esto se puede lograr evaluando la métrica de rendimiento en base a la respuesta para el grupo de subcanales de frecuencia. Por ejemplo, la asignación de recursos se puede realizar en base a grupos de N_k subcanales de frecuencia, donde $N_k \geq 2$. La respuesta de canal acerca de los N_k subcanales de frecuencia puede usarse entonces para evaluar la métrica de rendimiento. Si la métrica de rendimiento es el caudal de tráfico, entonces la suma de las velocidades alcanzables en la ecuación (5) se puede realizar tanto en las antenas transmisoras como en los subcanales de frecuencia, de la siguiente manera:

$$f(\gamma_{\text{sub-hyp}}(k)) = \sum_{j=1}^{N_T} \sum_{i=1}^{N_k} r_j(i) ,$$

donde $r_j(i)$ es el caudal de tráfico asociado a la j -ésima antenna transmisora en la subhipótesis para el i -ésimo subcanal de frecuencia, y N_k es el número de subcanales de frecuencia para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia. Por tanto, incluso si la planificación y la asignación de recursos se realizan para grupos de múltiples subcanales de frecuencia, el rendimiento de los subcanales de frecuencia individuales en cada grupo puede considerarse en la planificación.

[0083] El primer esquema de asignación de antenna descrito anteriormente y usado en la FIG. 2 representa un esquema específico que puede evaluar todas las posibles combinaciones de asignaciones de antenas transmisoras a terminales. El número de posibles subhipótesis a evaluar por el planificador para cada hipótesis puede ser tan grande como $N_T!$, lo que puede dar como resultado un gran número de subhipótesis totales a evaluar, ya que también se puede considerar un gran número de hipótesis.

[0084] El esquema de planificación mostrado en la FIG. 2 realiza una búsqueda exhaustiva para determinar la subhipótesis que proporciona el rendimiento "óptimo" del sistema, cuantificado por la métrica de rendimiento usada para seleccionar la mejor subhipótesis. Pueden usarse varias técnicas para reducir la complejidad del procesamiento para asignar antenas transmisoras a los terminales. Una de estas técnicas se describe a continuación, y otras también pueden usarse y están dentro del alcance de la invención. Estas técnicas también pueden proporcionar un alto rendimiento del sistema al tiempo que reducen la cantidad de procesamiento necesario para asignar antenas a los terminales.

[0085] En un segundo esquema de asignación de antenna, se usa un criterio de máximo-máximo ("max-max") para asignar antenas transmisoras a los terminales en la hipótesis que se evalúa. Usando este criterio max-max, cada antenna transmisora se asigna al terminal que consigue la mejor SNR para la antenna transmisora. La asignación de antenna puede realizarse para cada grupo de subcanales de frecuencia y para una antenna transmisora a la vez.

[0086] La FIG. 3 es un diagrama de flujo de un proceso 218a para asignar antenas transmisoras a terminales para un grupo de subcanales de frecuencia particular usando el criterio max-max. El proceso 218a se realiza para una hipótesis particular, que corresponde a un conjunto específico de uno o más terminales activos a evaluar. El proceso 218a puede usarse para la etapa 218 en la FIG. 2, en cuyo caso solo se evalúa una subhipótesis para cada hipótesis en el proceso 200.

[0087] Inicialmente, se determina la SNR máxima en la matriz de hipótesis $\underline{\Gamma}(k)$, en la etapa 312. Esta SNR máxima corresponde a un emparejamiento específico de antenna transmisora/terminal, y la antenna transmisora se asigna a este terminal, en la etapa 314. A continuación, esta antenna transmisora y terminal se eliminan de la matriz $\underline{\Gamma}(k)$, y la matriz se reduce a la dimensión $(N_T-1) \times (N_T-1)$ al eliminarse tanto la columna correspondiente a la antenna transmisora como la fila correspondiente al terminal recién asignado, en la etapa 316.

[0088] En la etapa 318, se determina si se han asignado o no todas las antenas transmisoras en la hipótesis. Si se han asignado todas las antenas transmisoras, entonces se proporcionan las asignaciones de antenna, en la etapa 320, y el proceso termina. De lo contrario, el proceso vuelve a la etapa 312 y se asigna otra antenna transmisora de manera similar.

[0089] La Tabla 1 muestra una matriz $\underline{\Gamma}(k)$ de ejemplo de SNR obtenida por los terminales en un sistema MIMO 4x4 en el que la estación base incluye cuatro antenas transmisoras y cada terminal incluye cuatro antenas receptoras. En el esquema de asignación de antenna basado en el criterio max-max, la mejor SNR (16 dB) en la matriz 4x4 original se logra mediante la antenna transmisora 3 y se asigna al terminal 1, como se indica en la caja sombreada en la tercera fila de la cuarta columna de la tabla. La antenna transmisora 3 y el terminal 1 se eliminan de la matriz. La mejor SNR (14 dB) en la matriz reducida 3x3 se logra mediante las antenas transmisoras 1 y 4, que se asignan respectivamente a los terminales 3 y 2. La antenna transmisora restante 2 se asigna entonces al terminal 4.

Tabla 1

SNR (dB)	Antena transmisora			
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

[0090] La Tabla 2 muestra las asignaciones de antena usando el criterio max-max para la matriz $\Gamma(k)$ de ejemplo que se muestra en la Tabla 1. En el terminal 1, la mejor SNR (16 dB) se logra cuando se procesa la señal transmitida desde la antena transmisora 3. Las mejores antenas transmisoras para los otros terminales también se indican en la Tabla 2. El planificador puede entonces usar esta información para seleccionar el esquema de codificación y modulación apropiado a usar para la transmisión de datos.

Tabla 2

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

[0091] Una vez que se han realizado las asignaciones de antena para una matriz de hipótesis particular $\Gamma(k)$ usando el criterio max-max, se puede determinar la métrica de rendimiento (por ejemplo, el caudal de tráfico de sistema) correspondiente a esta hipótesis (por ejemplo, en base a las SNR correspondientes a las asignaciones de antena), como se muestra en las ecuaciones (4) a (6). Esta métrica de rendimiento se actualiza para cada hipótesis en un grupo de subcanales de frecuencia particular. Cuando se han evaluado todas las hipótesis para el grupo de subcanales de frecuencia, se selecciona el mejor conjunto de terminales y asignaciones de antena para la transmisión de datos de enlace descendente en el grupo de subcanales de frecuencia en una ranura de tiempo próxima. La planificación puede llevarse a cabo para cada uno de los N_G grupos de subcanales de frecuencia.

[0092] El esquema de planificación de enlace descendente descrito en las FIGS. 2 y 3 representa un esquema específico que evalúa diversas hipótesis correspondientes a varios conjuntos posibles de terminales activos (que pueden incluir terminales SIMO y/o MIMO) que desean una transmisión de datos de enlace descendente en una ranura de tiempo próxima. El número total de hipótesis a evaluar por el 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:

$$N_{hyp} = N_G \cdot \binom{N_U}{N_T} = \frac{N_G \cdot N_U!}{(N_U - N_T)! N_T!}, \quad \text{Ec. (7)}$$

donde N_U es el número de terminales activos que se considerarán para la planificación. Por ejemplo, si $N_G = 16$, $N_U = 8$ y $N_T = 4$, entonces $N_{hyp} = 1120$. Se puede usar una búsqueda exhaustiva para determinar la hipótesis particular y las asignaciones de antena particulares que proporcionan el mejor rendimiento del sistema, cuantificado por la métrica de rendimiento usada para seleccionar las mejores hipótesis y asignaciones de antena.

[0093] Como se indicó anteriormente, también se pueden implementar otros esquemas de planificación de enlace descendente que tengan una complejidad reducida. Estos esquemas de planificación también pueden proporcionar un alto rendimiento de sistema al tiempo que reducen la cantidad de procesamiento requerido para planificar terminales para la transmisión de datos de enlace descendente.

[0094] En el esquema de planificación basado en prioridades, los terminales activos se planifican para la transmisión de datos en base a su prioridad. La prioridad de cada terminal activo puede deducirse en base a una o más métricas (por ejemplo, caudal de tráfico promedio), restricciones y requisitos del sistema (por ejemplo, latencia máxima), otros factores o una combinación de los mismos, como se describe más adelante. Se puede mantener una lista para todos los terminales activos que deseen la transmisión de datos en una ranura de tiempo próxima. Cuando un terminal desea la transmisión de datos de enlace descendente, se añade a la lista y sus métricas se inicializan (por ejemplo, a cero). Las métricas de cada terminal de la lista se actualizan posteriormente en cada ranura de tiempo. Una vez que un terminal ya no desea la transmisión de datos, se elimina de la lista.

[0095] Para cada grupo de subcanales de frecuencia en cada ranura de tiempo, todos o un subconjunto de los terminales de la lista pueden considerarse para la planificación. El número específico de terminales a considerar se puede seleccionar en base a diversos factores. En un modo de realización, solo se seleccionan los N_T terminales de mayor prioridad para la transmisión de datos. En otro modo de realización, los N_x terminales de mayor prioridad de la lista se consideran para la planificación, donde $N_x > N_T$. Un terminal MIMO puede representarse como múltiples terminales cuando se seleccionan los N_T o N_x terminales de mayor prioridad para la planificación. Por ejemplo, si $N_T = 4$ y cuatro flujos de datos independientes se transmiten desde la estación base para un grupo de subcanales de frecuencia dado, entonces se puede seleccionar un terminal SIMO junto con un terminal MIMO a los que asignar tres subcanales espaciales (en cuyo caso el terminal MIMO representa eficazmente tres terminales en la selección de los cuatro terminales de mayor prioridad).

[0096] La FIG. 4 es un diagrama de flujo para un esquema de planificación de enlace descendente basado en prioridades 400 en el que se considera un conjunto de N_T terminales de mayor prioridad para la planificación de cada grupo de subcanales de frecuencia. Inicialmente, el primer grupo de subcanales de frecuencia se considera estableciendo el índice de frecuencia $k = 1$, en la etapa 410. Los subcanales espaciales para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia se asignan a continuación a los terminales para la transmisión de enlace descendente, comenzando en la etapa 412.

[0097] 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 activos restantes de la lista no se consideran para la planificación de este grupo de subcanales de frecuencia en este intervalo de planificación. A continuación, se recuperan las estimaciones de canal para cada terminal seleccionado, en la etapa 414. Por ejemplo, las SNR posprocesadas para los N_T terminales seleccionados pueden recuperarse y usarse para formar la matriz de hipótesis $\Gamma(k)$.

[0098] Las N_T antenas transmisoras se asignan después a los N_T terminales seleccionados en base a las estimaciones de canal y usando una cualquiera de varios esquemas de asignación de antena, en la etapa 416. Por ejemplo, las asignaciones de antena pueden basarse en una búsqueda exhaustiva o en el criterio max-max descrito anteriormente. En otro esquema de asignación de antenas, las antenas transmisoras se asignan a los terminales de manera que sus prioridades se normalicen lo más cerca posible, después de que se actualicen las métricas de terminal.

[0099] Las velocidades de transferencia de datos y los esquemas de codificación y modulación para los terminales se determinan entonces en base a las asignaciones de antena, en la etapa 418. Las métricas de los terminales planificados (y no planificados) en la lista se actualizan para reflejar la transmisión de datos planificada (y la no transmisión, respectivamente), y las métricas de sistema también se actualizan, en la etapa 420.

[0100] A continuación, se determina si se han asignado o no todos los subcanales de frecuencia para la transmisión de enlace descendente, en la etapa 422. Si no se han asignado todos los subcanales de frecuencia, entonces se considera el siguiente grupo de subcanales de frecuencia incrementando el índice k (es decir, $k = k+1$), en la etapa 424. A continuación, el proceso vuelve a la etapa 412 para asignar los subcanales espaciales de este nuevo grupo de subcanales de frecuencia al mismo conjunto de terminales activos o a uno diferente. Las etapas 412 a 424 se repiten para cada grupo de subcanales de frecuencia que se va a asignar.

[0101] Si se han asignado todos los grupos de subcanales de frecuencia, en la etapa 422, entonces una planificación indicativa de los terminales activos específicos seleccionados para la transmisión de datos de enlace descendente, sus canales de transmisión asignados, la(s) ranura(s) de tiempo planificada(s), las velocidades de transferencia de datos, los esquemas de codificación y modulación, y así sucesivamente, o cualquier combinación de los mismos, puede formarse y comunicarse a estos terminales, en la etapa 426. A continuación, el proceso finaliza para este intervalo de planificación.

[0102] Como se indica anteriormente, las antenas transmisoras pueden asignarse a los terminales seleccionados para cada grupo de subcanales de frecuencia en base a diversos esquemas. En un esquema de asignación de antena, las antenas transmitidas se asignan para lograr un alto rendimiento del sistema y en base a la prioridad de los terminales.

[0103] La Tabla 3 muestra un ejemplo de las SNR posprocesadas obtenidas por cada terminal en una hipótesis que se está considerando, que es para un grupo de subcanales de frecuencia específico. En el terminal 1, la mejor SNR se logra cuando se detecta el flujo de datos transmitido desde la antena transmisora 3, como se indica mediante la caja sombreada en la fila 3, columna 4 de la tabla. Las mejores antenas transmisoras para otros terminales en la hipótesis también se indican mediante el sombreado en las cajas.

Tabla 3

SNR (dB)	Antena transmisora			
Terminal	1	2	3	4

Tabla 3

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

[0104] Si cada terminal identifica una antena transmisora diferente de la que se detecta la mejor SNR posprocesada, entonces las antenas transmisoras pueden asignarse a los terminales basándose en sus mejores SNR posprocesadas. En relación con el ejemplo mostrado en la Tabla 3, el terminal 1 puede asignarse a la antena transmisora 3 y el terminal 2 puede asignarse a la antena transmisora 2.

[0105] Si más de un terminal prefiere la misma antena transmisora, entonces el planificador puede determinar las asignaciones de antena en base a varios criterios (por ejemplo, equidad, métrica de rendimiento y otros). Por ejemplo, la Tabla 3 indica que las mejores SNR posprocesadas para los terminales 3 y 4 se producen para el flujo de datos transmitido desde la misma antena transmisora 1. Si el objetivo es maximizar el caudal de tráfico, el planificador puede asignar la antena transmisora 1 al terminal 3 y la antena transmisora 2 al terminal 4. Sin embargo, si se asignan antenas para lograr equidad, entonces la antena transmisora 1 puede asignarse al terminal 4 si el terminal 4 tiene mayor prioridad que el terminal 3.

[0106] La planificación para terminales MIMO también se puede realizar en base a una CSI total. En este caso, la estadística que se usará para planificar terminales son las ganancias de canal complejas entre las antenas transmisoras de la estación base y las antenas receptoras del terminal, que se usan para formar la matriz de respuesta de canal, $\underline{\mathbf{H}}(k)$, que se muestra en la ecuación (1). A continuación, la planificación se realiza de manera que se seleccione un conjunto de firmas espaciales mutuamente compatibles para cada grupo de subcanales de frecuencia. La planificación de terminales basada en la matriz de respuesta de canal, $\underline{\mathbf{H}}(k)$, se describe con más detalle posteriormente.

Planificación de enlace descendente para terminales MISO

[0107] En el modo N-MISO, donde ($N_R < N_T$), las ganancias de canal complejas entre las antenas transmisoras en la estación base y la(s) antena(s) receptora(s) en los terminales pueden usarse para formar la matriz de respuesta de canal, $\underline{\mathbf{H}}(k)$, que se muestra en la ecuación (1) para cada conjunto de terminales MISO a evaluar. La selección de terminales MISO para la transmisión de enlace descendente se realiza a continuación con respecto a los terminales activos, y el objetivo de la selección son firmas espaciales mutuamente compatibles en la banda de interés.

[0108] En el enlace descendente en el modo N-MISO multiusuario, la estación base emplea N_T antenas transmisoras y (para simplificar) cada uno de los N_U terminales MISO a considerar para la planificación del enlace descendente emplea una única antena receptora (es decir, $N_R = 1$). En este caso, la estación base puede dar servicio, simultáneamente, a un máximo de N_T terminales en cualquier grupo de subcanales de frecuencia dado (es decir, $N_U \leq N_T$). El modelo del canal MISO para el terminal i puede expresarse como:

$$y_i(k) = \underline{\mathbf{H}}_i(k)\underline{\mathbf{x}}(k) + n_i(k) \quad , \quad \text{Ec. (8)}$$

donde

$y_i(k)$ es el símbolo recibido por el i -ésimo terminal, para $i \in \{1, \dots, N_U\}$, en el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia;

$\underline{\mathbf{x}}(k)$ es el vector transmitido (es decir, $\underline{\mathbf{x}} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_{N_T}]^T$), donde $\{x_j\}$ es la entrada transmitida desde la j -ésima antena transmisora para $j \in \{1, \dots, N_T\}$, y para cualquier matriz, $\mathbf{M}$, $\mathbf{M}^T$ denota la transpuesta de $\mathbf{M}$;

$\underline{\mathbf{H}}_i(k)$ es el vector de respuesta de canal $1 \times N_T$ para el canal MISO del i -ésimo terminal para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia, donde el elemento $h_{i,j}$ es el acoplamiento (es decir, la ganancia compleja) entre la j -ésima antena transmisora y la antena receptora del i -ésimo terminal, para $i \in \{1, \dots, N_U\}$ y $j \in \{1, \dots, N_T\}$; y

$n_i(k)$ es el ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN) para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia del terminal i -ésimo, que tiene una media de 0 y una varianza de σ_i^2 .

[0109] Para simplificar, se supone que cada grupo de subcanales de frecuencia es un canal de banda estrecha con desvanecimiento plano que puede representarse mediante un valor complejo constante. Por lo tanto, los elementos del vector de respuesta de canal, $\underline{\mathbf{H}}_i(k)$, para $i \in \{1, \dots, N_U\}$, son escalares. Además, se supone que existe un límite de potencia máxima en cada antena transmisora, que se denota como $P_{\max, j}$, para $j \in \{1, \dots, N_T\}$. La potencia de transmisión en la antena j en un momento dado se denota como P_j , donde $P_j \leq P_{\max, j}$.

[0110] Los N_T flujos de datos transmitidos desde las N_T antenas transmisoras para cada grupo de subcanales de frecuencia pueden interferir entre sí en la antena receptora de cada terminal de acuerdo con los vectores de respuesta de canal, $\underline{\mathbf{H}}_i(k)$. Sin ningún procesamiento previo en la estación base, los diferentes flujos de datos destinados a diferentes terminales MISO están sujetos a interferencia, lo que se conoce como interferencia de acceso múltiple (MAI). Debido a que cada terminal MISO solo emplea una antena receptora, todo el procesamiento espacial destinado a combatir el canal y la MAI debe realizarse en el transmisor.

[0111] Si la estación base conoce el vector de respuesta de canal, $\underline{\mathbf{H}}_i(k)$, para cada terminal MISO que se considerará para la planificación de enlace descendente (es decir, información completa de estado de canal), una técnica para eliminar o reducir la MAI es mediante el uso de la inversión de matriz de correlación de canal (CCMI).

[0112] El vector de transmisión en la estación base es $\underline{\mathbf{x}}(k) = [x_1(k) \ x_2(k) \ \dots \ x_{N_T}(k)]^T$, donde $\{x_j(k)\}$ es la entrada transmitida desde la j -ésima antena transmisora para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia. Denotando el flujo de datos destinado a la terminal i como $d_i(k)$, el vector de datos concreto es $\underline{\mathbf{d}}(k) = [d_1(k) d_2(k) \dots d_{N_U}(k)]^T$, donde la relación entre el vector de datos y el vector transmitido se puede expresar como:

$$\underline{\mathbf{x}}(k) = \underline{\mathbf{A}}(k) \underline{\mathbf{S}}(k) \underline{\mathbf{d}}(k) \quad , \quad \text{Ec. (9)}$$

donde $\underline{\mathbf{A}}(k)$ es una matriz CCMI $N_T \times N_U$ y $\underline{\mathbf{S}}(k)$ es una matriz de escalamiento $N_U \times N_U$. Se puede considerar que la matriz CCMI incluye varios vectores de orientación, uno para cada terminal MISO, y cada vector de orientación se utiliza para generar un haz para un terminal MISO respectivo. La técnica CCMI descorrelaciona los flujos de datos para los terminales MISO, y la solución para $\underline{\mathbf{A}}(k)$ puede expresarse como:

$$\underline{\mathbf{A}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^T(k) (\underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{H}}^T(k))^{-1} \quad , \quad \text{Ec. (10)}$$

$$\underline{\mathbf{H}}(k) = \begin{bmatrix} \underline{\mathbf{H}}_1(k) \\ \underline{\mathbf{H}}_2(k) \\ \vdots \\ \underline{\mathbf{H}}_{N_U}(k) \end{bmatrix}$$

donde es una matriz $N_U \times N_T$ que contiene los vectores de respuesta de canal del conjunto de N_U terminales MISO que se están considerando para la planificación del enlace descendente para la hipótesis actual.

[0113] La solución para $\underline{\mathbf{A}}(k)$ no requiere que $\underline{\mathbf{H}}(k)$ sea una matriz cuadrada, que es el caso cuando $N_U \neq N_T$. Sin embargo, si $\underline{\mathbf{H}}(k)$ es una matriz cuadrada, entonces la solución de la ecuación (10) se puede reescribir como $\underline{\mathbf{A}}(k) = \underline{\mathbf{H}}^{-1}(k)$, donde $\underline{\mathbf{H}}^{-1}(k)$ es la inversa de $\underline{\mathbf{H}}(k)$, de modo que $\underline{\mathbf{H}}^{-1}(k) \underline{\mathbf{H}}(k) = \underline{\mathbf{H}}(k) \underline{\mathbf{H}}^{-1}(k) = \underline{\mathbf{I}}$, donde $\underline{\mathbf{I}}$ es la matriz de identidad cuadrada con unos en la diagonal y ceros en el resto.

[0114] Debido a que hay un límite de potencia de $P_{\max, j}$ en cada antena transmisora $j \in \{1, \dots, N_T\}$, puede ser necesario escalar las filas de $\underline{\mathbf{A}}(k)$ para garantizar que la potencia usada en la antena transmisora j , P_j , no exceda $P_{\max, j}$. Sin embargo, para mantener la ortogonalidad entre las filas de $\underline{\mathbf{H}}(k)$ y las columnas de $\underline{\mathbf{A}}(k)$, es necesario escalar todas las entradas dentro de cada columna de $\underline{\mathbf{A}}(k)$ con el mismo valor. El escalamiento se logra mediante la matriz de escalamiento, $\underline{\mathbf{S}}(k)$, en la ecuación (9), que tiene la siguiente forma:

$$\underline{\mathbf{S}}(k) = \begin{bmatrix} S_1(k) & 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & S_2(k) & \Lambda & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \Lambda & S_{N_U}(k) \end{bmatrix} \quad , \quad \text{Ec. (11)}$$

donde el valor de escala $S_i(k)$ multiplica el flujo de datos $d_i(k)$. El conjunto de valores de escala, $\{S_i(k)\}$, se puede obtener resolviendo el siguiente conjunto de ecuaciones

$$\text{diag} \left((\underline{\mathbf{A}}(k)\underline{\mathbf{S}}(k))(\underline{\mathbf{A}}(k)\underline{\mathbf{S}}(k))^T \right) \leq \underline{\mathbf{P}}_{\max}(k) , \quad \text{Ec. (12)}$$

donde $\underline{\mathbf{P}}_{\max}(k)=[P_{\max,1}(k) \ P_{\max,2}(k) \ \wedge \ P_{\max,N_T}(k)]^T$ y $P_{\max,j}(k)$ es la potencia máxima asignada al k-ésimo grupo de subcanales de frecuencia para la j-ésima antena transmisora. Los valores $S_i(k)$ se pueden resolver a partir de la ecuación (12) y garantizan que la potencia usada en cada antena transmisora para el k-ésimo grupo de subcanales de frecuencia no exceda $P_{\max,j}(k)$.

[0115] La potencia de transmisión total, $P_{\max,j}$, para cada antena transmisora puede asignarse a los N_G grupos de subcanales de frecuencia de diversas maneras. En un modo de realización, la potencia de transmisión total se asigna por igual entre los N_G grupos de subcanales de frecuencia de manera que $P_j(k) = P_{\max,j}/N_G$. En otro modo de realización, la potencia de transmisión total puede asignarse de manera desigual entre los N_G grupos de subcanales de frecuencia

$$\sum_{k=1}^{N_G} P_j(k) = P_{\max,j}$$

al tiempo que se mantiene . La potencia de transmisión total, $P_{\max,j}$, puede asignarse en base a diversas técnicas, incluida una técnica de "vertido de agua" o "llenado de agua" que asigna la potencia de transmisión de manera que se maximice el caudal de tráfico. La técnica de vertido de agua es descrita por Robert G. Gallager en "Information Theory and Reliable Communication", John Wiley and Sons, 1968. Un algoritmo específico para realizar el proceso básico de vertido de agua para un sistema MIMO-OFDM se describe en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/978.337, titulada "Method and Apparatus for Determining Power Allocation in a MIMO Communication System [Procedimiento y aparato para determinar la asignación de potencia en un sistema de comunicación MIMO]", presentada el 15 de octubre de 2001, asignada al cesionario de la presente solicitud. La asignación de potencia de transmisión también se describe en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 10/017.308 titulada "Time-Domain Transmit and Receive Processing with Channel Eigen-mode Decomposition for MIMO Systems [Procesamiento de transmisión y recepción en el dominio del tiempo con descomposición en modos propios de canal para sistemas MIMO]", presentada el 7 de diciembre de 2001, asignada al cesionario de la presente solicitud. La asignación óptima de la potencia de transmisión total, $P_{\max,j}$, para cada una de las N_T antenas transmisoras entre los N_G grupos de subcanales de frecuencia es típicamente compleja, y se pueden usar técnicas iterativas para resolver la asignación de potencia óptima.

[0116] Sustituyendo la ecuación (9) en la ecuación (8), la expresión del símbolo recibido para el terminal i puede expresarse como:

$$y_i(k) = \underline{\mathbf{H}}_i(k)\underline{\mathbf{A}}(k)\underline{\mathbf{S}}(k)\underline{\mathbf{d}}(k) + n_i(k) , \quad \text{Ec. (13)}$$

que se simplifica a

$$y_i(k) = S_i(k)d_i(k) + n_i(k) , \quad \text{Ec. (14)}$$

ya que $\underline{\mathbf{H}}_i(k)$ es ortogonal a todas, excepto a la i-ésima, columnas de $\underline{\mathbf{A}}(k)$.

[0117] La SNR resultante para el terminal i para el grupo de subcanales de frecuencia k-ésimo puede expresarse como:

$$\gamma_i(k) = \frac{S_i^2(k)}{\sigma_i^2(k)} . \quad \text{Ec. (15)}$$

[0118] Al seleccionar un conjunto de terminales MISO que tienen firmas espaciales mutuamente compatibles para la transmisión de datos de enlace descendente en un grupo de subcanales de frecuencia dado, el análisis anterior puede realizarse para cada conjunto de terminales MISO a evaluar (es decir, cada hipótesis). La SNR para cada terminal del conjunto se puede determinar como se muestra en la ecuación (15). Esta SNR se puede usar en una métrica de rendimiento, tal como la basada en el caudal de tráfico que se muestra arriba en las ecuaciones (5) y (6). Por tanto, la compatibilidad mutua puede definirse en base al caudal de tráfico o algún otro criterio (por ejemplo, los terminales MISO más compatibles entre sí pueden ser los que logren el caudal de tráfico total más elevado).

[0119] Los terminales MISO también pueden planificarse para la transmisión de datos de enlace descendente en base a sus prioridades. En este caso, la descripción anterior para planificar terminales SIMO y MIMO en base a la prioridad también puede aplicarse para planificar terminales MISO. Por ejemplo, los N_T terminales MISO de mayor prioridad pueden considerarse para la planificación de cada grupo de subcanales de frecuencia.

[0120] También pueden usarse otras técnicas para generar múltiples haces para múltiples terminales, y esto está dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, la orientación de haz se puede realizar en base a una técnica de error

cuadrático medio mínimo (MMSE). Las técnicas CCMI y MMSE se describen en detalle en las solicitudes de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/826.481 y 09/956.449, ambas tituladas "Method and Apparatus for Utilizing Channel State Information in a Wireless Communication System [Procedimiento y aparato para utilizar información de estado de canal en un sistema de comunicación inalámbrica]", presentadas, respectivamente, el 23 de marzo de 2001 y el 18 de septiembre de 2001, ambas asignadas al cesionario de la presente solicitud.

[0121] La transmisión simultánea de datos a múltiples terminales basada en firmas espaciales también se describe en la patente de EE. UU. n.º 5.515.378, titulada "Spatial Division Multiple Access Wireless Communication System [Sistema de comunicación inalámbrica de acceso múltiple por división espacial]", emitida el 7 de mayo de 1996.

[0122] La técnica de orientación de haz descrita anteriormente para terminales MISO también se puede usar para terminales MIMO.

[0123] La capacidad de planificar terminales MISO por grupo de subcanales de frecuencia puede dar como resultado un rendimiento mejorado del sistema, ya que las firmas de frecuencia de los terminales MISO pueden aprovecharse al seleccionar el conjunto de terminales mutuamente compatibles para cada grupo de subcanales de frecuencia.

[0124] Las técnicas descritas anteriormente pueden generalizarse para gestionar una combinación de terminales SIMO, MISO y MIMO. Por ejemplo, si hay cuatro antenas transmisoras disponibles en la estación base, entonces se pueden transmitir cuatro flujos de datos independientes a un solo terminal MIMO 4x4, dos terminales MIMO 2x4, cuatro terminales SIMO 1x4, cuatro terminales MISO 4x1, un terminal MIMO 2x4 y dos terminales SIMO 1x4, o cualquier otra combinación de terminales designada para recibir un total de cuatro flujos de datos para cada grupo de subcanales de frecuencia. El planificador puede diseñarse para seleccionar la mejor combinación de terminales en base a las SNR posprocesadas para varios conjuntos de terminales hipotéticos, donde cada conjunto hipotético puede incluir una mezcla de terminales SIMO, MISO y MIMO.

[0125] Pueden usarse varias métricas y factores para determinar la prioridad de los terminales activos. En un modo de realización, se puede mantener una "puntuación" para cada terminal activo y para cada métrica que se va a usar para la planificación. En un modo de realización, una puntuación indicativa de un caudal de tráfico promedio durante un intervalo de tiempo de promediación particular se mantiene para cada terminal activo. En una implementación, la puntuación $\phi_i(n)$ para el terminal i en la ranura de tiempo n se calcula como un caudal de tráfico promedio lineal logrado en N_P ranuras de tiempo anteriores, y puede expresarse como:

$$\phi_i(n) = \frac{1}{N_P} \sum_{\lambda=n-N_P+1}^n r_i(\lambda) / r_{\max} \quad , \quad \text{Ec. (16)}$$

donde $r_i(n)$ es la velocidad de transferencia de datos "realizada" (en unidad de bits/ranura de tiempo) para el terminal i en la ranura de tiempo n y puede calcularse en base a las SNR posprocesadas como se muestra en la ecuación (6). Normalmente, $r_i(n)$ está limitada por una velocidad de transferencia de datos máxima alcanzable particular, $r_{\max}$, y una velocidad de transferencia de datos mínima particular (por ejemplo, cero). En otra implementación, la puntuación $\phi_i(n)$ para el terminal i en la ranura de tiempo n es un caudal de tráfico promedio exponencial logrado durante alguna ranura de tiempo, y puede expresarse como:

$$\phi_i(n) = (1 - \alpha) \cdot \phi_i(n-1) + \alpha \cdot r_i(n) / r_{\max} \quad , \quad \text{Ec. (17)}$$

donde α es una constante de tiempo para el promedio exponencial, con un valor mayor para α correspondiente a un intervalo de tiempo de promediación más corto.

[0126] Cuando un terminal desea la transmisión de datos, se añade a la lista de terminales activos y su puntuación se inicializa a cero. La puntuación de cada terminal activo de la lista puede actualizarse posteriormente en cada ranura de tiempo. Siempre que un terminal activo no esté planificado para la transmisión en una ranura de tiempo dada, su velocidad de transferencia de datos para la ranura de tiempo se fija a cero (es decir, $r_i(n) = 0$) y su puntuación se actualiza en consecuencia. Si el paquete de datos transmitido en una ranura de tiempo planificada es recibido por error en un terminal, entonces la velocidad de transferencia de datos efectiva del terminal para esa ranura de tiempo puede fijarse a cero. Es posible que el error de paquete no se conozca de inmediato (por ejemplo, debido al retardo de ida y vuelta de un esquema de acuse de recibo/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.

[0127] La prioridad para los terminales activos también se puede determinar en base a, en parte, las restricciones y requisitos del sistema. Por ejemplo, si la latencia máxima para un terminal en particular excede un valor umbral, entonces el terminal puede pasar a tener una prioridad alta.

[0128] También se pueden considerar otros factores para determinar la prioridad de los terminales activos. Uno de estos factores puede estar relacionado con el tipo de datos que se transmitirán a los terminales. Datos sensibles al

retardo pueden estar asociados a una prioridad más alta, y los datos no sensibles al retardo pueden estar asociados a una prioridad más baja. Los datos retransmitidos debido a errores de decodificación en una transmisión anterior también pueden estar asociados a una prioridad más alta, ya que otros procesos pueden estar esperando en el terminal los datos retransmitidos. Otro factor puede estar relacionado con el tipo de servicio de datos que se proporciona a los terminales. También se pueden considerar otros factores para determinar la prioridad y están dentro del alcance de la invención.

[0129] Por tanto, la prioridad de un terminal activo puede depender de cualquier combinación de (1) la puntuación mantenida para el terminal para cada métrica a considerar, (2) otros valores de parámetros mantenidos para las restricciones y requisitos del sistema, y (3) otros factores. En un modo de realización, las restricciones y requisitos del sistema representan valores "firmes" (es decir, prioridad alta o baja, dependiendo de si se han violado o no las restricciones y requisitos) y las puntuaciones representan valores "flexibles". En este modo de realización, los terminales para los cuales no se han cumplido las restricciones y requisitos del sistema pueden considerarse de inmediato, junto con otros terminales en base a sus puntuaciones.

[0130] Puede diseñarse un esquema de planificación basado en prioridades para lograr el mismo caudal de tráfico promedio (por ejemplo, la misma calidad de servicio o QoS) para todos los terminales activos en la lista. En este caso, los terminales activos se priorizan en base a su caudal de tráfico promedio alcanzado, que puede determinarse como se muestra en la ecuación (16) o (17). En este esquema de planificación basado en prioridades, el planificador usa las puntuaciones para priorizar los terminales para su asignación a los canales de transmisión disponibles. Las puntuaciones de los terminales se actualizan en base a sus asignaciones o no asignaciones a los canales de transmisión y pueden además ajustarse para errores de paquetes. Los terminales activos en la lista se pueden priorizar de modo que al terminal con la puntuación más baja se le dé la prioridad más alta, y al terminal con la puntuación más alta se le dé, por el contrario, la prioridad más baja. También se pueden utilizar otros procedimientos para clasificar terminales. La priorización también puede asignar factores de ponderación no uniformes a las puntuaciones de terminal.

[0131] En un esquema de planificación de enlace descendente en el que los terminales se seleccionan y planifican para la transmisión de datos en base a su prioridad, es posible que, ocasionalmente, se produzcan agrupaciones de terminales deficientes. Un conjunto de terminales "deficiente" es aquel que da como resultado matrices de respuesta de canal similares $H(k)$ que provocan SNR deficientes para todos los terminales en todos los flujos de datos transmitidos. Por tanto, esto da como resultado un bajo rendimiento para cada terminal del conjunto y un bajo caudal de tráfico general del sistema. Cuando esto ocurre, es posible que las prioridades de los terminales no cambien sustancialmente durante varias ranuras de tiempo. El planificador puede entonces quedarse atascado con este conjunto de terminales en particular hasta que las prioridades de los terminales cambien lo suficiente como para provocar un cambio en la pertenencia al conjunto.

[0132] Para evitar el efecto de "agrupamiento" descrito anteriormente, el planificador puede diseñarse para reconocer esta situación antes de asignar terminales a los canales de transmisión disponibles y/o para detectar la situación una vez que se ha producido. Pueden utilizarse varios esquemas para determinar el grado de dependencia lineal en las matrices de respuesta de canal $H(k)$. Un esquema para detectar el agrupamiento es aplicar un umbral particular a la matriz de hipótesis $\hat{H}(k)$. Si todas o un número sustancial de SNR en la matriz $\hat{H}(k)$ están por debajo de este umbral, entonces se considera que la situación de agrupamiento está presente. En el caso de que se detecte la situación de agrupamiento, el planificador puede reordenar los terminales (por ejemplo, de forma aleatoria) en un intento de reducir la dependencia lineal en la matriz de hipótesis. También se puede diseñar un esquema de redistribución para obligar al planificador a seleccionar conjuntos de terminales que den como resultado "buenas" matrices de hipótesis (es decir, aquellas que tienen una cantidad mínima de dependencia lineal).

[0133] La planificación de terminales para la transmisión de datos de enlace descendente y la planificación de terminales en base a la prioridad también se describen en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/859.345, titulada "Method and Apparatus for Allocating Downlink Resources in a Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System [Procedimiento y aparato para asignar recursos de enlace descendente en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)]", presentada el 16 de mayo de 2001; la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/539.157, titulada "Method and Apparatus for Controlling Transmissions of a Communications System [Procedimiento y aparato para controlar las transmisiones de un sistema de comunicaciones]", presentada el 30 de marzo de 2000; y la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/675.706, titulada "Method and Apparatus for Determining Available Transmit Power in a Wireless Communication System [Procedimiento y aparato para determinar la potencia de transmisión disponible en un sistema de comunicación inalámbrica]", presentada el 29 de septiembre de 2000, todas asignadas al cesionario de la presente solicitud.

[0134] Algunos de los esquemas de planificación de enlace descendente descritos anteriormente emplean técnicas para reducir la cantidad de procesamiento requerido para seleccionar terminales para su evaluación y asignar canales de transmisión a los terminales seleccionados. Estas y otras técnicas también pueden combinarse para obtener otros esquemas de planificación, y esto está dentro del alcance de la invención. Por ejemplo, los N_x terminales de mayor prioridad pueden considerarse para la planificación usando uno cualquiera de los esquemas descritos anteriormente.

[0135] En relación con los esquemas de planificación de enlace descendente descritos anteriormente, se supone que la potencia de transmisión total disponible para cada antena transmisora se asigna de manera uniforme a través de todos los subcanales de frecuencia seleccionados para su uso en la transmisión de datos de enlace descendente. Sin embargo, esta asignación uniforme de potencia de transmisión no es un requisito. También pueden diseñarse otros esquemas de planificación de enlace descendente que seleccionen terminales para la transmisión de datos, asignen canales de transmisión a los terminales seleccionados y, además, asignen potencia de transmisión a los canales de transmisión asignados. A continuación, se describen algunos de estos esquemas de planificación.

[0136] En un esquema de planificación de enlace descendente con asignación de potencia de transmisión no uniforme, solo se seleccionan para su uso canales de transmisión con SNR logradas por encima de una SNR umbral particular y no se usan canales de transmisión con SNR logradas por debajo de esta SNR umbral. Este esquema puede utilizarse para eliminar canales de transmisión deficientes con capacidades de transmisión limitadas al no asignar potencia de transmisión a estos canales de transmisión. La potencia de transmisión total disponible puede asignarse entonces de manera uniforme o no uniforme a través de los canales de transmisión seleccionados.

[0137] En otro esquema de planificación de enlace descendente, la potencia de transmisión se asigna de modo que se logren SNR aproximadamente iguales para todos los canales de transmisión usados para transmitir cada flujo de datos. Un flujo de datos particular puede transmitirse por medio de múltiples canales de transmisión (es decir, por medio de múltiples subcanales espaciales y/o múltiples subcanales de frecuencia), y estos canales de transmisión pueden lograr diferentes SNR si se asigna la misma potencia de transmisión a estos canales de transmisión. Asignando diferentes cantidades de potencia de transmisión a estos canales de transmisión, se pueden lograr SNR aproximadamente iguales que permitirían entonces utilizar un único esquema común de codificación y modulación para el flujo de datos transmitido en estos canales de transmisión. En efecto, la asignación de potencia desigual lleva a cabo una inversión de canal en los canales de transmisión de manera que parecen similares en el receptor. La inversión de canal de todos los canales de transmisión y la inversión de canal de sólo los canales de transmisión seleccionados se describen en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/860.274, presentada el 17 de mayo de 2001, la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/881.610, presentada el 14 de junio de 2001, y la solicitud de patente de EE. UU. n.º de serie 09/892.379, presentada el 26 de junio de 2001, las tres tituladas "Method and Apparatus for Processing Data for Transmission in a Multi-Channel Communication System Using Selective Channel Inversion [Procedimiento y aparato para procesar datos para su transmisión en un sistema de comunicación multicanal usando inversión selectiva de canal]", asignada al cesionario de la presente solicitud.

[0138] En otro esquema de planificación de enlace descendente, la potencia de transmisión puede asignarse de manera que se logre una velocidad de transferencia de datos deseada para cada uno de los terminales planificados. Por ejemplo, se puede asignar más potencia de transmisión a terminales con mayor prioridad y se puede asignar menos potencia de transmisión a terminales con menor prioridad.

[0139] En otro esquema de planificación de enlace descendente, la potencia de transmisión puede asignarse de manera no uniforme para lograr un elevado caudal de tráfico. Se puede lograr un elevado caudal de tráfico de sistema asignando más potencia de transmisión a mejores canales de transmisión y menos potencia de transmisión a canales de transmisión deficientes. La asignación "óptima" de la potencia de transmisión a canales de transmisión de distintas capacidades puede realizarse en base a la técnica de vertido de agua. Un esquema para asignar potencia de transmisión basado en el vertido de agua se describe en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/978.337 antes mencionada.

[0140] También se pueden implementar otros esquemas de planificación de enlace descendente que también asignan potencia de transmisión de una manera no uniforme para lograr los resultados deseados, y esto está dentro del alcance de la invención.

[0141] Típicamente, los terminales determinan sus SNR posprocesadas a partir de alguna asignación de potencia "supuesta", que puede ser la potencia fija usada para la señal piloto transmitida desde la estación base. Por lo tanto, si las potencias usadas para la transmisión de datos se desvían de las potencias supuestas, las SNR posprocesadas serán diferentes. Dado que las velocidades de datos usadas para la transmisión de datos se basan en gran medida en las SNR posprocesadas, las velocidades de transferencia de datos reales pueden enviarse a los terminales (por ejemplo, en el preámbulo de un paquete de datos). Los terminales también pueden realizar una detección de velocidad "ciega" e intentar procesar la transmisión de datos recibida a varias velocidades de datos posibles hasta que la transmisión de datos se reciba correctamente o no se pueda recuperar sin errores para todas las velocidades posibles. Cambiar la potencia de transmisión en un subcanal espacial dado puede afectar a la SNR posprocesada de otro subcanal espacial en el mismo grupo de subcanales de frecuencia, y este efecto se puede considerar al seleccionar terminales para la transmisión de datos.

[0142] La asignación de potencia mediante "llenado de agua" también se puede usar para asignar la potencia de transmisión disponible entre los canales de transmisión de manera que se maximice el caudal de tráfico. El proceso de llenado de agua se puede realizar de varias maneras, tal como (1) en todos los grupos de subcanales de frecuencia para cada subcanal espacial, (2) en todos los subcanales espaciales para cada grupo de subcanales de frecuencia, (3) en todos los subcanales de frecuencia de todos los subcanales espaciales, o (4) en algún conjunto definido de

canales de transmisión. Por ejemplo, el llenado de agua se puede realizar a través de un conjunto de canales de transmisión usados para un único flujo de datos dirigido hacia un terminal particular.

[0143] Con esquemas de CSI parcial (por ejemplo, aquellos que usan SNR posprocesadas), existe una restricción por antena en la asignación de potencia de transmisión. Entonces, en un caso de múltiples usuarios, las potencias de transmisión se pueden asignar/reasignar (1) entre múltiples terminales planificados en la misma antena transmisora, (2) entre los múltiples canales de transmisión asignados a cada terminal planificado (donde la potencia total asignada a cada terminal es fija), o (3) en base a algún otro esquema de asignación. En esquemas de CSI total (por ejemplo, aquellos basados en ganancias de canal), hay flexibilidad adicional disponible ya que la potencia de transmisión puede reasignarse entre antenas transmisoras (es decir, modos propios) así como entre grupos de subcanales de frecuencia. La asignación/reasignación de la potencia de transmisión entre múltiples terminales adquiere entonces una dimensión adicional.

[0144] Por tanto, pueden diseñarse esquemas de planificación de enlace descendente más complejos que puedan lograr un caudal de tráfico más cercano al óptimo. Estos esquemas de planificación pueden evaluar un gran número de hipótesis y asignaciones de antena (y, posiblemente, diferentes asignaciones de potencia de transmisión) para determinar el mejor conjunto de terminales y las mejores asignaciones de antena. También se pueden diseñar otros esquemas de planificación de enlace descendente para aprovechar la distribución estadística de las velocidades de transferencia de datos logradas por cada terminal. Esta información puede resultar útil para reducir el número de hipótesis a evaluar. Además, en algunas aplicaciones, es posible saber qué agrupaciones de terminales (es decir, hipótesis) funcionan bien analizando el rendimiento a lo largo del tiempo. Después, esta información puede almacenarse, actualizarse y usarse por el planificador en futuros intervalos de planificación.

[0145] Las técnicas descritas anteriormente pueden usarse para planificar terminales para la transmisión de datos en el modo MIMO, el modo N-SIMO y el modo mixto. También pueden aplicarse otras consideraciones para cada uno de estos modos de funcionamiento, como se describe a continuación.

[0146] En el modo MIMO, un máximo de N_T flujos de datos independientes pueden ser transmitidos simultáneamente por la estación base desde N_T antenas transmisoras para cada grupo de subcanales de frecuencia y dirigidos a un solo terminal MIMO con N_R antenas receptoras (es decir, MIMO $N_R \times N_T$). El terminal MIMO puede usar ecualización espacial (para un canal MIMO no dispersivo con desvanecimiento plano) o ecualización espacio-temporal (para un canal MIMO dispersivo con desvanecimiento selectivo de frecuencia) para procesar y separar los N_T flujos de datos transmitidos para cada grupo de subcanales de frecuencia. La SNR de cada flujo de datos posprocesado (es decir, después de la ecualización) puede estimarse y enviarse de vuelta a la estación base como información de estado de canal. La estación base puede entonces usar esta información para seleccionar la velocidad apropiada a usar para cada flujo de datos de manera que el terminal MIMO sea capaz de detectar cada flujo de datos transmitido al nivel de rendimiento deseado (por ejemplo, la PER objetivo).

[0147] Si todos los flujos de datos se transmiten a un terminal, como es el caso en el modo MIMO, entonces la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas se puede usar en este terminal para procesar N_R señales recibidas para recuperar N_T flujos de datos transmitidos para cada grupo de subcanales de frecuencia. Esta técnica procesa sucesivamente las N_R señales recibidas un número de veces (o iteraciones) para recuperar las señales transmitidas desde la estación base, donde una señal transmitida se recupera en cada iteración. En cada iteración, la técnica realiza una ecualización espacial o espacio-temporal en las N_R señales recibidas. A continuación, se recupera una de las señales transmitidas y, después, la interferencia debida a la señal recuperada se estima y cancela a partir de las señales recibidas para obtener señales "modificadas" a las que se ha eliminado la componente de interferencia.

[0148] Después, las señales modificadas son procesadas por la siguiente iteración para recuperar otra señal transmitida. Al eliminar la interferencia debida a cada señal recuperada a partir de las señales recibidas, la SNR mejora para las señales transmitidas incluidas en las señales modificadas y aún no recuperadas. La SNR mejorada da como resultado un rendimiento mejorado tanto para el terminal como para el sistema.

[0149] La técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas se describe con más detalle en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/854.235, titulada "Method and Apparatus for Processing Data in a Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System Utilizing Channel State Information [Procedimiento y aparato para procesar datos en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) utilizando información de estado de canal]", presentada el 11 de mayo de 2001, y en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/993.087, titulada "Multiple-Access Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System [Sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) de acceso múltiple]", presentada el 6 de noviembre de 2001, ambas asignadas al cesionario de la presente solicitud.

[0150] En un modo de realización, cada terminal MIMO del sistema estima y devuelve N_T valores de SNR posprocesadas para las N_T antenas transmisoras para cada grupo de subcanales de frecuencia que pueden asignarse por separado a los terminales. El planificador puede evaluar las SNR de los terminales activos para determinar a qué terminal(es) transmitir datos y cuándo, y la velocidad apropiada a usar para cada flujo de datos transmitido a los terminales seleccionados. Los terminales MIMO pueden seleccionarse 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 basarse en una o más funciones y cualquier número de parámetros. Se pueden usar varias funciones para formular la métrica de rendimiento, tal como la función del caudal de tráfico alcanzable para los terminales MIMO, que se muestra arriba en las ecuaciones (5) y (6).

[0151] En el modo N-SIMO, un máximo de N_T flujos de datos independientes pueden ser transmitidos simultáneamente por la estación base desde las N_T antenas transmisoras para cada grupo de subcanales de frecuencia y dirigidos hacia un máximo de N_T terminales SIMO diferentes. Para lograr un alto rendimiento, el planificador puede considerar un gran número de posibles conjuntos de terminales para la transmisión de datos. El planificador determina entonces el mejor conjunto de N_T terminales SIMO para transmitir simultáneamente para cada grupo de subcanales de frecuencia. En un sistema de comunicaciones de acceso múltiple, generalmente existen restricciones para satisfacer determinados requisitos por terminal, tales como la latencia máxima o la velocidad de transferencia de datos promedio. En este caso, el planificador puede diseñarse para seleccionar el mejor conjunto de terminales sujetos a estas restricciones.

[0152] En una implementación para el modo N-SIMO, los terminales usan ecualización espacial para procesar las señales de recepción, y la SNR posprocesada correspondiente a cada flujo de datos se proporciona a la estación base. El planificador usa entonces la información para seleccionar terminales activos para la transmisión de datos y para asignar canales de transmisión a los terminales seleccionados.

[0153] En otra implementación para el modo N-SIMO, los terminales usan el procesamiento sucesivo de receptor de cancelaciones sucesivas para procesar la señal de recepción para lograr SNR posprocesadas más altas. Con el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas, las SNR posprocesadas para los flujos de datos transmitidos dependen del orden en el que se detectan los flujos de datos (es decir, se demodulan y decodifican). En algunos casos, es posible que un terminal SIMO particular no pueda cancelar la interferencia de un flujo de datos particular designado para otro terminal, ya que el esquema de codificación y modulación usado para este flujo de datos se seleccionó en base a la SNR posprocesada del otro terminal. Por ejemplo, un flujo de datos transmitido puede estar dirigido al terminal u_x y codificado y modulado para una detección apropiada en una SNR posprocesada (por ejemplo, 10 dB) lograda en el terminal objetivo u_x , pero otro terminal u_y puede recibir el mismo flujo de datos transmitido a una SNR posprocesada más deficiente y, por lo tanto, no es capaz de detectar correctamente el flujo de datos. Si el flujo de datos destinado a otro terminal no puede detectarse sin errores, entonces no es posible cancelar la interferencia debida a este flujo de datos. El procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas es viable cuando la SNR posprocesada correspondiente a un flujo de datos transmitido permite una detección fiable.

[0154] El terminal puede intentar usar el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas en todos los demás flujos de datos transmitidos no destinados al mismo antes de intentar procesar su propio flujo de datos para mejorar la fiabilidad de la detección. Sin embargo, para que el sistema aproveche esta mejora, la estación base necesita conocer la SNR posprocesada hipotética dado que la interferencia de otras antenas se ha cancelado con éxito. Las restricciones independientes en el planificador pueden dar como resultado una asignación de velocidad de transferencia de datos a estas otras antenas que impide que la cancelación satisfactoria sea satisfactoria por parte del terminal. Por tanto, no hay garantía de que la estación base pueda seleccionar una velocidad de transferencia de datos en base a una SNR posprocesada obtenida mediante el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas. Sin embargo, la estación base puede usar el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas en el enlace ascendente porque es el destinatario previsto de todos los flujos de datos transmitidos en el enlace ascendente.

[0155] Para que el planificador aproveche la mejora en las SNR posprocesadas que ofrecen los terminales SIMO usando el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas, cada uno de dichos terminales puede deducir las SNR posprocesadas correspondientes a diferentes ordenaciones posibles de detección para los flujos de datos transmitidos. Los N_T flujos de datos transmitidos para cada grupo de subcanales de frecuencia pueden detectarse en base a N_T factorial (es decir, $N_T!$) posibles ordenaciones en un terminal SIMO, y cada ordenación está asociada a N_T valores de SNR posprocesadas. Por lo tanto, $N_T \cdot N_T!$. Los valores de SNR pueden ser notificados por cada terminal activo a la estación base para cada grupo de subcanales de frecuencia (por ejemplo, si $N_T = 4$, entonces cada terminal SIMO puede notificar 96 valores de SNR para cada grupo de subcanales de frecuencia). El planificador puede entonces usar la información para seleccionar terminales para la transmisión de datos y para asignar además antenas transmisoras a los terminales seleccionados.

[0156] Si se usa un procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas en los terminales, el planificador también puede considerar las posibles ordenaciones de detección para cada terminal. Sin embargo, una gran cantidad de estas ordenaciones no suelen ser válidas porque un terminal particular puede detectar correctamente los flujos de datos transmitidos a otros terminales debido a las SNR posprocesadas más bajas logradas en este terminal para los flujos de datos indetectables.

[0157] En el modo mixto, el uso del procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas por los terminales (por ejemplo, MIMO) impone restricciones adicionales al 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 necesita considerar los diversos órdenes para demodular

los flujos de datos por cada terminal en un conjunto dado. La asignación de las antenas transmisoras y la selección de los esquemas de codificación y modulación tendrían en cuenta estas dependencias para lograr un alto rendimiento.

[0158] El conjunto de antenas transmisoras en una estación base puede ser un conjunto físicamente distinto de "aberturas", cada una de las cuales puede usarse para transmitir directamente un flujo de datos respectivo. Cada abertura puede estar formada por un grupo de uno o más elementos de antena que están distribuidos en el espacio (por ejemplo, ubicados físicamente en un único sitio o distribuidos en múltiples sitios). De forma alternativa, las aberturas de antena pueden estar precedidas por una o más matrices de conformación de haz (fijas), donde cada matriz se usa para sintetizar un conjunto diferente de haces de antena del conjunto de aberturas. En este caso, la descripción anterior de las antenas transmisoras se aplica de manera análoga a los haces de antena transformados.

[0159] En el enlace descendente, se puede definir de antemano una pluralidad de matrices de conformación de haz fijas, y los terminales pueden evaluar las SNR posprocesadas para cada una de las posibles matrices (o conjuntos de haces de antena) y enviar vectores SNR de vuelta a la estación base. Típicamente, se logra un rendimiento diferente (es decir, SNR posprocesadas) para diferentes conjuntos de haces de antena transformados, y esto se refleja en los vectores de SNR notificados. La estación base puede entonces realizar la planificación y la asignación de antena para cada una de las posibles matrices de conformación de haz (usando los vectores SNR notificados) y seleccionar una matriz de conformación de haz particular, así como un conjunto de terminales y sus asignaciones de antena que logren el mejor uso de los recursos disponibles.

[0160] El uso de matrices de conformación de haz proporciona una flexibilidad adicional en la planificación de terminales y puede proporcionar además un rendimiento mejorado. Como ejemplos, las siguientes situaciones pueden ser adecuadas para transformaciones de conformación de haz:

- La correlación en el canal MIMO es alta, por lo que se puede lograr el mejor rendimiento con un pequeño número de flujos de datos. Sin embargo, transmitir con solo un subconjunto de las antenas transmisoras disponibles (y usar solo sus amplificadores de transmisión asociados) da como resultado una potencia de transmisión total menor. Puede seleccionarse una transformación para utilizar la mayoría o todas las antenas transmisoras (y sus amplificadores) para que se envíen los flujos de datos. En este caso, se logra una mayor potencia de transmisión para los flujos de datos transmitidos.
- Los terminales físicamente dispersos pueden estar aislados de alguna manera por su ubicación. En este caso, los terminales pueden ser atendidos por una transformación de tipo FFT estándar de aberturas espaciadas horizontalmente en un conjunto de haces que apuntan a diferentes acimuts.

Asignación de recursos de enlace ascendente

[0161] En el enlace ascendente, dado que la estación base es el destinatario previsto de las transmisiones de datos desde los terminales planificados, la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas puede usarse en la estación base para procesar las transmisiones desde múltiples terminales. Esta técnica procesa sucesivamente las N_R señales recibidas un número de veces para recuperar las señales transmitidas desde los terminales, donde una señal transmitida se recupera en cada iteración.

[0162] Cuando se usa la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas para procesar las señales recibidas, la SNR asociada a cada flujo de datos recibido depende del orden particular en el que se procesan las señales transmitidas en la estación base. Los esquemas de planificación pueden tener esto en cuenta al seleccionar el mejor conjunto de terminales para la transmisión de datos de enlace ascendente.

[0163] La FIG. 5 es un diagrama de flujo de un proceso 500 para planificar terminales para la transmisión de enlace ascendente. En este modo de realización, los canales de transmisión se asignan a los terminales activos evaluando un grupo de subcanales de frecuencia a la vez. El primer grupo de subcanales de frecuencia se considera estableciendo el índice de frecuencia $k = 1$, en la etapa 510. A continuación, comenzando en la etapa 512, se determina el mejor conjunto de terminales para la transmisión de enlace ascendente en el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia.

[0164] Inicialmente, en la etapa 512 se inicializan una o más métricas de rendimiento que se utilizarán para seleccionar el mejor conjunto de terminales para la transmisión de enlace ascendente en el grupo de subcanales de frecuencia actual. Se pueden utilizar varias métricas de rendimiento, tal como la métrica de rendimiento que maximiza el caudal de tráfico del sistema, como se describe anteriormente. Además, también se pueden usar en la evaluación métricas de terminales tales como SNR posprocesadas para las señales transmitidas desde los terminales, el caudal de tráfico promedio, etc.

[0165] A continuación, en la etapa 514, se selecciona un nuevo conjunto de uno o más terminales activos de entre todos los terminales activos que desean transmitir datos en una ranura de tiempo próxima. Como se señaló anteriormente, el número de terminales activos que se considerarán para la planificación puede ser limitado (por ejemplo, en base a su prioridad). Este conjunto de terminales seleccionados forma una hipótesis a evaluar. Para cada

terminal seleccionado se recuperan las estimaciones de canal para cada antena transmisora que se utilizará para la transmisión de datos de enlace ascendente, en la etapa 516. En el modo MIMO, se selecciona un solo terminal MIMO para su evaluación para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia, y se recuperan N_T vectores de estimaciones de canal para N_T antenas transmisoras de este terminal. En el modo N-SIMO, se seleccionan N_T terminales SIMO para su evaluación y se recuperan N_T vectores de estimación de canal para una antena transmisora en cada uno de los N_T terminales. Y para el modo mixto, los N_T vectores de estimación de canal se recuperan para la combinación de terminales SIMO y MIMO en el conjunto. En cualquier caso, los N_T vectores de estimación de canal se usan para formar la matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$ mostrada en la ecuación (1), donde cada vector de estimación de canal corresponde a una columna de la matriz $\underline{\mathbf{H}}(k)$. El conjunto $\underline{\mathbf{u}}(k)$ identifica los terminales cuyos vectores de estimación de canal están incluidos en la matriz de respuesta de canal $\underline{\mathbf{H}}(k)$, donde $\underline{\mathbf{u}}(k) = \{u_a(k), u_b(k), \dots, u_{N_T}(k)\}$ y un terminal MIMO se puede representar como múltiples terminales en el conjunto $\underline{\mathbf{u}}(k)$.

[0166] Cuando se usa la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas en la estación base, el orden en el que se procesan los terminales afecta directamente a su rendimiento. Por lo tanto, se selecciona un nuevo orden particular para procesar los terminales en el conjunto $\underline{\mathbf{u}}(k)$, en la etapa 518. Este orden particular forma una subhipótesis a evaluar.

[0167] A continuación, se evalúa la subhipótesis y se proporcionan métricas de terminal para la subhipótesis, en la etapa 520. Las métricas de terminal pueden ser las SNR posprocesadas para las señales (hipotéticamente) transmitidas desde los terminales en el conjunto $\underline{\mathbf{u}}(k)$ a la estación base. La etapa 520 se puede lograr en base a la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas, que se describe más adelante en las FIGS. 6A y 6B. A continuación, en la etapa 522, se determina la métrica de rendimiento (por ejemplo, el caudal de tráfico del sistema) correspondiente a esta subhipótesis (por ejemplo, en base a las SNR posprocesadas para los terminales). Esta métrica de rendimiento se usa después para actualizar la métrica de rendimiento para la mejor subhipótesis, también en la etapa 522. Específicamente, si la métrica de rendimiento para la subhipótesis actual es mejor que la de la mejor subhipótesis, entonces la subhipótesis actual se convierte en la nueva mejor subhipótesis, y se guardan las métricas de rendimiento y de terminal correspondientes a esta subhipótesis.

[0168] A continuación, se determina si se han evaluado o no todas las subhipótesis de la hipótesis actual, en la etapa 524. Si no se han evaluado todas las subhipótesis, entonces el proceso vuelve a la etapa 518 y se selecciona para su evaluación un orden diferente y aún no evaluado para los terminales del conjunto $\underline{\mathbf{u}}(k)$. Las etapas 518 a 524 se repiten para cada subhipótesis que se va a evaluar.

[0169] Si se han evaluado todas las subhipótesis de la hipótesis actual, en la etapa 524, a continuación se determina si se han considerado o no todas las hipótesis, en la etapa 526. Si no se han considerado todas las hipótesis, entonces el proceso vuelve a la etapa 514 y se selecciona un conjunto de terminales diferente y aún no considerado para su evaluación. Las etapas 514 a 526 se repiten para cada hipótesis a considerar.

[0170] Si se han evaluado todas las hipótesis para el grupo de subcanales de frecuencia actual, en la etapa 526, entonces se guardan los resultados de la mejor subhipótesis para este grupo de subcanales de frecuencia, en la etapa 528. La mejor subhipótesis corresponde a un conjunto específico de uno o más terminales activos que proporciona la mejor métrica de rendimiento para el grupo de subcanales de frecuencia. Si se usa el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas en la estación base, entonces la mejor subhipótesis se asocia además a un orden de procesamiento de receptor específico en la estación base. Por tanto, los resultados guardados pueden incluir las SNR alcanzables para los terminales y el orden de procesamiento seleccionado.

[0171] Si el esquema de planificación requiere que se mantengan otras métricas de sistema y de terminal (por ejemplo, el caudal de tráfico promedio en las ranuras de tiempo N_P anteriores, la latencia para la transmisión de datos, etc.), entonces estas métricas se actualizan para el grupo de subcanales de frecuencia actual, en la etapa 530. Las métricas de terminal y de sistema también se pueden guardar.

[0172] A continuación, en la etapa 532, se determina si se han asignado o no todos los grupos de subcanales de frecuencia para la transmisión de enlace ascendente. Si no se han asignado todos los grupos de subcanales, entonces se considera el siguiente grupo de subcanales de frecuencia incrementando el índice k (es decir, $k = k+1$), en la etapa 534. A continuación, el proceso vuelve a la etapa 512 para seleccionar el mejor conjunto de terminales para la transmisión de enlace ascendente en este nuevo grupo de subcanales de frecuencia. Las etapas 512 a 534 se repiten para cada grupo de subcanales de frecuencia que se va a asignar.

[0173] Si se han asignado todos los grupos de subcanales de frecuencia, en la etapa 532, entonces se determinan las velocidades de transferencia de datos y los esquemas de codificación y modulación para los terminales en las mejores subhipótesis para cada grupo de subcanales de frecuencia (por ejemplo, en base a sus SNR), en la etapa 536. También en la etapa 536, una planificación indicativa de los terminales seleccionados y sus canales y velocidades de transmisión asignados se forma y se puede comunicar a estos terminales antes de la ranura de tiempo planificada. La planificación de enlace ascendente se realiza típicamente para cada intervalo de planificación.

[0174] La FIG. 6A es un diagrama de flujo para un esquema de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas

520a en el que el orden de procesamiento es impuesto por un conjunto ordenado de terminales. Este diagrama de flujo se puede usar en la etapa 520 en la FIG. 5. El procesamiento mostrado en la FIG. 6A se realiza para una subhipótesis particular, que corresponde a un conjunto de terminales ordenados, $\underline{u}(k) = \{u_a(k), u_b(k), \dots, u_{N_T}(k)\}$. Inicialmente, el primer terminal del conjunto ordenado se selecciona como el terminal actual a procesar (es decir, $u_i = u_a(k)$), en la etapa 612.

[0175] En la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas, la estación base realiza primero una ecualización espacial o espacio-temporal en las N_R señales recibidas para intentar separar las señales individuales transmitidas por los terminales en el conjunto $\underline{u}(k)$, en la etapa 614. La ecualización espacial o espacio-temporal se puede realizar como se describe a continuación. La cantidad de separación de señales que se puede lograr depende de la cantidad de correlación entre las señales transmitidas, y se puede obtener una mayor separación entre señales si estas señales están menos correlacionadas. La etapa 614 proporciona N_T señales posprocesadas derivadas de las N_R señales recibidas y correspondientes a las N_T señales transmitidas por los terminales del conjunto $\underline{u}(k)$. Como parte del procesamiento espacial o espacio-temporal, también se determina la SNR correspondiente a la señal posprocesada para el terminal actual u_i .

[0176] La señal posprocesada para el terminal u_i se procesa adicionalmente (es decir, "se detecta") para obtener un flujo de datos decodificado para el terminal, en la etapa 616. La detección puede incluir demodular, desintercalar y decodificar la señal posprocesada para obtener el flujo de datos decodificado.

[0177] En la etapa 618, se determina si se han procesado o no todos los terminales del conjunto $\underline{u}(k)$. Si se han procesado todos los terminales, entonces se proporcionan las SNR de los terminales, en la etapa 626, y termina el procesamiento de receptor para este conjunto ordenado. De lo contrario, se estima la interferencia debida a la señal transmitida desde el terminal u_i en cada una de las señales recibidas, en la etapa 620. La interferencia puede estimarse (por ejemplo, como se describe a continuación) en base a la matriz de respuesta de canal $\underline{H}(k)$ para los terminales en el conjunto $\underline{u}(k)$. A continuación, en la etapa 622, la interferencia estimada debida al terminal u_i se resta (es decir, se cancela) de las señales recibidas para obtener señales modificadas. Estas señales modificadas representan estimaciones de las señales recibidas si el terminal u_i no había realizado una transmisión (es decir, suponiendo que la cancelación de interferencia se realizó de manera eficaz). Las señales modificadas se usan en la siguiente iteración para procesar la señal transmitida desde el siguiente terminal del conjunto $\underline{u}(k)$. El siguiente terminal del conjunto $\underline{u}(k)$ se selecciona entonces como el (nuevo) terminal actual u_i , en la etapa 624. En particular, $u_i = u_b(k)$ para la segunda iteración, $u_i = u_c(k)$ para la tercera iteración, y así sucesivamente, y $u_i = u_{N_T}(k)$ para la última iteración para el conjunto ordenado $\underline{u}(k) = \{u_a(k), u_b(k), \dots, u_{N_T}(k)\}$.

[0178] El procesamiento realizado en las etapas 614 y 616 se repite en las señales modificadas (en lugar de las señales recibidas) para cada terminal subsiguiente en el conjunto $\underline{u}(k)$. Las etapas 620 a 624 también se realizan en cada iteración, excepto en la última iteración.

[0179] Usando la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas, para cada hipótesis de N_T terminales, hay N_T factorial ordenaciones posibles (por ejemplo, $N_T! = 24$ si $N_T = 4$). En cada ordenación de terminales dentro de una hipótesis particular (es decir, para cada subhipótesis), el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas (etapa 520) proporciona un conjunto de SNR para las señales posprocesadas para estos terminales, lo que se puede expresar como:

$$\underline{\gamma}_{\text{hyp,order}}(k) = \{\gamma_1(k), \gamma_2(k), \dots, \gamma_{N_T}(k)\} \quad , \quad \text{Ec. (18)}$$

donde $\gamma_i(k)$ es la SNR para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia después del procesamiento de receptor en el i -ésimo terminal en la subhipótesis.

[0180] Cada subhipótesis se asocia además a una métrica de rendimiento, $R_{\text{hyp,order}}(k)$, que puede depender de diversos factores. Por ejemplo, una métrica de rendimiento basada en las SNR de los terminales puede expresarse como se muestra en la ecuación (4). En un modo de realización, la métrica de rendimiento para la subhipótesis depende de los rendimientos alcanzables para la totalidad de N_T terminales en el conjunto $\underline{u}(k)$, que se puede expresar como se muestra en la ecuación (5), donde el rendimiento $r_i(k)$ asociado al i -ésimo terminal en la subhipótesis puede expresarse como se muestra en la ecuación (6).

[0181] El esquema de planificación de enlace ascendente descrito en las FIGS. 5 y 6A puede usarse para evaluar todas las posibles ordenaciones de cada posible conjunto de terminales activos que deseen transmitir datos en el enlace ascendente. El número total de posibles subhipótesis a evaluar por el planificador de enlace ascendente puede ser bastante grande, incluso para un pequeño número de terminales activos. De hecho, el número total de subhipótesis se puede expresar como:

$$N_{\text{sub-hyp}} = N_G \cdot N_T! \binom{N_U}{N_T} = \frac{N_G \cdot N_U!}{(N_U - N_T)!}, \quad \text{Ec. (19)}$$

donde N_U es el número de terminales que se considerarán para la planificación (nuevamente, un terminal MIMO se puede representar como múltiples terminales en la planificación). Por ejemplo, si $N_G = 16$, $N_U = 8$ y $N_T = 4$, entonces $N_{\text{sub-hyp}} = 26.880$. Se puede usar una búsqueda exhaustiva para determinar la subhipótesis que proporciona el mejor rendimiento de sistema para cada grupo de subcanales de frecuencia, cuantificado por la métrica de rendimiento usada para seleccionar la mejor subhipótesis.

[0182] De forma similar al enlace descendente, se pueden usar varias técnicas para reducir la complejidad del procesamiento para planificar terminales para la transmisión de enlace ascendente. A continuación se describen algunos esquemas de planificación basados en algunas de estas técnicas. También pueden implementarse otros esquemas de planificación y están dentro del alcance de la invención. Estos esquemas de planificación también pueden proporcionar un alto rendimiento de sistema al tiempo que reducen la cantidad de procesamiento requerido para planificar terminales para la transmisión de datos de enlace ascendente.

[0183] En un segundo esquema de planificación de enlace ascendente, los terminales incluidos en cada hipótesis se procesan en un orden específico que se determina en base a una regla definida particular. En un modo de realización, este esquema se basa en el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas para determinar el orden específico para procesar los terminales en la hipótesis. Por ejemplo, y como se describe a continuación, en cada iteración el esquema de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas puede recuperar la señal transmitida que tiene la mejor SNR después de la ecualización. En este caso, el orden de procesamiento se determina en base a las SNR posprocesadas para los terminales en la hipótesis.

[0184] La FIG. 6B es un diagrama de flujo para un esquema de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas 520b mediante el cual el orden de procesamiento se determina en base a las SNR posprocesadas. Este diagrama de flujo también se puede usar en la etapa 520 en la FIG. 5. Sin embargo, dado que el orden de procesamiento se determina en base a las SNR posprocesadas logradas por el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas, solo se evalúa una subhipótesis para cada hipótesis, y las etapas 518 y 524 de la FIG. 5 pueden omitirse.

[0185] Inicialmente, la ecualización espacial o espacio-temporal se realiza en las señales recibidas para intentar separar las señales transmitidas individuales, en la etapa 614. A continuación, en la etapa 615, se estiman las SNR de las señales transmitidas después de la ecualización. En un modo de realización, la señal transmitida correspondiente al terminal con la mejor SNR se selecciona y se procesa adicionalmente (es decir, se demodula y decodifica) para obtener un flujo de datos decodificado correspondiente, en la etapa 616. En la etapa 618, se determina si se han procesado o no todas las señales transmitidas (es decir, todos los terminales en la hipótesis). Si se han procesado todos los terminales, entonces se proporciona el orden de procesamiento de los terminales y sus SNR, en la etapa 628, y termina el procesamiento de receptor para este conjunto de terminales. De lo contrario, en la etapa 620 se estima la interferencia debida a la señal transmitida recién procesada, y se resta (es decir, se cancela) de las señales recibidas para obtener las señales modificadas, en la etapa 622. Las etapas 614, 616, 618, 620 y 622 en la FIG. 6B corresponden a etapas numeradas idénticamente en la FIG. 6A.

[0186] En un tercer esquema de planificación de enlace ascendente, los terminales incluidos en cada hipótesis se procesan en base a un orden específico. Con el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas, la SNR de un terminal sin procesar mejora con cada iteración, ya que se elimina la interferencia de cada terminal procesado. Por lo tanto, en promedio, el primer terminal a procesar tendrá la SNR más baja, el segundo terminal a procesar tendrá la segunda a la SNR más baja, y así sucesivamente. Con este conocimiento, se puede especificar el orden de procesamiento de los terminales para una hipótesis. El orden de procesamiento representa otro grado de libertad que puede usar el planificador para lograr los objetivos y requisitos del sistema.

[0187] En un modo de realización del tercer esquema de planificación de enlace ascendente, el orden de procesamiento para cada hipótesis se selecciona en base a la prioridad de los terminales en la hipótesis. Por ejemplo, el terminal de menor prioridad en la hipótesis puede procesarse primero, el siguiente terminal de menor prioridad puede procesarse a continuación, y así sucesivamente, y el terminal de mayor prioridad puede procesarse en último lugar. Este modo de realización permite que el terminal de mayor prioridad logre la mayor SNR posible para la hipótesis que, a su vez, admite la mayor velocidad de transferencia de datos posible. De esta manera, a los terminales se les pueden asignar canales de transmisión en un orden particular, en base a su prioridad, de modo que al terminal de mayor prioridad se le asigne la mayor velocidad de transferencia de datos posible. En otro modo de realización del tercer esquema de planificación de enlace ascendente, el orden de procesamiento para cada hipótesis se selecciona en base a la carga útil de usuario, los requisitos de latencia, la prioridad de servicios de emergencia, etc.

[0188] En un cuarto esquema de planificación de enlace ascendente, los terminales se planifican en base a su prioridad, que puede determinarse en base a una o más métricas (por ejemplo, caudal de tráfico promedio),

restricciones y requisitos del sistema (por ejemplo, latencia máxima), otros factores o una combinación de los mismos, como se describe anteriormente. Para cada intervalo de planificación se pueden considerar varios terminales con la mayor prioridad para su planificación.

[0189] FIG. 7 es un diagrama de flujo para un esquema de planificación de enlace descendente basado en prioridades 700 en el que se considera un conjunto de N_T terminales de mayor prioridad para la planificación de cada grupo de subcanales de frecuencia. Inicialmente, el primer grupo de subcanales de frecuencia se considera estableciendo el índice de frecuencia $k = 1$, en la etapa 710. Comenzando en la etapa 712, los subcanales espaciales para el k -ésimo grupo de subcanales de frecuencia se asignan a continuación a los terminales para la transmisión de enlace ascendente.

[0190] 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 712. Los terminales activos restantes de la lista no se consideran para la planificación de este grupo de subcanales de frecuencia en este intervalo de planificación. Las estimaciones de canal para cada terminal seleccionado se recuperan y se usan para formar la matriz de respuesta de canal $\underline{H}(k)$, en la etapa 714.

[0191] A continuación, se evalúa cada subhipótesis de la hipótesis formada por los N_T terminales seleccionados, y se obtiene el vector correspondiente de SNR posprocesadas, $\gamma_{hyp,order}(k)$, para cada subhipótesis, en la etapa 716. Se selecciona la mejor subhipótesis y se determinan las velocidades de transferencia de datos y los esquemas de codificación y modulación para los terminales en la mejor subhipótesis (por ejemplo, en base a sus SNR conseguidas), en la etapa 718. A continuación, en la etapa 720, se actualizan las métricas de los terminales activos en la lista y las métricas de sistema.

[0192] A continuación, en la etapa 722, se determina si se han asignado o no todos los subcanales de frecuencia para la transmisión de enlace ascendente. Si no se han asignado todos los subcanales de frecuencia, entonces se considera el siguiente grupo de subcanales de frecuencia incrementando el índice k (es decir, $k = k+1$), en la etapa 724. A continuación, el proceso vuelve a la etapa 712 para asignar los subcanales espaciales de este nuevo grupo de subcanales de frecuencia al mismo conjunto de terminales o a uno diferente. Las etapas 712 a 724 se repiten para cada grupo de subcanales de frecuencia que se va a asignar.

[0193] Si se han asignado todos los grupos de subcanales de frecuencia, en la etapa 722, entonces una planificación indicativa de los terminales seleccionados y sus canales y velocidades de transmisión asignados puede formarse y comunicarse a estos terminales, en la etapa 726. A continuación, el proceso finaliza para este intervalo de planificación.

[0194] La planificación de enlaces ascendentes de terminales en base a la prioridad también se describe en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/859.346, titulada "Method and Apparatus for Allocating Uplink Resources in a Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Communication System [Procedimiento y aparato para asignar recursos de enlace ascendente en un sistema de comunicación de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO)]", presentada el 16 de mayo de 2001, y en la patente de EE. UU. con n.º 5.923.650, titulada "Method and Apparatus for Reverse Link Rate Scheduling [Procedimiento y aparato para la planificación de velocidad de enlace inverso]", emitida el 13 de julio de 1999. Estas patentes y solicitudes de patente están asignadas al cesionario de la presente solicitud.

[0195] Se puede usar el mismo punto de ajuste objetivo para todos los flujos de datos recibidos en la estación base. Sin embargo, este punto de ajuste común para todos los flujos de datos recibidos no es un requisito. También pueden diseñarse otros esquemas de planificación de enlace ascendente que seleccionen terminales para la transmisión de datos, asignen canales de transmisión a los terminales seleccionados y, además, seleccionen puntos de ajuste que se usarán para los canales de transmisión asignados. Se puede lograr un punto de ajuste particular para un flujo de datos por medio de un mecanismo de control de potencia que haga que el terminal ajuste su potencia de transmisión para el flujo de datos de modo que la SNR recibida para el flujo de datos sea aproximadamente igual al punto de ajuste.

[0196] Se pueden diseñar diversos esquemas de planificación de enlace ascendente con puntos de ajuste no uniformes para los flujos de datos transmitidos desde los terminales planificados. En un modo de realización, pueden usarse puntos de ajuste más altos para terminales de mayor prioridad, y pueden usarse puntos de ajuste más bajos para terminales de menor prioridad. En otro modo de realización, los puntos de ajuste pueden seleccionarse de modo que se logre una velocidad de transferencia de datos deseada para cada uno de los terminales planificados. En otro modo de realización más, los puntos de ajuste pueden seleccionarse para lograr un alto caudal de tráfico del sistema, lo que puede ser posible usando puntos de ajuste más altos para mejores canales de transmisión y puntos de ajuste más bajos para canales de transmisión deficientes. También se pueden implementar otros esquemas para seleccionar diferentes puntos de ajuste para diferentes canales de transmisión para lograr los resultados deseados, y esto está dentro del alcance de la invención.

[0197] Al igual que en el enlace descendente, tampoco es necesario usar todos los canales de transmisión disponibles para la transmisión de datos en el enlace ascendente. En un modo de realización, solo se seleccionan para su uso canales de transmisión con SNR logradas por encima de una SNR umbral particular y no se usan canales de

transmisión con SNR logradas por debajo de esta SNR umbral.

[0198] Para muchos de los esquemas de planificación de enlace ascendente descritos anteriormente, la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas se usa para procesar las señales recibidas en la estación base, lo que puede proporcionar SNR mejoradas y, por lo tanto, mayor caudal de tráfico. Sin embargo, la planificación del enlace ascendente también se puede realizar sin el uso de un procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas en la estación base. Por ejemplo, la estación base puede usar simplemente la ecualización espacial o espacio-temporal para procesar las señales recibidas para recuperar las señales transmitidas. Se puede demostrar que pueden lograrse ganancias sustanciales aprovechando el entorno de diversidad multiusuario y/o las firmas de frecuencia de los terminales en la planificación de la transmisión de datos de enlace ascendente (es decir, sin depender del procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas en la estación base).

[0199] También pueden implementarse otros esquemas de planificación de enlace ascendente, y esto está dentro del alcance de la invención. En un esquema de planificación de enlace ascendente FDM-TDM, a un terminal MIMO se le pueden asignar todos los subcanales espaciales para cada grupo de subcanales de frecuencia, y las firmas de frecuencia de los terminales se pueden considerar en la planificación de enlace ascendente para lograr un alto rendimiento. En un esquema de planificación de enlace ascendente SDMA-TDM, todos los subcanales de frecuencia de cada subcanal espacial pueden asignarse a un solo terminal, que puede ser un terminal SIMO o MIMO.

Otras consideraciones de planificación

[0200] Tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente, si se usa una CSI parcial (por ejemplo, la SNR posprocesada) para planificar terminales para la transmisión de datos, entonces se puede usar un esquema común de codificación y modulación para todos los canales de transmisión asignados a un terminal dado, o se puede usar un esquema de codificación y modulación diferente para cada canal de transmisión asignado. El uso de un esquema común de codificación y modulación para todos los canales de transmisión asignados puede simplificar el procesamiento tanto en el terminal como en la estación base. El planificador puede diseñarse para tener esto en cuenta al planificar terminales para la transmisión de datos en los canales de transmisión disponibles. Por ejemplo, puede ser preferente asignar canales de transmisión que tengan capacidades de transmisión similares (por ejemplo, SNR similares) al mismo terminal de modo que se pueda usar un esquema de codificación y modulación común para la transmisión de datos en los múltiples canales de transmisión asignados a este terminal.

[0201] Tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente, los esquemas de planificación pueden diseñarse para considerar conjuntos de terminales que tienen márgenes de enlace similares. Los terminales se pueden agrupar de acuerdo con sus propiedades de margen de enlace. El planificador puede entonces considerar combinaciones de terminales en el mismo grupo de "margen de enlace" cuando busca firmas espaciales compatibles entre sí. La agrupación de terminales de acuerdo con el margen de enlace puede mejorar la eficiencia espectral global de los esquemas de planificación en comparación con la que se logra ignorando los márgenes de enlace. Además, al planificar terminales con márgenes de enlace similares para transmisiones simultáneas, el control de potencia puede ejercerse más fácilmente (por ejemplo, en todo el conjunto de terminales) para mejorar la reutilización espectral general. Esto puede verse como una combinación de planificación de reutilización adaptativa en combinación con SDMA para SIMO/MIMO (que se basa en el procesamiento espacial en el receptor para separar los múltiples flujos de datos transmitidos) o MISO (que se basa en la dirección de haz por parte del transmisor para separar los múltiples flujos de datos transmitidos). Además, también se puede implementar un esquema de planificación que evalúe el híbrido entre haces y márgenes, y esto está dentro del alcance de la invención.

[0202] La planificación basada en márgenes de enlace y reutilización adaptativa se describen con más detalle en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/532.492, titulada "High Efficiency, High Performance Communications System Employing Multi-Carrier Modulation [Sistema de comunicaciones de alta eficiencia y alto rendimiento que emplea modulación de múltiples portadoras]", presentada el 30 de marzo de 2000, y en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/848.937, titulada "Method and Apparatus for Controlling Uplink Transmissions of a Wireless Communication System [Procedimiento y aparato para controlar las transmisiones de enlace ascendente de un sistema de comunicación inalámbrica]", presentada el 3 de mayo de 2001, ambas asignadas al cesionario de la presente solicitud.

[0203] Para simplificar, se han descrito diversos esquemas de planificación mediante los cuales (1) se selecciona un conjunto de N_T terminales para la transmisión de enlace descendente o de enlace ascendente para un grupo dado de subcanales de frecuencia (donde un terminal MIMO puede representar varios de estos N_T terminales), donde cada terminal está asignado a un subcanal espacial, (2) el número de antenas transmisoras es igual al número de antenas receptoras (es decir, $N_T = N_R$), y (3) se transmite un flujo de datos independiente en cada subcanal espacial de cada grupo de subcanales de frecuencia. En este caso, el número de flujos de datos para cada grupo de subcanales de frecuencia es igual al número de subcanales espaciales, y cada uno de los N_T terminales del conjunto se asigna eficazmente a un subcanal espacial respectivo.

[0204] En relación con el enlace descendente, cada terminal planificado puede estar equipado con más antenas receptoras que el número total de flujos de datos. Además, múltiples terminales planificados pueden compartir una

antena transmisora particular en la estación base. La compartición se puede lograr mediante multiplexación por división de tiempo (por ejemplo, asignando diferentes fracciones de una ranura de tiempo a diferentes terminales), multiplexación por división de frecuencia (por ejemplo, asignando diferentes subcanales de frecuencia en cada grupo de subcanales de frecuencia a diferentes terminales), multiplexación por división de código (por ejemplo, asignando diferentes códigos ortogonales a diferentes terminales), algunos otros esquemas de multiplexación o cualquier combinación de los esquemas de multiplexación.

[0205] En relación con el enlace ascendente, los terminales planificados también pueden compartir un conjunto multiplexado de antenas receptoras en la estación base. En este caso, el número total de antenas transmisoras para los terminales planificados puede ser mayor que el número de antenas receptoras en la estación base, y los terminales pueden compartir los canales de transmisión disponibles usando otra técnica de acceso múltiple (por ejemplo, tiempo, frecuencia y/o multiplexación por división de código).

[0206] Los esquemas de planificación descritos en el presente documento seleccionan terminales y asignan canales de transmisión a los terminales seleccionados en base a información de estado del canal, que puede comprender SNR posprocesadas. Las SNR posprocesadas para los terminales dependen del nivel de potencia de transmisión particular usado para los flujos de datos. Por simplicidad, se supone el mismo nivel de potencia de transmisión para todos los flujos de datos (es decir, sin control de potencia de la potencia de transmisión).

[0207] Sin embargo, asignando diferentes cantidades de potencia de transmisión a diferentes flujos de datos y/o controlando la potencia de transmisión para cada flujo de datos, se pueden ajustar las SNR alcanzables. En relación con el enlace descendente, al disminuir la potencia de transmisión para un flujo de datos particular mediante el control de potencia, la SNR asociada a ese flujo de datos se reduce, la interferencia causada por este flujo de datos en otros flujos de datos también se reduciría, y otros flujos de datos pueden lograr mejores SNR. En relación con el enlace ascendente, al disminuir la potencia de transmisión de un terminal particular mediante el control de potencia, la SNR para este terminal se reduce, la interferencia debida a este terminal también se reduciría y otros terminales pueden lograr mejores SNR. El control de potencia de (y la asignación de potencia entre) múltiples terminales que comparten simultáneamente canales espaciales no ortogonales se puede lograr imponiendo varias restricciones para garantizar la estabilidad del sistema, como se describe anteriormente. Por tanto, la asignación de potencia de transmisión y/o el control de potencia también se pueden usar junto con los esquemas de planificación descritos en el presente documento, y esto está dentro del alcance de la invención.

[0208] Los esquemas de planificación de enlace descendente y de enlace ascendente descritos en el presente documento pueden diseñarse para admitir una serie de características. En primer lugar, los esquemas de planificación pueden admitir un funcionamiento en modo mixto mediante el cual cualquier combinación de terminales SIMO y MIMO puede planificarse para la transmisión de datos a través de un "canal", que puede ser una ranura de tiempo, una banda de frecuencia, un canal de código, etc. En segundo lugar, los esquemas de planificación proporcionan una planificación para cada intervalo de planificación que incluye un conjunto de terminales "mutuamente compatibles" en base a sus firmas espaciales y de frecuencia. Se puede considerar que la compatibilidad mutua significa la coexistencia de transmisión en el mismo canal y al mismo tiempo dadas restricciones específicas con respecto a requisitos de velocidad de transferencia de datos de los terminales, la potencia de transmisión, el margen en de enlace, la capacidad entre terminales SIMO y MIMO y, posiblemente, otros factores. En tercer lugar, los esquemas de planificación admiten una adaptación variable de la velocidad de transferencia de datos en base a las SNR de las señales posprocesadas para los terminales. A cada terminal planificado se le notifica cuándo comunicarse, qué velocidad(es) de transferencia de datos usar (por ejemplo, por flujo de datos) y el modo particular (por ejemplo, SIMO, MIMO).

Sistema MIMO-OFDM

[0209] La FIG. 8A es un diagrama de bloques de una estación base 104 y de dos terminales 106 dentro del sistema MIMO-OFDM 100 para la transmisión de datos de enlace descendente. En la estación base 104, una fuente de datos 808 proporciona datos (es decir, bits de información) a un procesador de datos de transmisión (TX) 810. Para cada flujo de datos independiente, el procesador de datos de TX 810 (1) codifica los datos en base a un esquema de codificación particular, (2) intercala (es decir, reordena) los bits codificados en base a un esquema de intercalación particular, y (3) correlaciona los bits intercalados en símbolos de modulación para uno o más canales de transmisión seleccionados para su uso en ese flujo de datos. La codificación aumenta la fiabilidad de la transmisión de datos. La intercalación proporciona diversidad de tiempo para los bits codificados, permite que los datos se transmitan en base a una SNR promedio para los canales de transmisión, combate el desvanecimiento, elimina la correlación entre bits codificados usados para formar cada símbolo de modulación y puede proporcionar además diversidad de frecuencia si los bits codificados se transmiten a través de múltiples subcanales de frecuencia. La codificación y modulación (es decir, correlación de símbolos) se pueden realizar en base a señales de control proporcionadas por un controlador 830.

[0210] Un procesador MIMO de TX 820 recibe y desmultiplexa los símbolos de modulación del procesador de datos de TX 810 y proporciona un flujo de vectores de símbolos para cada antena transmisora usada para la transmisión de datos, un vector de símbolo por período de símbolo. Cada vector de símbolo incluye hasta N_F símbolos de modulación para los N_F subcanales de frecuencia de la antena transmisora. El procesador MIMO de TX 820 puede precondicionar

además los símbolos de modulación si se realiza un procesamiento de CSI total (por ejemplo, si la matriz de respuesta de canal $\mathbf{H}(k)$ está disponible). El procesamiento MIMO y de CSI total se describe con más detalle en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/993.087 antes mencionada. A continuación, cada flujo de vectores de símbolos es recibido y modulado por un respectivo modulador (MOD) 822 y transmitido por medio de una antena asociada 824.

[0211] En cada terminal 106 al que se dirige una transmisión de datos, las antenas 852 reciben las señales transmitidas, y la señal recibida desde cada antena se proporciona a un demodulador respectivo (DEMOM) 854. Cada demodulador (o unidad de sección de entrada) 854 realiza un procesamiento complementario al realizado en el modulador 822. Los símbolos de modulación recibidos desde todos los demoduladores 854 se proporcionan a continuación a un procesador de datos/MIMO de recepción (RX) 860 y se procesan para recuperar uno o más flujos de datos transmitidos al terminal. El procesador de datos/MIMO de RX 860 realiza un procesamiento complementario al realizado por el procesador de datos de TX 810 y el procesador MIMO de TX 820 y proporciona datos decodificados a un colector de datos 862. A continuación se describe con más detalle el procesamiento realizado por el dispositivo 106.

[0212] En cada terminal activo 106, el procesador de datos/MIMO de RX 860 estima además las condiciones de canal para el enlace descendente y proporciona información de estado de canal (CSI) indicativa de las condiciones de canal estimadas. La CSI puede comprender SNR posprocesadas, estimaciones de ganancia de canal, etc. Un controlador 870 recibe y puede transformar adicionalmente la CSI de enlace descendente (CSI DL) en alguna otra forma (por ejemplo, velocidad). La CSI de enlace descendente es procesada (por ejemplo, codificada y correlacionada con símbolos) por un procesador de datos de TX 880, es procesada adicionalmente por un procesador MIMO de TX 882, modulada por uno o más moduladores 854, y transmitida de vuelta a la estación base 104 por medio de un canal de enlace ascendente (o de retroalimentación). El terminal puede notificar la CSI de enlace descendente usando diversas técnicas de señalización, como se describe a continuación.

[0213] En la estación base 104, la señal de retroalimentación transmitida es recibida por las antenas 824, demodulada por demoduladores 822 y procesada por un procesador de datos/MIMO de RX 840 de una manera complementaria a la realizada por el procesador de datos de TX 880 y el procesador MIMO de TX 882. La CSI de enlace descendente notificada se proporciona después al controlador 830 y al planificador 834.

[0214] El planificador 834 usa la CSI de enlace descendente notificada para realizar una serie de funciones tales como (1) seleccionar el mejor conjunto de terminales para la transmisión de datos de enlace descendente y (2) asignar los canales de transmisión disponibles a los terminales seleccionados. El planificador 834 o el controlador 830 pueden usar además la CSI de enlace descendente notificada para determinar el esquema de codificación y modulación que se va a usar para cada flujo de datos. El planificador 834 puede planificar terminales para lograr un elevado caudal de tráfico y/o basarse en algunos otros criterios o métricas de rendimiento.

[0215] La FIG. 8B es un diagrama de bloques de una estación base 104 y dos terminales 106 para la transmisión de datos de enlace ascendente. En cada terminal planificado para la transmisión de datos en el enlace ascendente, una fuente de datos 878 proporciona datos al procesador de datos de TX 880, que codifica, intercala y correlaciona los datos en símbolos de modulación. Si se usan múltiples antenas transmisoras para la transmisión de datos de enlace ascendente, el procesador MIMO de TX 882 recibe y procesa adicionalmente los símbolos de modulación para proporcionar un flujo de vectores de símbolos de modulación para cada antena usada en la transmisión de datos. A continuación, cada flujo de vectores de símbolos es recibido y modulado por un respectivo modulador 854 y transmitido por medio de una antena asociada 852.

[0216] En la estación base 104, antenas 824 reciben las señales transmitidas, y la señal recibida desde cada antena se proporciona a un demodulador 822 respectivo. Cada demodulador 822 realiza un procesamiento complementario al realizado en el modulador 854. Los símbolos de modulación de todos los demoduladores 822 se proporcionan después al procesador de datos/MIMO de RX 840 y se procesan para recuperar los flujos de datos transmitidos por los terminales planificados. El procesador de datos/MIMO de RX 840 realiza un procesamiento complementario al realizado por el procesador de datos de TX 880 y el procesador MIMO de TX 882 y proporciona datos decodificados a un colector de datos 842.

[0217] Para cada terminal 106 que desee transmitir datos en el enlace ascendente durante un intervalo de planificación próximo (o solo los N_T o N_X terminales de mayor prioridad), el procesador de datos/MIMO de RX 840 estima además las condiciones de canal para el enlace ascendente y obtiene la CSI de enlace ascendente (CSI de UL), que se proporciona al controlador 830. El planificador 834 también puede recibir y usar la CSI de enlace ascendente para realizar una serie de funciones tales como (1) seleccionar el mejor conjunto de terminales para la transmisión de datos en el enlace ascendente, (2) determinar un orden de procesamiento particular para los flujos de datos de los terminales seleccionados y (3) determinar la velocidad a utilizar para cada flujo de datos. Para cada intervalo de planificación, el planificador 834 proporciona una planificación de enlace ascendente que indica qué terminal(es) se ha(n) seleccionado para la transmisión de datos, así como sus canales y velocidades de transmisión asignados. La velocidad de cada flujo de datos puede incluir la velocidad de transferencia de datos y el esquema de codificación y modulación que se usará para el flujo de datos.

[0218] El procesador de datos de TX 810 recibe y procesa la planificación de enlace ascendente y proporciona datos procesados indicativos de la planificación a uno o más moduladores 822. El/los modulador(es) 822 acondicionan adicionalmente los datos procesados y transmiten la planificación de enlace ascendente a los terminales por medio del enlace inalámbrico. La planificación de enlace ascendente puede enviarse al terminal usando diversas técnicas de señalización y mensajería.

[0219] En cada terminal activo 106, las señales transmitidas son recibidas por las antenas 852, demoduladas por los demoduladores 854 y proporcionadas al procesador de datos/MIMO de RX 860. El procesador 860 realiza un procesamiento complementario al realizado por el procesador MIMO de TX 820 y el procesador de datos de TX 810 y recupera la planificación de enlace ascendente para ese terminal (si la hubiera) que, a continuación, se proporciona al controlador 870 y se usa para controlar la transmisión de enlace ascendente por el terminal.

[0220] En las FIGS. 8A y 8B, el planificador 834 se muestra implementado dentro de la estación base 104. En otras implementaciones, el planificador 834 puede implementarse dentro de algún otro elemento del sistema MIMO-OFDM 100 (por ejemplo, un controlador de estación base que se acopla a e interactúa con varias estaciones base).

[0221] La FIG. 9 es un diagrama de bloques de un modo de realización de una unidad transmisora 900. Para mayor claridad, la unidad transmisora 900 se describe como la parte transmisora de la estación base 104 en las FIGS. 8A y 8B. Sin embargo, la unidad transmisora 900 también puede usarse para la parte transmisora de cada terminal para transmisiones de enlace ascendente.

[0222] La unidad transmisora 900 es capaz de procesar múltiples flujos de datos para uno o más terminales basándose en la CSI disponible (por ejemplo, la notificada por los terminales). La unidad transmisora 900 incluye (1) un procesador de datos de TX 814x que recibe y procesa bits de información para proporcionar símbolos de modulación y (2) un procesador MIMO de TX 820x que desmultiplexa los símbolos de modulación para las N_T antenas transmisoras.

[0223] En el modo de realización específico mostrado en la FIG. 9, el procesador de datos de TX 814x incluye un desmultiplexor 908 acoplado a varios procesadores de datos de canal 910, un procesador para cada uno de los N_D flujos de datos independientes que se transmitirán al/a los terminal(es). El desmultiplexor 908 recibe y desmultiplexa los bits de información agregados en N_D flujos de datos, cada uno de los cuales puede transmitirse a través de uno o más canales de transmisión. Cada flujo de datos se proporciona a un respectivo procesador de datos de canal 910.

[0224] En el modo de realización mostrado en la FIG. 9, cada procesador de datos de canal 910 incluye un codificador 912, un intercalador de canales 914 y un elemento de correlación de símbolos 916. El codificador 912 codifica los bits de información en el flujo de datos recibido basándose en un esquema de codificación particular para proporcionar bits codificados. El intercalador de canales 914 intercala los bits codificados basándose en un esquema de intercalación particular para proporcionar diversidad. Y el elemento de correlación de símbolos 916 correlaciona los bits intercalados en símbolos de modulación para el uno o más canales de transmisión usados para transmitir el flujo de datos.

[0225] Los datos piloto (por ejemplo, datos de patrón conocido) también pueden codificarse y multiplexarse con los bits de información procesados. Los datos piloto procesados pueden transmitirse (por ejemplo, de una manera multiplexada por división de tiempo (TDM) o multiplexada por división de código (CDM)) 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 sistemas receptores para realizar la estimación de canal.

[0226] Como se muestra en la FIG. 9, la codificación, la intercalación y la modulación de datos (o una combinación de las mismas) pueden ajustarse en base a la CSI disponible (por ejemplo, la notificada por los sistemas receptores). En un esquema de codificación y modulación, la codificación adaptativa se logra usando un código base fijo (por ejemplo, un turbocódigo a un tercio de velocidad) y ajustando la perforación para lograr la velocidad de código deseada, admitida por las SNR de los canales de transmisión usados para transmitir los datos. En este esquema, la perforación se puede realizar después de la intercalación de canales. En otro esquema de codificación y modulación, pueden usarse diferentes esquemas de codificación en base a la CSI notificada. Por ejemplo, cada uno de los flujos de datos se puede codificar con un código independiente. Con este esquema, la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas se puede usar en los receptores para detectar y decodificar los flujos de datos para obtener una estimación más fiable de los flujos de datos transmitidos, como se describe con más detalle a continuación.

[0227] El elemento de correlación de símbolos 916 puede estar diseñado 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 de modulación particular (por ejemplo, QPSK, M-PSK, M-QAM, o algún otro esquema) seleccionado para el flujo de datos. Cada punto de señal correlacionado corresponde a un símbolo de modulación. El número de bits de información que pueden transmitirse para cada símbolo de modulación para un nivel particular de rendimiento (por ejemplo, una PER porcentual) depende de las SNR de los canales de transmisión usados para transmitir el flujo de datos. Por tanto, el esquema de codificación y modulación para cada flujo de datos puede seleccionarse en base a la CSI disponible. La intercalación de canales también se puede ajustar en base a la CSI disponible.

[0228] Los símbolos de modulación del procesador de datos de TX 814x se proporcionan al procesador MIMO de TX 820x. El procesador MIMO de TX 820x recibe N_D flujos de símbolos de modulación desde N_D procesadores de datos de canal 910 y desmultiplexa los símbolos de modulación recibidos en N_T flujos de vectores de símbolos, V_1 a V_{N_T} , un flujo de vectores de símbolos para cada antena usada para transmitir datos. Cada flujo de vectores de símbolos se proporciona a un modulador 822 respectivo. En el modo de realización mostrado en la FIG. 9, cada modulador 822 incluye un procesador de transformada rápida e inversa de Fourier (IFFT) 940, un generador de prefijos cíclicos 942 y un transmisor (TMTR) 944.

[0229] El procesador IFFT 940 convierte cada vector de símbolos recibido en su representación en el dominio de tiempo (que se denomina símbolo OFDM) usando la IFFT. El procesador IFFT 940 puede estar diseñado para realizar la IFFT en cualquier número de subcanales de frecuencia (por ejemplo, 8, 16, 32, ..., N_F , ...). En un modo de realización, para cada vector de símbolos convertido en un símbolo OFDM, el generador de prefijos cíclicos 942 repite una parte de la representación en el dominio de tiempo del símbolo OFDM para formar un "símbolo de transmisión" para una antena transmisora específica. El prefijo cíclico garantiza que el símbolo de transmisión mantenga sus propiedades ortogonales en presencia de dispersión de retardo por trayectos múltiples, mejorando así el rendimiento frente a efectos de trayecto perjudiciales. La implementación del procesador IFFT 940 y del generador de prefijos cíclicos 942 es conocida en la técnica y no se describe en detalle en el presente documento.

[0230] A continuación, el transmisor 944 convierte los símbolos de transmisión de dominio de tiempo de un generador de prefijos cíclicos asociado 942 en una señal analógica y, además, amplifica, filtra, modula en cuadratura y convierte de manera ascendente la señal analógica para proporcionar una señal modulada adecuada para su transmisión a través del enlace inalámbrico. Las señales moduladas de los transmisores 944 se transmiten después desde las antenas 824 a los terminales.

[0231] Un sistema MIMO-OFDM de ejemplo se describe en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/532.492 antes mencionada. La modulación OFDM también se describe en un artículo titulado "Multicarrier Modulation for Data Transmission: An Idea Whose Time Has Come", de John A.C. Bingham, IEEE Communications Magazine, mayo de 1990.

[0232] La FIG. 9 muestra un esquema de codificación y modulación de ejemplo que se puede usar con una CSI total o parcial para proporcionar un rendimiento mejorado (por ejemplo, un elevado caudal de tráfico). Algunos otros esquemas de codificación y modulación se describen con más detalle en las solicitudes de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/854.235, 09/826.481 y 09/956.449, y en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/776.075, titulada "Coding Scheme for a Wireless Communication System [Esquema de codificación para un sistema de comunicación inalámbrica]", presentada el 1 de febrero de 2001, que se asigna al cesionario de la presente solicitud. También se pueden usar otros esquemas de codificación y modulación, y esto está dentro del alcance de la invención.

[0233] La FIG. 10A es un diagrama de bloques de un modo de realización de una unidad receptora 1000a. Para mayor claridad, la unidad receptora 1000a se describe como la parte receptora de un terminal 106 en las FIGS. 8A y 8B. Sin embargo, la unidad receptora 1000a también puede usarse para la parte receptora de la estación base 104 para transmisiones de enlace ascendente.

[0234] Las señales transmitidas desde N_T antenas transmisoras son recibidas por cada una de las N_R antenas 852a a 852r, y la señal recibida desde cada antena se encamina hacia un respectivo demodulador 854 (que también se denomina procesador de sección de entrada). Cada demodulador 854 acondiciona (por ejemplo, filtra y amplifica) una señal recibida respectiva, convierte la señal acondicionada de manera descendente a una frecuencia intermedia o banda base y digitaliza la señal convertida de manera descendente para proporcionar muestras de datos. Cada demodulador 854 puede además demodular las muestras de datos con una señal piloto recuperada.

[0235] Cada demodulador 854 también realiza un procesamiento complementario al realizado por el modulador 822 mostrado en la FIG. 9. En relación con OFDM, cada demodulador 854 incluye un procesador FFT y un desmultiplexor (ninguno de los cuales se muestra en la FIG. 10A por simplicidad). El procesador FFT genera representaciones transformadas de las muestras de datos y proporciona un flujo de vectores de símbolos. Cada vector de símbolos incluye N_F símbolos recibidos para N_F subcanales de frecuencia, y se proporciona un vector para cada período de símbolo. Los N_R flujos de vectores de símbolos de los procesadores FFT de la totalidad de N_R demoduladores se proporcionan después al desmultiplexor, que desmultiplexa cada flujo de vectores de símbolos en N_G flujos de vectores de símbolos recibidos para los N_G grupos de subcanales de frecuencia. Cada vector de símbolos recibido incluye N_k símbolos recibidos para los N_k subcanales de frecuencia en el k-ésimo grupo de subcanales de frecuencia, donde $1 \leq N_k \leq N_F$. El desmultiplexor puede entonces proporcionar hasta $N_G \cdot N_R$ flujos de vectores de símbolos recibidos para los N_G grupos de subcanales de frecuencia en las N_R señales recibidas.

[0236] Dentro de un procesador de datos/MIMO de RX 860a, se usa un procesador espacial/espacio-temporal 1010 para realizar el procesamiento MIMO de los símbolos recibidos para cada grupo de subcanales de frecuencia usado para la transmisión de datos. Se puede usar un procesador espacial/espacio-temporal para realizar el procesamiento MIMO para cada grupo de subcanales de frecuencia, o se puede usar un procesador espacial/espacio-temporal para

realizar el procesamiento MIMO para todos los grupos de subcanales de frecuencia (por ejemplo, mediante multiplexación por división de tiempo).

[0237] El procesador espacial/espacio-temporal 1010 puede diseñarse para realizar un procesamiento espacial o un procesamiento espacio-temporal en los símbolos recibidos para proporcionar estimaciones de los símbolos de modulación transmitidos. El procesamiento espacial se puede usar en un canal no dispersivo (es decir, un canal de desvanecimiento plano) para anular las señales no deseadas y/o maximizar la SNR recibida de cada una de las señales constituyentes en presencia de ruido e interferencia de las otras señales. El procesamiento espacial puede realizarse en base a una técnica de inversión de matriz de correlación de canal (CCMI), una técnica de error cuadrático medio mínimo (MMSE), una técnica de CSI total o alguna otra técnica. El procesamiento espacio-temporal se puede utilizar en un canal dispersivo (es decir, un canal de desvanecimiento selectivo de frecuencia) para mejorar tanto la "diafonía" de las otras señales transmitidas como la interferencia entre símbolos (ISI) de todas las señales transmitidas debido a su dispersión en el canal. El procesamiento espacio-temporal puede realizarse en base a un ecualizador lineal MMSE (MMSE-LE), un ecualizador de retroalimentación de decisión (DFE), un estimador de secuencia de máxima verosimilitud (MLSE) o alguna otra técnica. El procesamiento espacial y espacio-temporal se describe con más detalle en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/993.087 antes mencionada.

[0238] En relación con un grupo de subcanales de frecuencia particular, el procesador espacial/espacio-temporal 1010 recibe y procesa N_R flujos de vectores de símbolos recibidos y proporciona N_T flujos de vectores de símbolos recuperados. Cada vector de símbolos recuperado incluye hasta N_k símbolos recuperados que son estimaciones de los N_k símbolos de modulación transmitidos en los N_k subcanales de frecuencia del k-ésimo grupo de subcanales de frecuencia en un período de símbolo. El procesador espacial/espacio-temporal 1010 puede estimar además la SNR posprocesada para cada flujo de datos recibido. La estimación de SNR puede obtenerse como se describe en las solicitudes de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/956.449, 09/854.235 y 09/993.087 antes mencionadas.

[0239] Un selector 1012 recibe los N_T flujos de vectores de símbolos recuperados desde el procesador espacial/espacio-temporal 1010 y extrae los símbolos recuperados correspondientes al uno o más flujos de datos a recuperar. De forma alternativa, los símbolos recuperados deseados se extraen dentro del procesador espacial/espacio-temporal 1010. En cualquier caso, los símbolos recuperados deseados se extraen y se proporcionan a un procesador de datos de RX 1020.

[0240] Dentro del procesador de datos de RX 1020, un elemento de desmodulación 1022 demodula cada símbolo recuperado de acuerdo con un esquema de demodulación (por ejemplo, M-PSK, M-QAM) usado para ese símbolo en la unidad transmisora. A continuación, los datos demodulados son desintercalados por un desintercalador 1024 y los datos desintercalados son decodificados adicionalmente por un decodificador 1026. La demodulación, la desintercalación y la decodificación se realizan de manera complementaria a la modulación, la intercalación y la codificación realizadas en la unidad transmisora. Por ejemplo, se puede usar un decodificador turbo o un decodificador de Viterbi para el decodificador 1026 si se realiza codificación turbo o convolucional, respectivamente, en la unidad transmisora. El flujo de datos decodificado del decodificador 1026 representa una estimación del flujo de datos transmitido.

[0241] La FIG. 10B es un diagrama de bloques de una unidad receptora 1000b capaz de implementar la técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas. La unidad receptora 1000b también se puede usar para la parte receptora de la estación base 104 o el terminal 106. Las señales transmitidas son recibidas por cada una de las N_R antenas 852, y la señal recibida desde cada antena se encamina hacia un respectivo demodulador 854. Cada demodulador 854 procesa una señal recibida respectiva y proporciona un flujo de símbolos recibidos a un procesador de datos/MIMO de RX 860b. El procesador de datos/MIMO de RX 860b puede usarse para procesar los N_R flujos de vectores de símbolos recibidos desde las N_R antenas receptoras para cada grupo de subcanales de frecuencia usados para la transmisión de datos, donde cada vector de símbolos recibido incluye N_k símbolos recibidos para los N_k subcanales de frecuencia en el k-ésimo grupo de subcanales de frecuencia.

[0242] En el modo de realización mostrada en la FIG. 10B, el procesador de datos/MIMO de RX 860b incluye varias fases sucesivas (es decir, en cascada) de procesamiento de receptor 1050, una fase para cada una de las señales transmitidas a recuperar. En un esquema de procesamiento de transmisión, se transmite un flujo de datos independiente en cada subcanal espacial de cada grupo de subcanales de frecuencia. En este esquema de procesamiento de transmisión, el número de flujos de datos para cada grupo de subcanales de frecuencia es igual al número de señales transmitidas, que también es igual al número de antenas transmisoras usadas para la transmisión de datos (que pueden ser todas o un subconjunto de las antenas transmisoras disponibles). Para mayor claridad, el procesador de datos/MIMO de RX 860b se describe para este esquema de procesamiento de transmisión.

[0243] Cada fase de procesamiento de receptor 1050 (excepto la última fase 1050n) incluye un procesador de datos/MIMO de canal 1060 acoplado a un cancelador de interferencia 1070, y la última fase 1050n solo incluye un procesador de datos/MIMO de canal 1060n. En la primera fase de procesamiento de receptor 1050a, el procesador de datos/MIMO de canal 1060a recibe y procesa los N_R flujos de vectores de símbolos recibidos desde los demoduladores 854a a 854r para proporcionar un flujo de datos decodificado para la primera señal transmitida. Y para cada una de las fases segunda a última 1050b a 1050n, el procesador de datos/MIMO de canal 1060 para esa fase

recibe y procesa los N_R flujos de vectores de símbolos modificados del cancelador de interferencia 1070 de la fase anterior para obtener un flujo de datos decodificado para la señal transmitida que se está recuperando en esa fase. Cada procesador de datos/MIMO de canal 1060 proporciona además CSI (por ejemplo, la SNR) para el canal de transmisión asociado.

[0244] En la primera etapa de procesamiento de receptor 1050a, el cancelador de interferencia 1070a recibe los N_R flujos de vectores de símbolos recibidos desde la totalidad de N_R demoduladores 854. Y para cada una de las fases de la segunda a la última, el cancelador de interferencia 1070 recibe los N_R flujos de vectores de símbolos modificados desde el cancelador de interferencia de la fase anterior. Cada cancelador de interferencia 1070 también recibe el flujo de datos decodificado desde el procesador de datos/MIMO de canal 1060 dentro de la misma fase, y realiza el procesamiento (por ejemplo, codificación, intercalación y modulación) para obtener N_T flujos de vectores de símbolos remodulados que son estimaciones de los N_T flujos de vectores de símbolos de modulación transmitidos para el grupo de subcanales de frecuencia.

[0245] Los N_T flujos de vectores de símbolos remodulados (para la n -ésima iteración) se procesan adicionalmente con la respuesta de canal estimada para proporcionar estimaciones, $\hat{\mathbf{r}}^n$, de la interferencia debida al flujo de datos decodificado. Las estimaciones $\hat{\mathbf{r}}^n$ incluyen N_R vectores, siendo cada vector una estimación de una componente en una de las N_R señales recibidas debido al flujo de datos decodificado. Estas componentes son interferencias con las señales transmitidas restantes (aún no detectadas) incluidas en las N_R señales recibidas. Por tanto, las estimaciones de interferencia, $\hat{\mathbf{r}}^n$, se restan (es decir, cancelan) de los flujos de vectores de símbolos recibidos, $\mathbf{r}^n$, para proporcionar N_R flujos de vectores de símbolos modificados, $\mathbf{r}^{n+1}$, que no poseen las componentes del flujo de datos decodificado. Los flujos de vectores de símbolos modificados, $\mathbf{r}^{n+1}$, se proporcionan a la siguiente fase de procesamiento de receptor, como se muestra en la FIG. 10B. Cada cancelador de interferencia 1070 proporciona por tanto N_R flujos de vectores de símbolos modificados que incluyen todas las componentes de interferencia, salvo las canceladas. El controlador 870 se puede usar para regular diversas fases en el procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas.

[0246] La técnica de procesamiento de receptor de cancelaciones sucesivas se describe con más detalle en las solicitudes de patente de EE. UU. con n.º de serie 09/854.235 y 09/993.087 antes mencionadas, y en el documento de P.W. Wolniansky *et al.* titulado "V-BLAST: An Architecture for Achieving Very High Data Rates over the Rich-Scattering Wireless Channel", Proc. ISSSE-98, Pisa, Italia.

[0247] La FIG. 10B muestra una estructura de receptor que puede usarse de una manera sencilla cuando se transmite un flujo de datos independiente a través de cada antena transmisora de cada grupo de subcanales de frecuencia. En este caso, cada fase de procesamiento de receptor 1050 puede hacerse funcionar para recuperar uno de los flujos de datos transmitidos y para proporcionar el flujo de datos decodificado correspondiente al flujo de datos recuperado.

[0248] En algunos otros esquemas de procesamiento de transmisión, un flujo de datos puede transmitirse a través de múltiples antenas transmisoras, subcanales de frecuencia y/o ranuras de tiempo para proporcionar diversidad espacial, de frecuencia y/o de tiempo, respectivamente. En estos esquemas, el procesamiento de receptor obtiene inicialmente un flujo de símbolos recibidos para cada antena transmisora de cada subcanal de frecuencia. Los símbolos de modulación para múltiples antenas transmisoras, subcanales de frecuencia y/o ranuras de tiempo pueden combinarse después de manera complementaria como la desmultiplexación realizada en la unidad transmisora. El flujo de símbolos combinados se procesa entonces para recuperar el flujo de datos transmitido.

[0249] Por simplicidad, la arquitectura de receptor mostrada en la FIG. 10B proporciona los flujos de vectores de símbolos (recibidos o modificados) a cada fase de procesamiento de receptor 1050, y estos flujos tienen las componentes de interferencia debidas a la eliminación (es decir, cancelación) de flujos de datos previamente decodificados. En el modo de realización mostrada en la FIG. 10B, cada fase elimina las componentes de interferencia debidas al flujo de datos decodificado por esa etapa. En algunos otros diseños, los flujos de vectores de símbolos recibidos pueden proporcionarse a todas las fases, y cada fase puede realizar la cancelación de las componentes de interferencia de todos los flujos de datos previamente decodificados (que pueden proporcionarse desde fases anteriores). La cancelación de interferencia también puede omitirse para una o más fases (por ejemplo, si la SNR para el flujo de datos es alta). Se pueden realizar varias modificaciones en la arquitectura de receptor mostrada en la FIG. 10B y están dentro del alcance de la invención.

[0250] Las FIGS. 10A y 10B representan dos modos de realización de una unidad receptora capaz de procesar una transmisión de datos, determinar las características de los canales de transmisión (por ejemplo, la SNR posprocesada) y notificar la CSI a la unidad transmisora. También se pueden contemplar otros diseños basados en las técnicas presentadas en el presente documento y otras técnicas de procesamiento de receptor, y están dentro del alcance de la invención.

Información de estado de canal (CSI)

[0251] La CSI usada para seleccionar la velocidad de transferencia de datos y el esquema de codificación y modulación apropiados para cada flujo de datos independiente puede comprender cualquier tipo de información que sea indicativa de las características del enlace de comunicación. La CSI puede clasificarse como "CSI total" o "CSI

parcial". Se pueden proporcionar varios tipos de información como CSI total o parcial, y algunos ejemplos se describen a continuación.

[0252] En un modo de realización, la CSI parcial comprende SNR, que puede obtenerse como la relación entre la potencia de señal y la potencia de ruido e interferencia. Típicamente, la SNR se estima y se proporciona para cada canal de transmisión usado para la transmisión de datos (por ejemplo, cada flujo de datos de transmisión), aunque también se puede proporcionar una SNR agregada para varios canales de transmisión. La estimación de SNR puede cuantificarse a un valor que tenga un número particular de bits. En un modo de realización, la estimación de SNR se correlaciona con un índice de SNR, por ejemplo, usando una tabla de consulta.

[0253] En otro modo de realización, la CSI parcial comprende potencia de señal y potencia de ruido e interferencia. Estas dos componentes pueden obtenerse y proporcionarse por separado para cada canal de transmisión o cada conjunto de canales de transmisión usados para la transmisión de datos.

[0254] En aún otro modo de realización, la CSI parcial comprende potencia de señal, potencia de ruido y potencia de interferencia. Estas tres componentes pueden derivarse y proporcionarse para cada canal de transmisión o un conjunto de canales de transmisión usados para la transmisión de datos.

[0255] En aún otro modo de realización, la CSI parcial comprende una relación señal/ruido y una lista de potencias de interferencia para términos de interferencia observables. Esta información puede derivarse y proporcionarse para cada canal de transmisión o cada conjunto de canales de transmisión usados para la transmisión de datos.

[0256] En aún otro modo de realización, la CSI parcial comprende componentes de señal en forma de matriz (por ejemplo, $N_R \times N_T$ entradas complejas para todos los pares de antenas de transmisión-recepción) y componentes de ruido e interferencia en forma de matriz (por ejemplo, $N_R \times N_T$ entradas complejas). La unidad transmisora puede entonces combinar apropiadamente las componentes de señal y las componentes de ruido e interferencia para los pares de antenas de transmisión-recepción apropiados para obtener la calidad de cada canal de transmisión usado para la transmisión de datos (por ejemplo, la SNR posprocesada para cada flujo de datos transmitidos, tal como se recibe en la unidad receptora).

[0257] En aún otro modo de realización, la CSI parcial comprende un indicador de velocidad de transferencia de datos para cada flujo de datos de transmisión. La calidad de los canales de transmisión que se utilizarán para la transmisión de datos se puede determinar inicialmente (por ejemplo, en base a la SNR estimada para el canal de transmisión) y, a continuación, se puede identificar una velocidad de transferencia de datos correspondiente a la calidad de canal determinada (por ejemplo, en base a una tabla de consulta) para cada canal de transmisión o cada grupo de canales de transmisión. La velocidad de transferencia de datos identificada es indicativa de la velocidad de transferencia de datos máxima que se puede transmitir en el canal de transmisión para el nivel de rendimiento requerido. La velocidad de transferencia de datos puede correlacionarse con y representarse mediante un indicador de velocidad de transferencia de datos (DRI), que puede codificarse de forma eficaz. Por ejemplo, si la unidad transmisora admite (hasta) siete velocidades de transferencia de datos posibles para cada antena transmisora, entonces se puede usar un valor de 3 bits para representar el DRI donde, por ejemplo, un cero puede indicar una velocidad de transferencia de datos de cero (es decir, no usar la antena transmisora) y los valores del 1 al 7 se pueden usar para indicar siete velocidades de transferencia de datos diferentes. En una implementación típica, las mediciones de calidad de canal (por ejemplo, las estimaciones de SNR) se correlacionan directamente con el DRI en base a, por ejemplo, una tabla de consulta.

[0258] En aún otro modo de realización, la CSI parcial comprende una velocidad que se usará en la unidad transmisora para cada flujo de datos. En este modo de realización, la velocidad puede identificar el esquema de codificación y modulación particular que se utilizará para el flujo de datos de manera que se logre el nivel de rendimiento deseado.

[0259] En aún otro modo de realización, la CSI parcial comprende un indicador diferencial para una medida particular de calidad para un canal de transmisión. Inicialmente, la SNR o DRI o alguna otra medición de calidad para el canal de transmisión se determina y se notifica como un valor de medición de referencia. A partir de entonces se procede a supervisar la calidad del enlace y se determina la diferencia entre la última medición notificada y la medición actual. La diferencia puede entonces cuantificarse a uno o más bits, y la diferencia cuantificada se correlaciona con y se representa mediante el indicador diferencial que, posteriormente, se notifica. El indicador diferencial puede indicar un aumento o disminución de la última medición notificada mediante un tamaño de etapa particular (o mantener la última medición notificada). 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 de etapa particular, o (2) la velocidad de transferencia de datos debe ajustarse en una cantidad particular, o algún otro cambio. La medición de referencia puede transmitirse periódicamente para garantizar que no se acumulen errores en los indicadores diferenciales y/o recepciones erróneas de estos indicadores.

[0260] La CSI total incluye una caracterización suficiente (por ejemplo, la ganancia compleja) en todo el ancho de banda del sistema (es decir, cada subcanal de frecuencia) para el trayecto de propagación entre cada par de antenas de transmisión-recepción en la matriz de respuesta de canal $N_R \times N_T \mathbf{H}(k)$.

[0261] En un modo de realización, la CSI total comprende modos propios, así como cualquier otra información que sea indicativa de, o equivalente a, una SNR. Por ejemplo, la información relacionada con SNR puede ser una indicación de velocidad de transferencia de datos por modo propio, una indicación del esquema de codificación y modulación que se utilizará por modo propio, la potencia de señal y de interferencia por modo propio, la relación señal/interferencia por modo propio, etc. La información descrita anteriormente para la CSI parcial también se puede proporcionar como información relacionada con SNR.

[0262] En otro modo de realización, la CSI total comprende una matriz $\mathbf{A} = \mathbf{H}^H \mathbf{H}$. Esta matriz $\mathbf{A}$ es suficiente para determinar los modos y los valores propios del canal, y puede ser una representación más eficaz del canal (por ejemplo, se pueden necesitar menos bits para transmitir la CSI total para esta representación).

[0263] También se pueden usar técnicas de actualización diferencial para todos los tipos de datos de CSI total. Por ejemplo, pueden enviarse periódicamente actualizaciones diferenciales de la caracterización de CSI total, cuando el canal cambia en cierta medida, etc.

[0264] También pueden usarse otras formas de CSI total o parcial y están dentro del alcance de la invención. En general, la CSI total o parcial incluye información suficiente en cualquier forma que pueda usarse para ajustar el procesamiento en la unidad transmisora de manera que se logre el nivel de rendimiento deseado para los flujos de datos transmitidos.

Obtención y notificación de CSI

[0265] La CSI puede obtenerse en base a las señales transmitidas por la unidad transmisora y recibidas en la unidad receptora. En un modo de realización, la CSI se obtiene en base a una señal piloto incluida en las señales transmitidas. De forma alternativa o adicional, la CSI puede obtenerse en base a los datos incluidos en las señales transmitidas.

[0266] En aún otro modo de realización, la CSI comprende una o más señales transmitidas en el enlace inverso desde la unidad receptora hasta la unidad transmisora. En algunos sistemas, puede existir un grado de correlación entre el enlace descendente y el enlace ascendente (por ejemplo, en sistemas dúplex por división de tiempo (TDD), donde el enlace ascendente y el enlace descendente comparten el mismo ancho de banda del sistema de una manera multiplexada por división de tiempo). En estos sistemas, la calidad del enlace descendente puede estimarse (con un grado de precisión requerido) en base a la calidad del enlace ascendente, que puede estimarse en base a señales (por ejemplo, señales piloto) transmitidas desde la unidad receptora. Las señales piloto transmitidas en el enlace ascendente representarían entonces un medio por el cual la unidad transmisora podría estimar la CSI observada en la unidad receptora. En los sistemas TDD, la unidad transmisora puede obtener la matriz de respuesta de canal $\mathbf{H}(k)$ (por ejemplo, en base a la señal piloto transmitida en el enlace ascendente), tener en cuenta las diferencias entre las diversas disposiciones de transmisión y recepción y recibir una estimación de la variación de ruido en la unidad receptora. Los deltas de las diversas disposiciones pueden resolverse mediante un procedimiento de calibración periódico que puede implicar retroalimentación entre la unidad receptora y la unidad transmisora.

[0267] La calidad de la señal puede estimarse en la unidad receptora en base a diversas técnicas. Algunas de estas técnicas se describen en las siguientes patentes, que están asignadas al cesionario de la presente solicitud:

- Patente de EE. UU. n.º 5,799,005, titulada "System and Method for Determining Received Pilot Power and Path Loss in a CDMA Communication System [Sistema y procedimiento para determinar la potencia piloto recibida y la pérdida de trayecto en un sistema de comunicación CDMA]", emitida el 25 de agosto de 1998;
- Patente de EE. UU. n.º 5,903,554, titulada "Method and Apparatus for Measuring Link Quality in a Spread Spectrum Communication System [Procedimiento y aparato para medir la calidad de enlace en un sistema de comunicación de espectro ensanchado]", emitida el 11 de mayo de 1999;
- Patentes de EE. UU. n.º 5,056,109 y 5,265,119, ambas tituladas "Method and Apparatus for Controlling Transmission Power in a CDMA Cellular Mobile Telephone System [Procedimiento y aparato para controlar la potencia de transmisión en un sistema de telefonía móvil celular CDMA]", emitidas, respectivamente, el 8 de octubre de 1991 y el 23 de noviembre de 1993; y
- Patente de EE. UU. n.º 6,097,972, titulada "Method and Apparatus for Processing Power Control Signals in CDMA Mobile Telephone System [Procedimiento y aparato para procesar señales de control de potencia en un sistema de telefonía móvil CDMA]", emitida el 1 de agosto de 2000.

[0268] La CSI se puede notificar a la unidad transmisora usando diversos esquemas de transmisión de CSI. Por ejemplo, la CSI se puede enviar completa, de manera diferencial o una combinación de lo anterior. En un modo de realización, la CSI total o parcial se notifica periódicamente y las actualizaciones diferenciales se envían en base a la CSI transmitida anteriormente. Como ejemplo de la CSI total, las actualizaciones pueden ser correcciones (basadas en una señal de error) de los modos propios notificados. Típicamente, los valores propios no cambian tan rápidamente

como los modos propios, por lo que estos pueden actualizarse a un ritmo menor. En otro modo de realización, la CSI solo se envía cuando hay un cambio (por ejemplo, si el cambio excede un umbral particular), lo que puede reducir la velocidad efectiva del canal de retroalimentación. Como ejemplo de CSI parcial, las SNR pueden enviarse de regreso (por ejemplo, de forma diferencial) solo cuando cambian. En un sistema OFDM, la correlación en el dominio de la frecuencia puede aprovecharse para permitir la reducción de la cantidad de CSI a retroalimentar. Como ejemplo para un sistema OFDM que usa una CSI parcial, si la SNR correspondiente a un subcanal espacial particular para subcanales de frecuencia NM es similar, se puede notificar la SNR y el primer y último subcanales de frecuencia para los que esta condición es verdadera. También se pueden usar otras técnicas de recuperación de errores de canal de compresión y retroalimentación para reducir la cantidad de datos a retroalimentar para la CSI y están dentro del alcance de la invención.

[0269] Diversos tipos de información para la CSI y diversos mecanismos de notificación de CSI también se describen en la solicitud de patente de EE. UU. con n.º de serie 08/963,386, titulada "Method and Apparatus for High Rate Packet Data Transmission [Procedimiento y aparato para la transmisión de datos en paquetes de alta velocidad]", presentada el 3 de noviembre de 1997, asignada al cesionario del presente solicitud, y en la "TIE/EIA/IS-856 cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification".

[0270] Para mayor claridad, se han descrito diversos aspectos y modos de realización de la asignación de recursos específicamente para el enlace descendente y el enlace ascendente. También se pueden usar diversas técnicas descritas en el presente documento para asignar recursos en redes *ad hoc* o de igual a igual, y esto está dentro del alcance de la invención.

[0271] El sistema MIMO-OFDM descrito en el presente documento también puede estar diseñado para implementar cualquier número de normas y diseños para CDMA, TDMA, FDMA y otras técnicas de acceso múltiple. Las normas CDMA incluyen las normas IS-95, cdma2000 y W-CDMA, y las normas TDMA incluyen la norma del Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM).

[0272] Los elementos de la estación base y los terminales pueden implementarse con uno o más procesadores de señales digitales (DSP), circuitos integrados específicos de la aplicación (ASIC), procesadores, microprocesadores, controladores, microcontroladores, matrices de puertas programables *in situ* (FPGA), dispositivos de lógica programable, otras unidades electrónicas o cualquier combinación de los mismos. Algunas de las funciones y el procesamiento descritos en el presente documento también pueden implementarse con software ejecutado en un procesador.

[0273] Determinados aspectos de la invención pueden implementarse con una combinación de software y hardware. Por ejemplo, el procesamiento para planificar terminales para la transmisión de datos de enlace descendente y/o de enlace ascendente puede realizarse en base a códigos de programa ejecutados en un procesador (planificador 834 en la FIG. 8).

[0274] Los títulos se incluyen aquí como referencia y para ayudar a ubicar determinadas secciones. Estos títulos no pretenden limitar el alcance de los conceptos que en ellos se describen, y estos conceptos pueden tener aplicabilidad en otras secciones a lo largo de toda la memoria descriptiva.

[0275] La descripción anterior de los modos de realización divulgados se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica realice o use la presente invención. Diversas modificaciones de estos modos de realización resultarán fácilmente evidentes para los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en el presente documento pueden aplicarse a otros modos de realización sin apartarse del alcance de la divulgación. Por tanto, la presente divulgación no pretende limitarse a los modos de realización mostrados en el presente documento sino que ha de estar de acuerdo con el alcance más amplio coherente con los principios y características novedosas divulgados en el presente documento.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para comunicación inalámbrica, que comprende:
 - 5 seleccionar (514) una pluralidad de conjuntos de terminales para una posible transmisión de datos en un recurso, incluyendo cada conjunto más de un terminal, siendo cada conjunto de terminales diferente;
donde el procedimiento comprende las etapas de:
 - 10 evaluar (520) una métrica de rendimiento de cada uno de la pluralidad de conjuntos de terminales;
seleccionar (528) un conjunto de terminales entre la pluralidad de conjuntos de terminales en base al rendimiento métrico de rendimiento evaluado de cada conjunto de terminales; y
 - 15 planificar (536) cada terminal del conjunto seleccionado de terminales para la transmisión de datos en el recurso.
 2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la evaluación de una métrica de rendimiento comprende
 - 20 recuperar un conjunto de vectores de estimación de canal para cada conjunto de terminales, y
determinar el rendimiento de cada conjunto de terminales en base al conjunto de vectores de estimación de canal para el conjunto de terminales.
 - 25 3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la evaluación de una métrica de rendimiento comprende
determinar relaciones de señal/ruido e interferencia, SNR, para cada conjunto de terminales, y
determinar el rendimiento de cada conjunto de terminales en base a las SNR para el conjunto de terminales.
 - 30 4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la evaluación de una métrica de rendimiento comprende
recibir información de estado de canal para cada conjunto de terminales, y
35 determinar el rendimiento de cada conjunto de terminales en base a la información de estado de canal para el conjunto de terminales.
 5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la evaluación de una métrica de rendimiento comprende
 - 40 calcular un caudal de tráfico global para cada conjunto de terminales, y
determinar el rendimiento de cada conjunto de terminales en base al caudal de tráfico global para el conjunto de terminales.
 - 45 6. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende, además:
 - identificar una pluralidad de terminales a considerar para la planificación;
 - mantener al menos una métrica para cada uno de la pluralidad de terminales; y
 - 50 formar la pluralidad de conjuntos de terminales con la pluralidad de terminales en base a métricas para la pluralidad de terminales.
 7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el conjunto seleccionado de terminales incluye múltiples terminales, cada uno de los cuales tiene una única antena.
 - 55 8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el conjunto seleccionado de terminales incluye un terminal que tiene múltiples antenas y está planificado para la transmisión de datos en múltiples subcanales espaciales.
 - 60 9. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende, además:
 - repetir (534) las etapas de la reivindicación 1 para un segundo recurso, donde el recurso y el segundo recurso ocupan subportadoras diferentes.
 - 65 10. Un aparato para comunicación inalámbrica, que comprende:

medios para seleccionar una pluralidad de conjuntos de terminales para una posible transmisión de datos en un recurso, incluyendo cada conjunto más de un terminal, siendo cada conjunto de terminales diferente;

donde el aparato comprende:

medios para evaluar una métrica de rendimiento de cada uno de la pluralidad de conjuntos de terminales;

medios para seleccionar un conjunto de terminales entre la pluralidad de conjuntos de terminales en base al rendimiento métrico de rendimiento evaluado de cada conjunto de terminales; y

medios para planificar cada terminal del conjunto seleccionado de terminales para la transmisión de datos en el recurso.

11. El aparato de la reivindicación 10, en el que los medios para evaluar el rendimiento comprenden

medios para recuperar un conjunto de vectores de estimación de canal para cada conjunto de terminales, y

medios para determinar el rendimiento de cada conjunto de terminales en base al conjunto de vectores de estimación de canal para el conjunto de terminales.

12. El aparato de la reivindicación 10, en el que los medios para evaluar el rendimiento comprenden

medios para determinar relaciones de señal/ruido e interferencia, SNR, para cada conjunto de terminales, y

medios para determinar el rendimiento de cada conjunto de terminales en base a las SNR para el conjunto de terminales.

13. El aparato de la reivindicación 10, en el que los medios para evaluar el rendimiento comprenden

medios para recibir información de estado de canal para cada conjunto de terminales, y

medios para determinar el rendimiento de cada conjunto de terminales en base a la información de estado de canal para el conjunto de terminales.

14. El aparato de la reivindicación 10, en el que los medios para evaluar el rendimiento comprenden

medios para calcular un caudal de tráfico global para cada conjunto de terminales, y

medios para determinar el rendimiento de cada conjunto de terminales en base al caudal de tráfico global para el conjunto de terminales.

15. El aparato de la reivindicación 10, en el que los medios para evaluar el rendimiento comprenden

medios para identificar una pluralidad de terminales a considerar para la planificación;

medios para mantener al menos una métrica para cada uno de la pluralidad de terminales; y

medios para formar la pluralidad de conjuntos de terminales con la pluralidad de terminales en base a métricas para la pluralidad de terminales.

16. El aparato de la reivindicación 10, en el que el conjunto seleccionado de terminales incluye múltiples terminales, cada uno de los cuales tiene una única antena.

17. El aparato de la reivindicación 10, en el que el conjunto seleccionado de terminales incluye un terminal que tiene múltiples antenas y está planificado para la transmisión de datos en múltiples subcanales espaciales.

18. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde el procedimiento comprende:

determinar información de estado de canal para al menos una antena en un terminal;

enviar la información de estado de canal a una estación base; y

recibir una concesión que planifica el terminal para la transmisión de datos en un recurso,

donde el terminal está en un conjunto de terminales planificados para la transmisión de datos en el recurso, el conjunto de terminales se selecciona a partir de una pluralidad de conjuntos de terminales en base al rendimiento

de cada conjunto de terminales, el rendimiento del conjunto de terminales planificados para la transmisión de datos se determina en base a, al menos, la información de estado de canal del terminal.

- 5 **19.** Un programa informático que comprende instrucciones que, cuando el programa es ejecutado por un ordenador, hacen que el ordenador lleve a cabo el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 o 18.

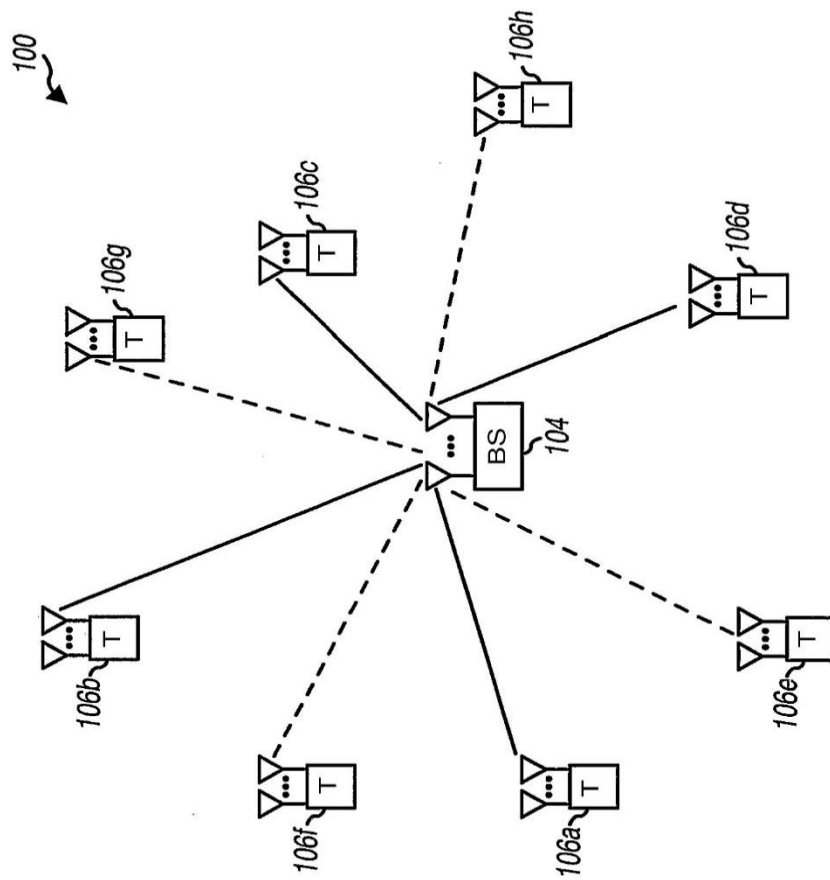
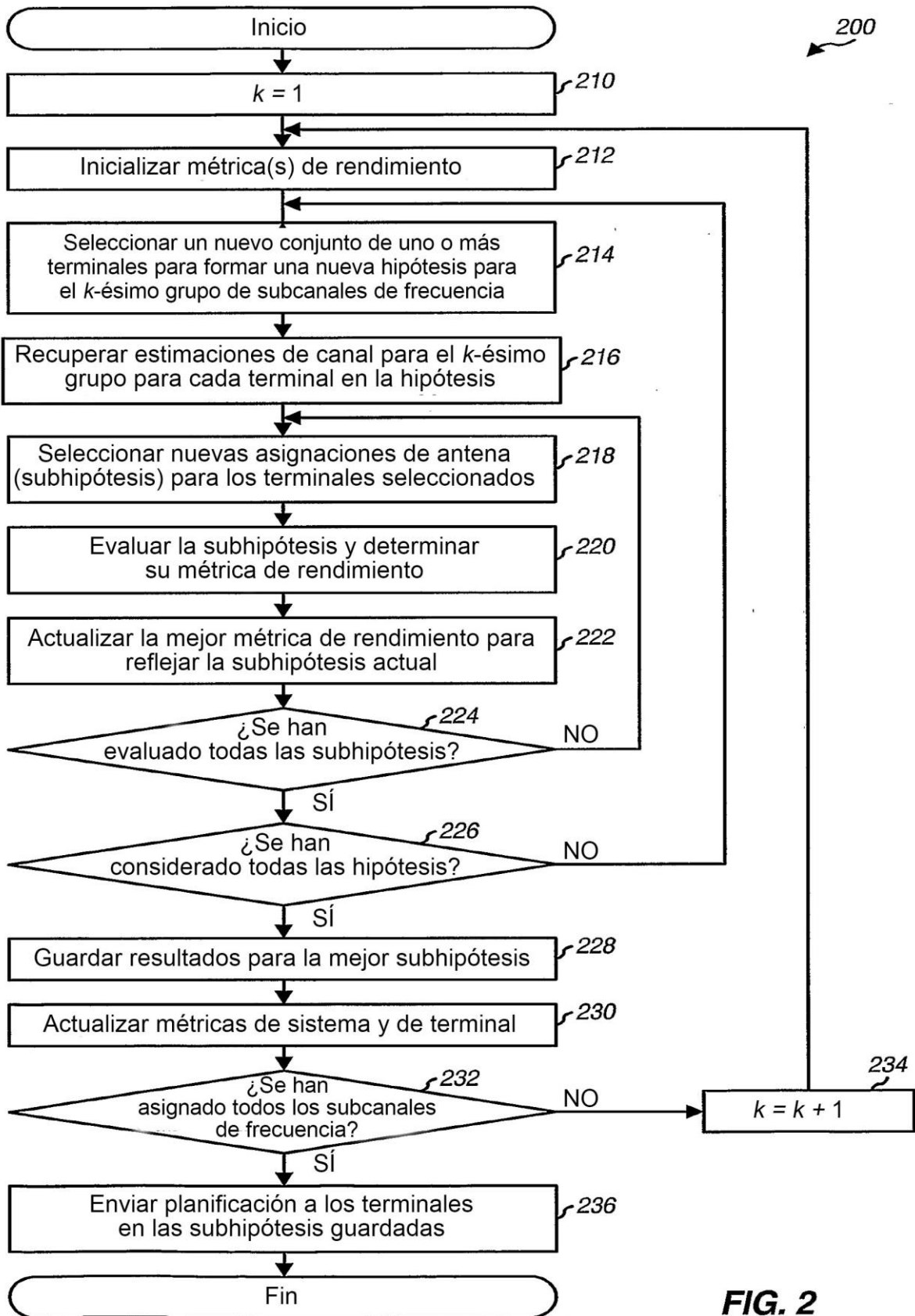


FIG. 1



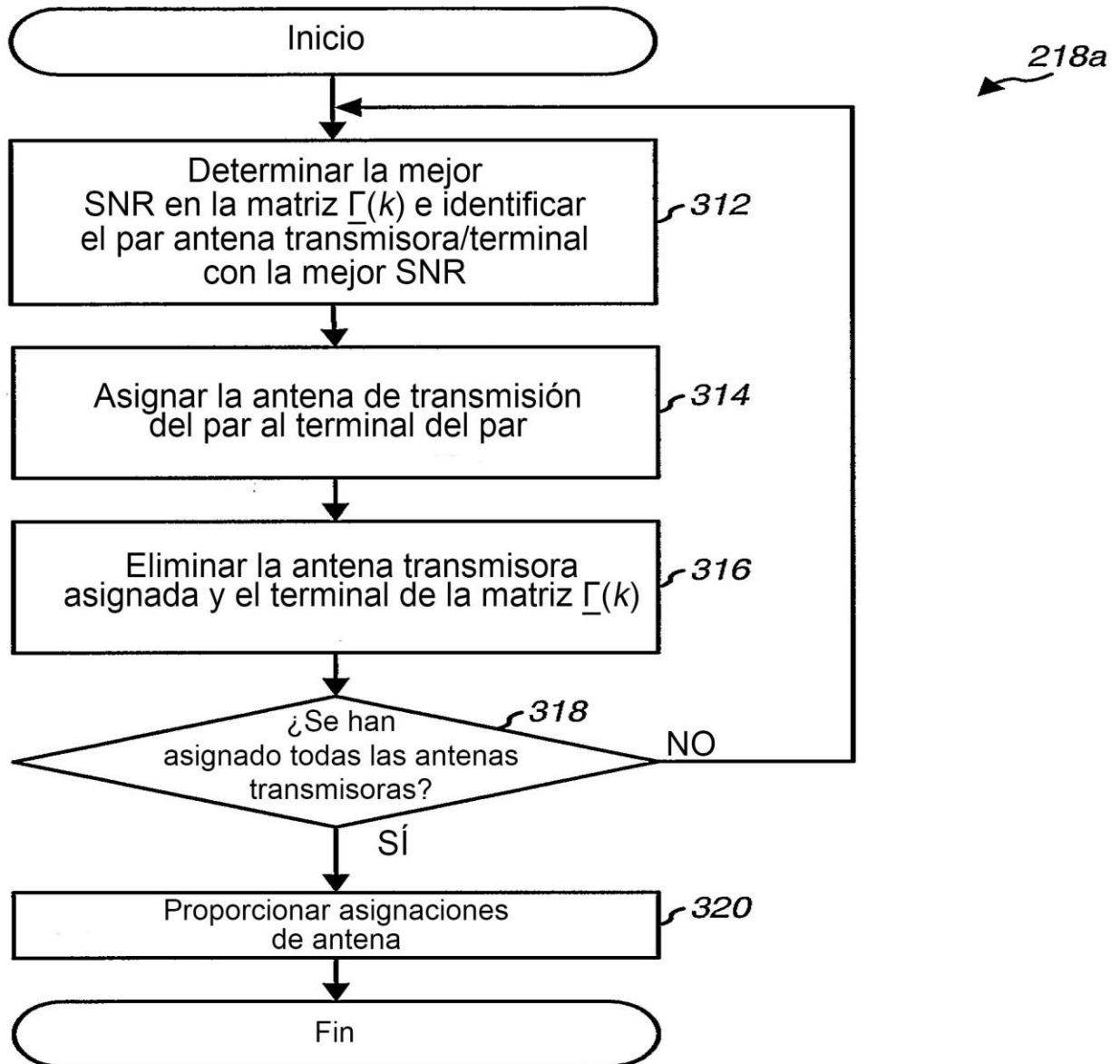
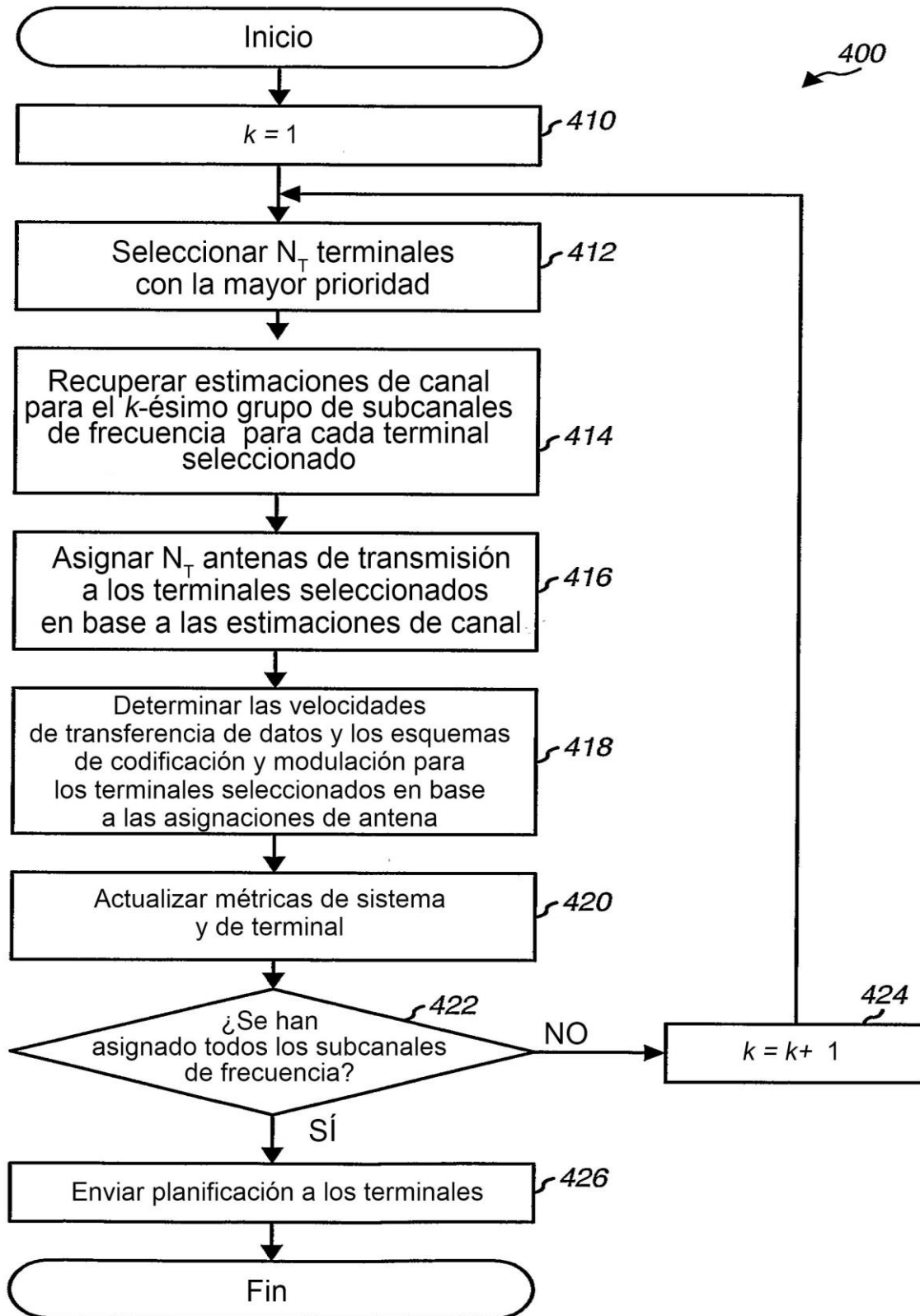


FIG. 3

**FIG. 4**

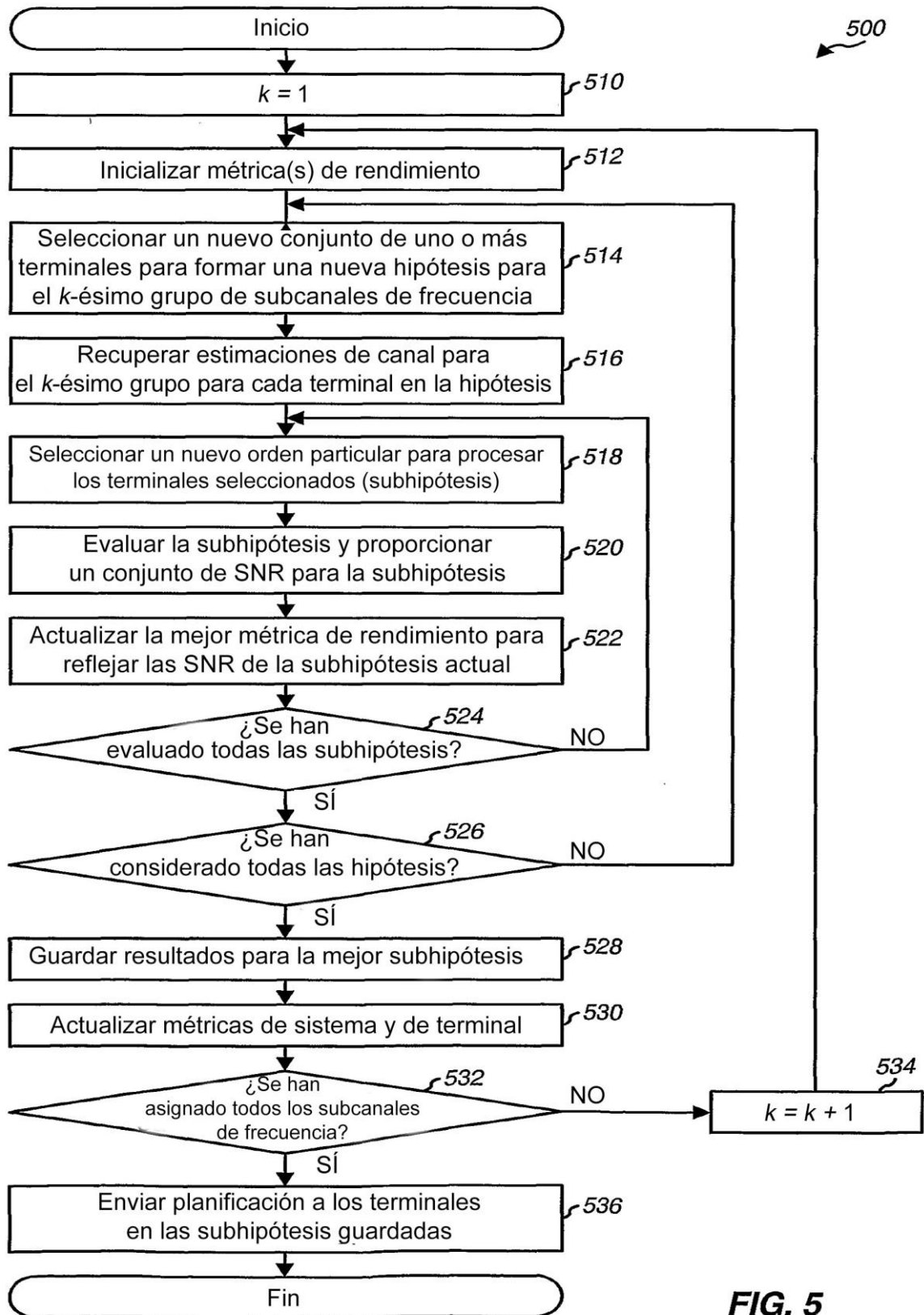


FIG. 5

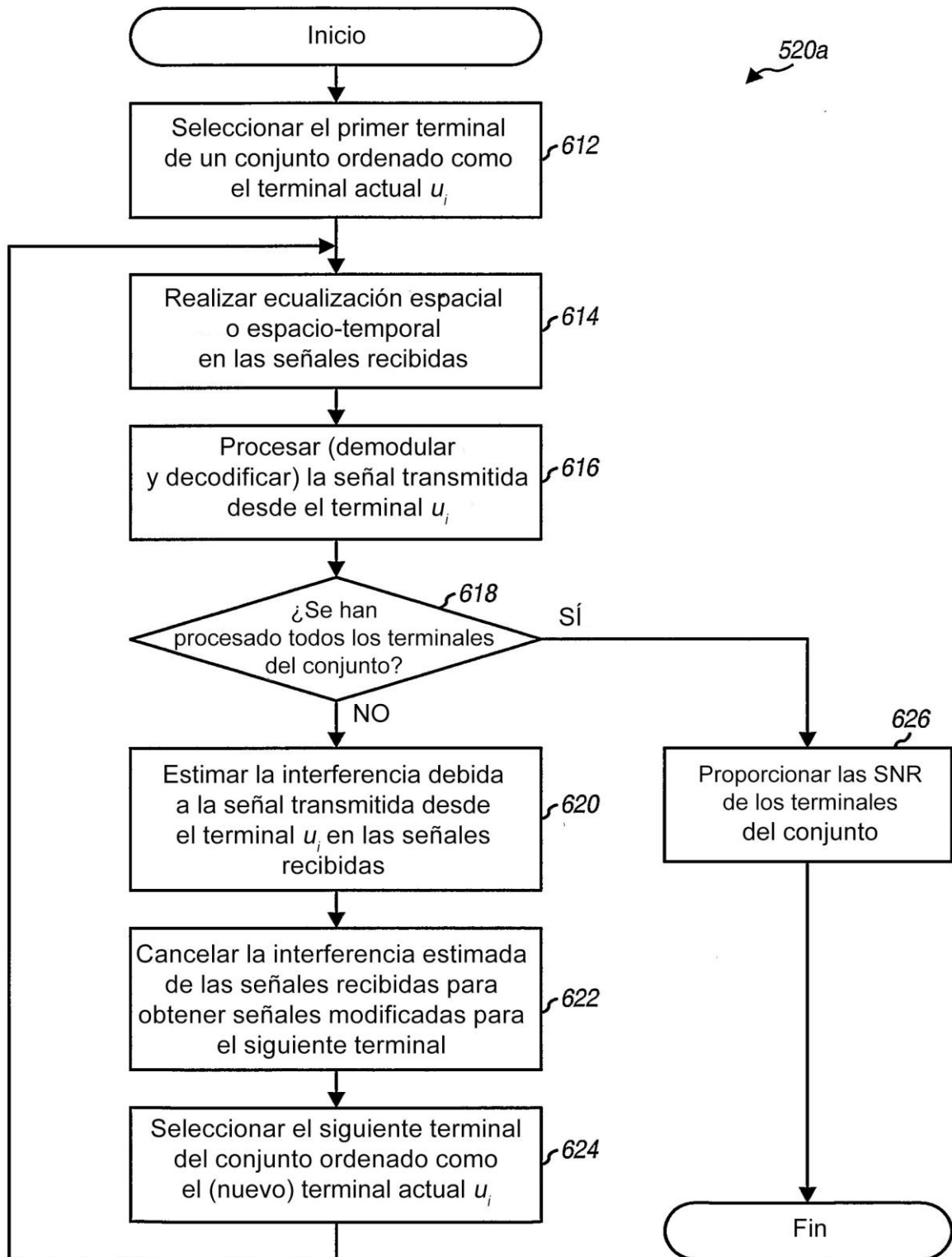


FIG. 6A

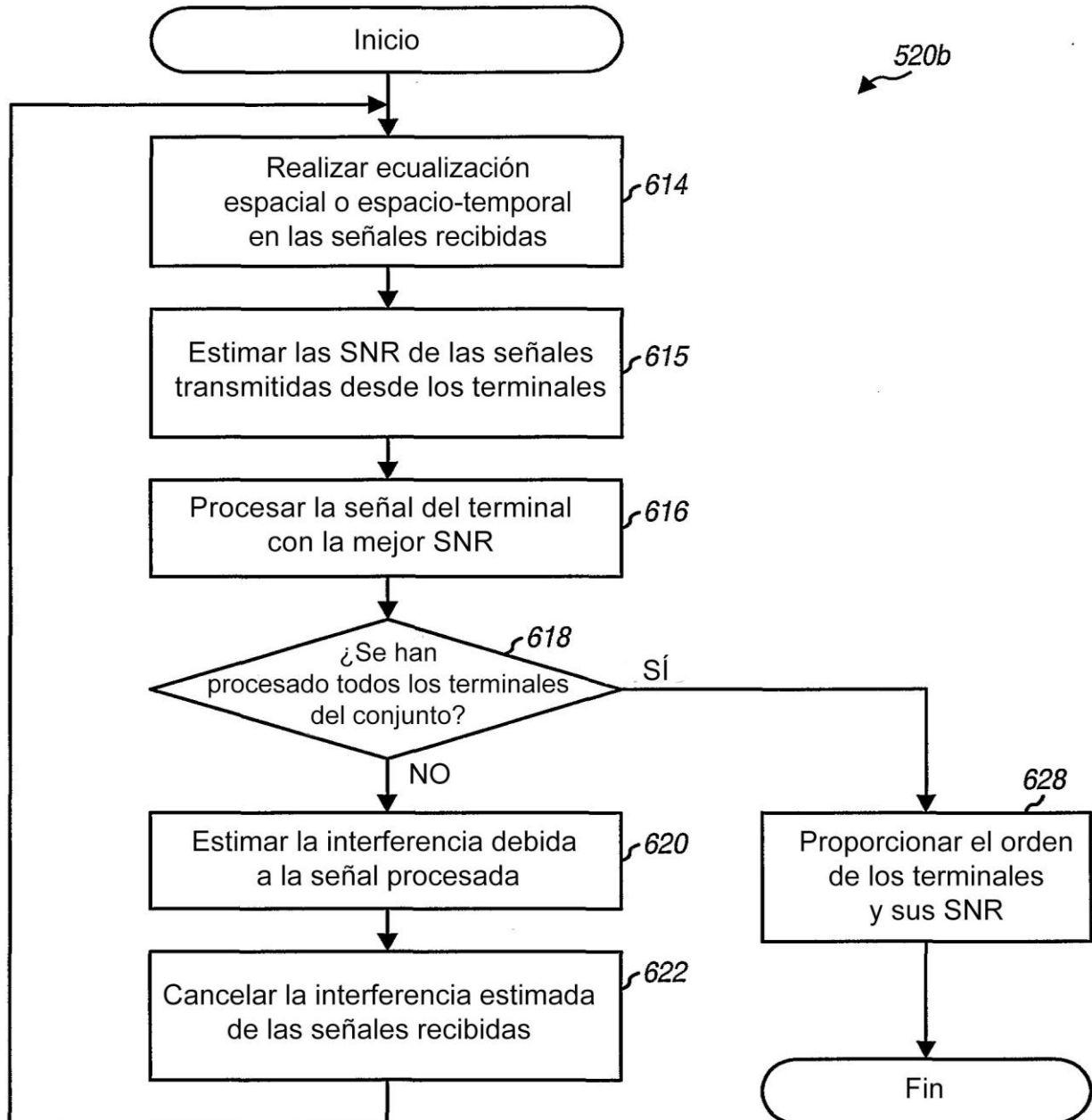


FIG. 6B

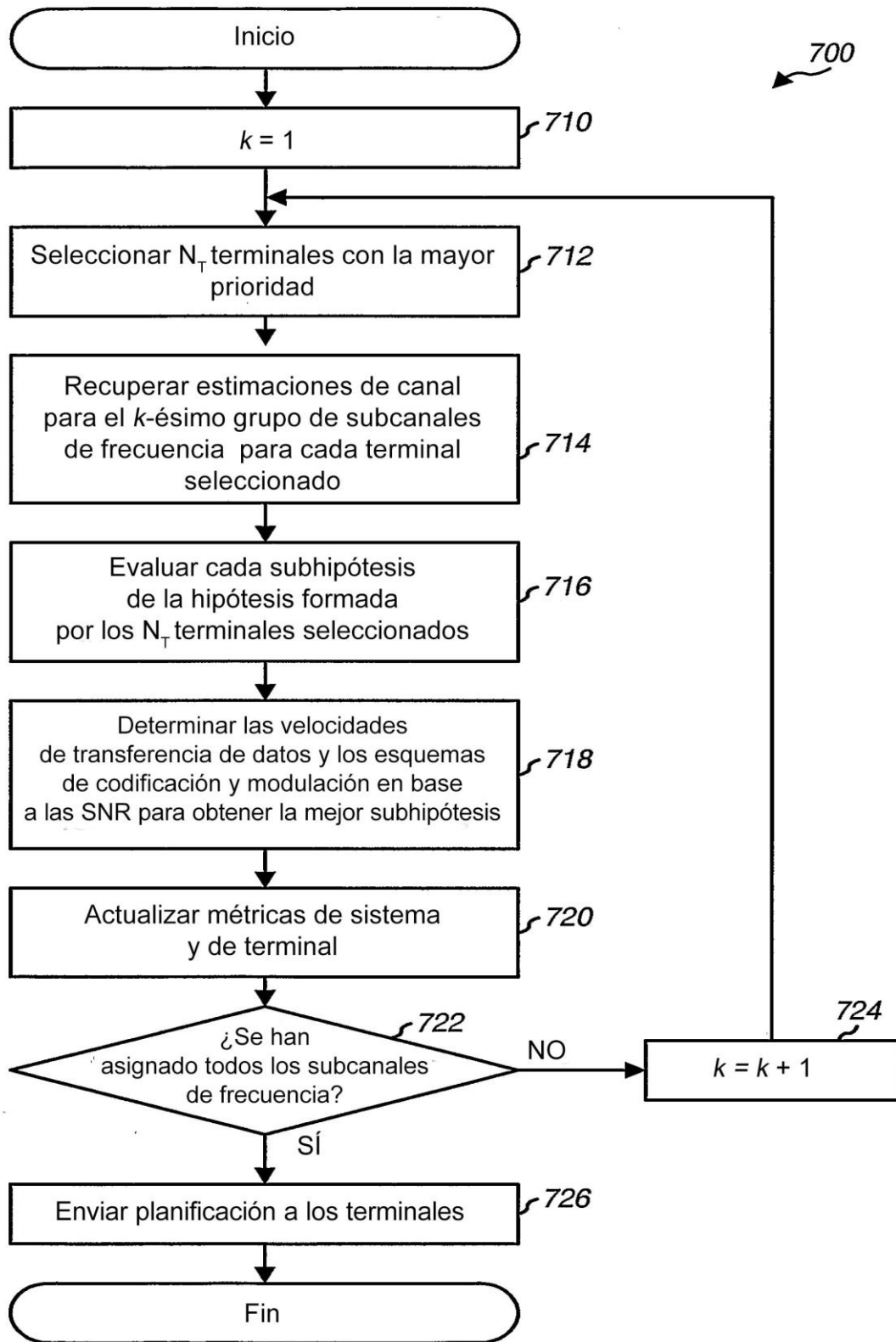


FIG. 7

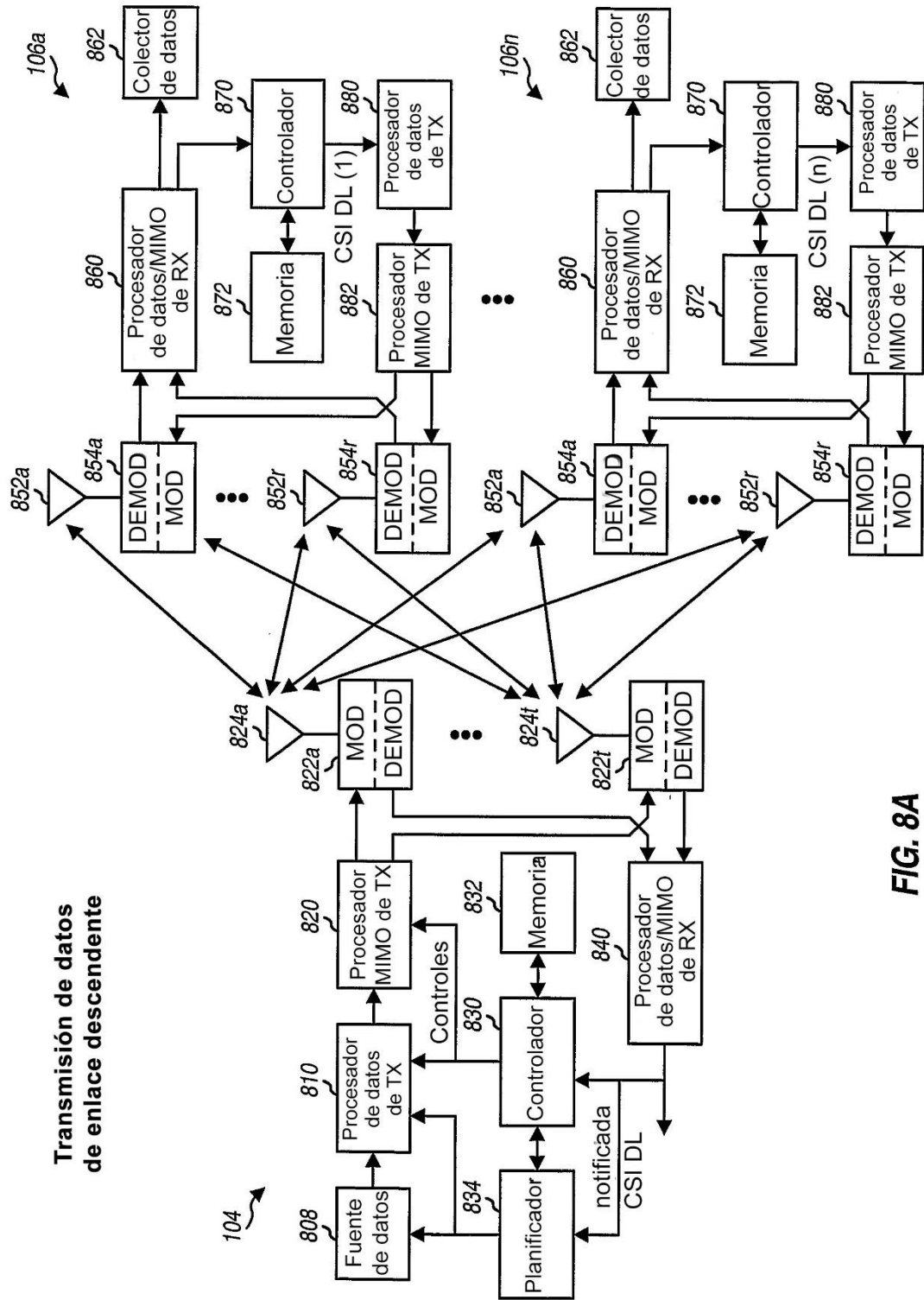


FIG. 8A

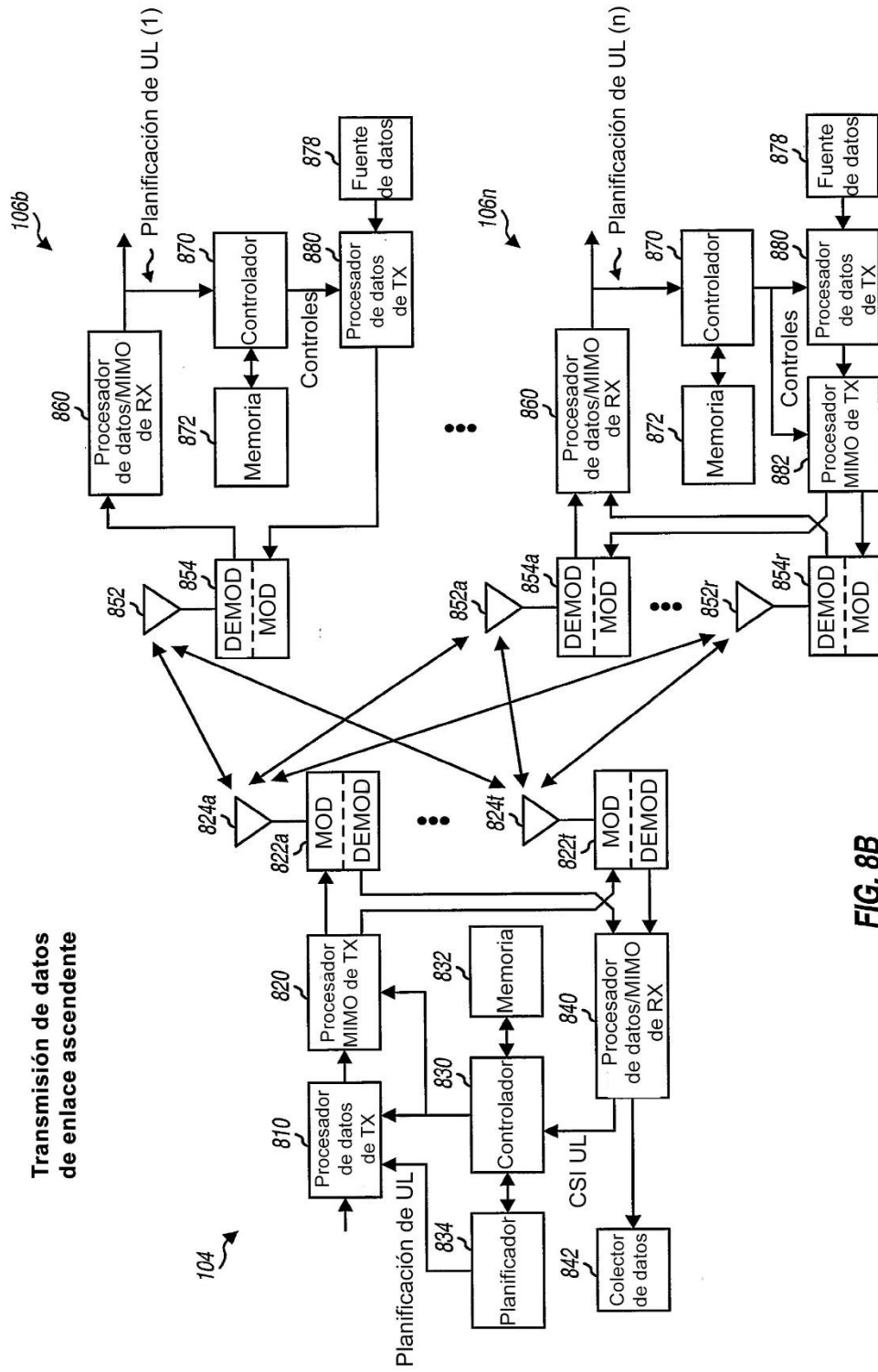


FIG. 8B

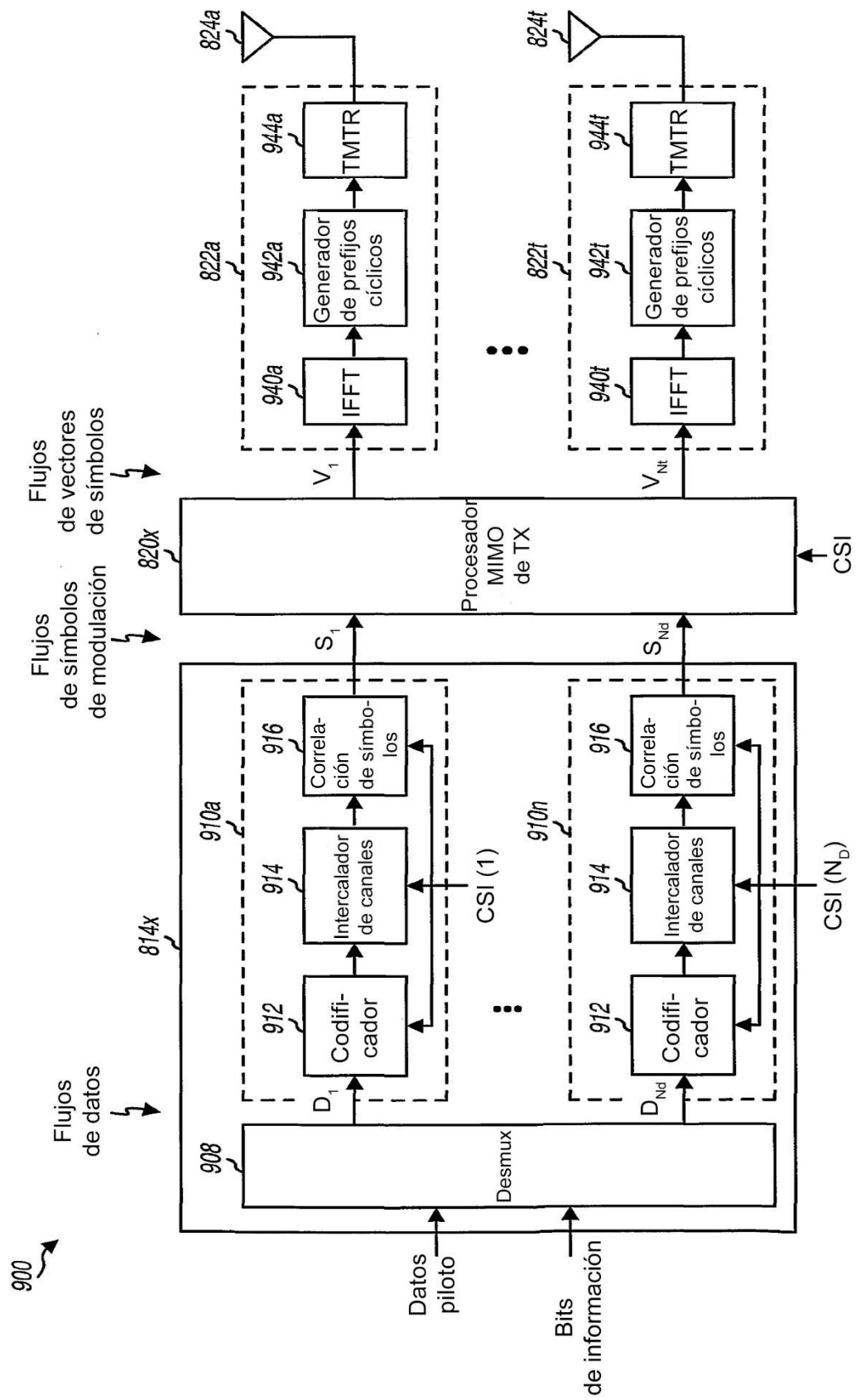


FIG. 9

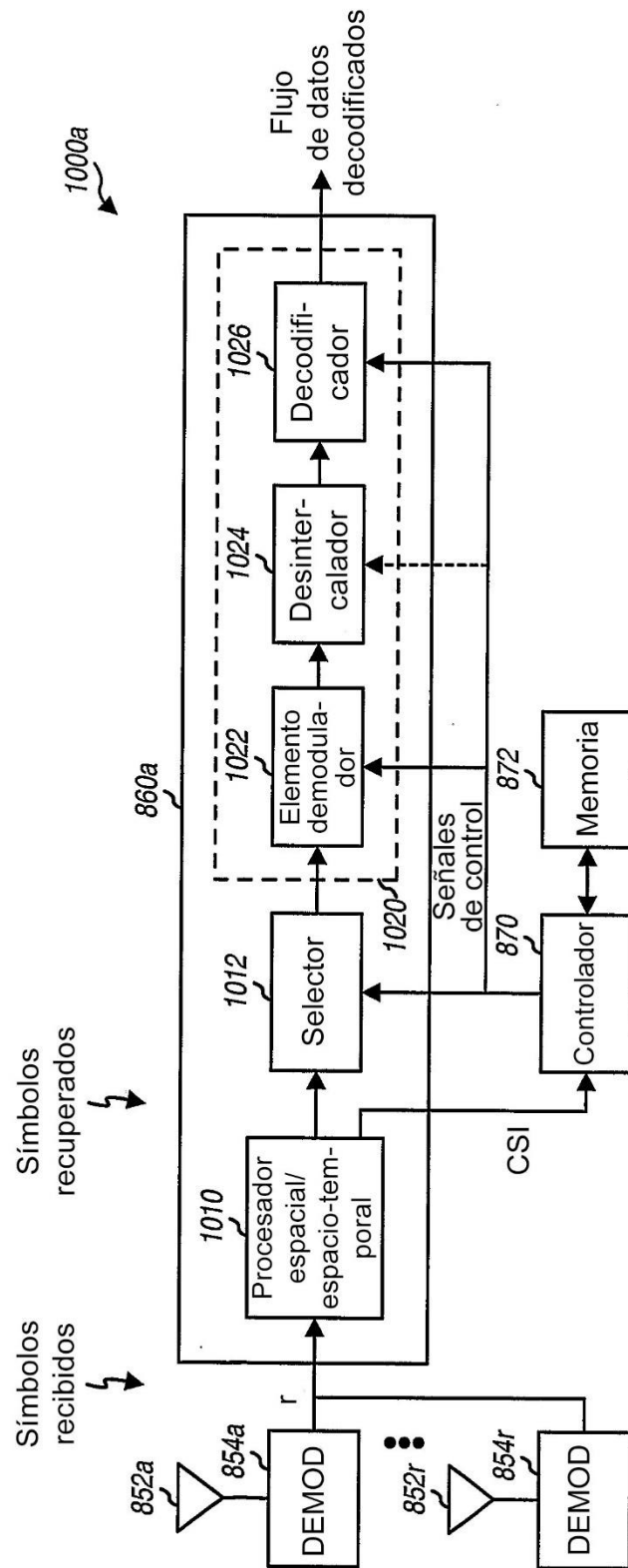


FIG. 10A

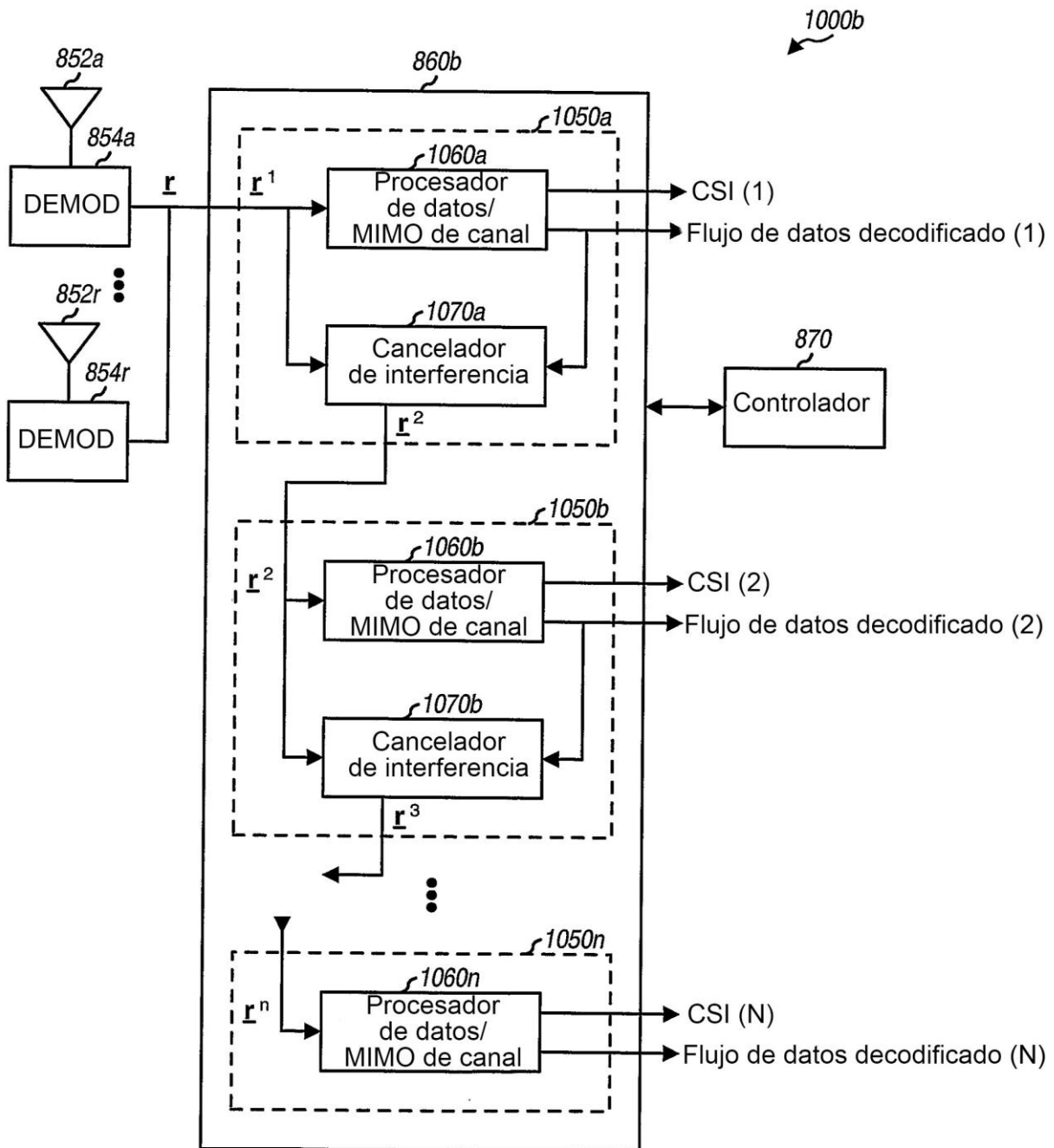


FIG. 10B