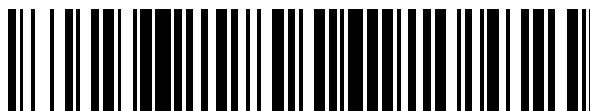


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 747 478**

51 Int. Cl.:

H04B 1/7105 (2011.01)

H04B 1/7107 (2011.01)

H04B 7/08 (2006.01)

H04J 11/00 (2006.01)

H04B 7/0413 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.05.2013 PCT/IB2013/053451**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.11.2013 WO13164776**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.05.2013 E 13730324 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 2845323**

54 Título: **Actualizaciones eficientes de pesos de ecualización por MMSE en el dominio de la frecuencia (FD) en un receptor de cancelación en paralelo de interferencias de etapas múltiples**

30 Prioridad:

04.05.2012 US 201213463974

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

10.03.2020

73 Titular/es:

**GUANGDONG OPPO MOBILE
TELECOMMUNICATIONS CORP., LTD. (100.0%)
No. 18 Haibin Road, Wusha, Chang'an,
Dongguan, Guangdong 523860, CN**

72 Inventor/es:

WANG, YI-PIN ERIC

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 747 478 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

Actualizaciones eficientes de pesos de ecualización por MMSE en el dominio de la frecuencia (FD) en un receptor de cancelación en paralelo de interferencias de etapas múltiples

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a la cancelación de interferencias en un receptor testigo. Más particularmente, y no a modo de limitación, la presente invención está dirigida a una ecualización por mínimo error cuadrático medio (MMSE) en el dominio de frecuencia (FD) en un receptor de cancelación en paralelo de interferencias (PIC) de múltiples etapas.

Antecedentes

10 Con una demanda cada vez mayor de servicios de comunicación inalámbrica y de banda ancha, hay una evolución continua de las redes móviles de tercera generación (3G) y de cuarta generación (4G), como el acceso a paquetes a alta velocidad (HSPA), los datos de evolución optimizados (EV-DO), la evolución a largo plazo (LTE), la interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX), etc., para soportar unas prestaciones cada vez mayores con respecto a la capacidad, las tasas máximas de bits y la cobertura, en caso de un entorno de comunicaciones móviles, tal como la red LTE del proyecto de la asociación de tercera generación (3GPP), la interfaz aérea de acceso universal avanzado terrestre de radio (EUTRA) o la red aérea de acceso universal avanzado terrestre de radio (E-UTRAN) para LTE puede admitir el servicio inalámbrico de datos de banda ancha a una velocidad de hasta 15 300 Mbps en el enlace descendente y de 75 Mbps en el enlace ascendente. Debido a la creciente popularidad de las comunicaciones multimedia a través de redes inalámbricas, las tecnologías emergentes como la entrada múltiple y salida múltiple (MIMO) se han utilizado ampliamente en el entorno moderno de comunicaciones móviles (por ejemplo, 20 en la red LTE) para satisfacer la demanda de una mayor velocidad de datos y una mejor cobertura de celda sin aumento de la potencia media de transmisión o del ancho de banda de la frecuencia. La MIMO también mejora las velocidades máximas de enlace ascendente / descendente, la cobertura de celda, así como la capacidad de celda. En la MIMO, se construyen múltiples capas espaciales para suministrar múltiples flujos de datos en un recurso de frecuencia-tiempo dado, lo que aumenta linealmente la capacidad del canal.

25 Se observa aquí que la MIMO es un esquema de diversidad espacial en el que se usan múltiples antenas en el extremo del transmisor y/o del receptor. Al igual que la diversidad en el tiempo (diferentes intervalos de tiempo y codificación de canal) y la diversidad en la frecuencia (diferentes canales, espectro expandido y multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM)), el modo de diversidad espacial también puede hacer que la comunicación por radio sea más robusta, incluso con canales variables. También se puede utilizar una tecnología de diversidad espacial basada en múltiples antenas para aumentar la velocidad de los datos (conocida como "multiplexación espacial"). En la multiplexación espacial, los datos pueden dividirse en flujos o capas separadas; los flujos se transmiten de forma independiente a través de antenas separadas. Cuando se debe aumentar la velocidad de datos para un único equipo de usuario (UE), el esquema MIMO se denomina MIMO de usuario único (SU-MIMO). Por otro lado, cuando se asignan flujos de datos individuales a múltiples usuarios (o UE), se llama MIMO multiusuario (MU-MIMO). El MU-MIMO puede ser útil en el enlace ascendente porque la complejidad en el lado del UE puede mantenerse al mínimo utilizando solamente una antena de transmisión por UE. 30

La FIG. 1 ilustra un sistema 10 de detección de señal MIMO de ejemplo. Como se muestra en la FIG. 1, las señales/símbolos 12 MIMO transmitidos pueden viajar a través de un canal 14 MIMO y ser recibidos (como se indica mediante la flecha 16) en un receptor / detector 17. La salida del detector 17 puede comprender señales 18 detectadas correspondientes a las señales 12 transmitidas. Para facilitar la discusión y en aras de la simplicidad, se muestra que el detector 17 detecta una sola señal MIMO usando una unidad 19 de ecualización y demodulación en el dominio de la frecuencia (FD) (convenientemente denominada "unidad de ecualización" en el contexto de discusión de la FIG. 1), un decodificador 20, un regenerador 21 de señal y un cancelador 22 de interferencias. En el contexto de la FIG. 1, los componentes 19 a 22 pueden realizar la detección de una sola señal de capa MIMO. Sin embargo, en implementaciones prácticas (como se examina con más detalle con referencia al receptor 62 de la FIG. 4), el detector 17 puede incluir múltiples etapas paralelas para la cancelación de interferencias, y cada etapa puede a su vez incluir múltiples detectores de señal MIMO específicos de capa para cada señal de capa MIMO recibida. Cada uno de dichos detectores de señal MIMO puede incluir una unidad de ecualización (similar a la unidad 19), una unidad decodificadora (similar al decodificador 20) y una unidad regeneradora de señal (similar al regenerador 21 de señal). Las salidas de todos los detectores de señal MIMO en una etapa se pueden recibir en una unidad canceladora de interferencias (similar al cancelador 22 de interferencias) para proporcionar la cancelación de interferencias para las señales 16 MIMO recibidas. A continuación se proporciona una discusión más detallada de la detección de la señal MIMO a través de la cancelación en paralelo de interferencias con referencia a la FIG. 4. 40 45 50

55 Se entiende que cada señal MIMO puede portar un bloque de transporte que consta de varios bits de información. Los bits de información en un bloque de transporte se codifican usando un código turbo para producir una secuencia de bits codificados, a menudo denominada palabra de código. Los bits codificados se pueden intercalar o mezclar para producir una secuencia de bits de canal. Los bits de canal se asignan a símbolos de modulación, que constituyen una señal MIMO. Se observa aquí que los términos "señal" y "símbolo" se pueden usar indistintamente en este documento por conveniencia y facilidad de la discusión, incluso aunque una señal MIMO transmitida pueda contener más de un

símbolo. Además, como se usa en el presente documento, el término "símbolo" puede referirse al contenido de información transmitido por una antena única en una transmisión única, aunque cada uno de esos "símbolos" puede incluir una pluralidad de bits codificados y varios de dichos "símbolos" pueden estar concatenados en serie como parte de la transmisión única desde la antena. En el caso de una red LTE, por ejemplo, dicha transmisión puede incluir una trama de radio que tenga una o más subtramas (no mostradas). También en el caso de una red LTE, por ejemplo, el canal 14 MIMO puede recibir las señales 12 MIMO transmitidas en diferentes capas MIMO por, por ejemplo, diferentes estaciones base o el Nodo B avanzado (eNodeB o eNB) (no mostrado) en la red LTE puede incluir el receptor/detector 17 para detectar estas señales MIMO recibidas del canal 14. Debido a que las señales/símbolos 12 MIMO se transmiten a través del mismo canal 14, las transmisiones que usan componentes cruzados que no son iguales a cero (0) pueden influenciarse mutuamente y dar lugar a interferencias entre símbolos (ISI). Si se conoce la matriz de transmisión de canal (o respuesta de frecuencia) H del canal 14 MIMO, estos componentes cruzados se pueden estimar en el receptor (que podría ser un eNB o un UE o ambos, dependiendo de la implementación de MIMO) utilizando los símbolos conocidos transmitidos desde las antenas de transmisión múltiple. Después de obtener una estimación de la matriz de transmisión de canal H, el receptor informa el estado del canal al transmisor a través de un canal de retroalimentación especial (por ejemplo, en el caso de eNB como un transmisor MIMO y en el de UE como receptor MIMO, la retroalimentación del canal puede enviarse desde un UE a una estación base a través del canal de control de enlace ascendente físico (PUCCH) o del canal compartido de enlace ascendente físico (PUSCH) en redes móviles 3G y 4G), lo que hace posible que el transmisor optimice las transmisiones MIMO al adaptarse a las condiciones cambiantes del canal. En cualquier caso, el receptor preferiblemente realiza inicialmente la ecualización antes de llevar a cabo la demodulación y la decodificación.

En el contexto de la FIG. 1, el receptor 17 puede ser un receptor de turbo-ecualización que combina la ecualización y decodificación de canal en un esquema de detección iterativo, que proporciona cancelación de interferencia basada en el símbolo débil (es decir, símbolo calculado) a través del cancelador 22 de interferencia. En un esquema de cancelación de interferencia basado en un símbolo débil la cantidad de cancelación de interferencia depende de la fiabilidad de los símbolos estimados por el regenerador 21 de señal. Estos símbolos débiles estimados se crean o calculan usando las razones de verosimilitud logarítmicas de la salida del decodificador (LLR) sobre los bits codificados. En un turbo-ecualizador, las operaciones de ecualización y decodificación se repiten varias veces sobre el mismo conjunto de símbolos recibidos. Cada iteración (de las operaciones de ecualización y decodificación) se lleva a cabo mediante un módulo provisto de observaciones de canal H, así como con información a priori sobre los bits codificados (en los símbolos transmitidos) en la forma LLR suministrada por la unidad decodificadora del módulo anterior. En aras de la claridad, en la discusión en el presente documento, el término "turbo-ecualizador" (o "receptor de turbo-ecualización") puede usarse para referirse al receptor o detector 17 (o una entidad similar tal como, por ejemplo, el receptor 62 de la FIG. 4) en su conjunto, mientras que el término "ecualizador" puede usarse para referirse únicamente a la parte de ecualización (por ejemplo, a la unidad 19 de ecualización de la FIG. 1) del turbo-ecualizador.

Se entiende que si los símbolos se estiman de manera muy fiable (por ejemplo, mediante el regenerador 21 de señal usando salidas del decodificador 20), las interferencias pueden eliminarse en gran medida. Por el contrario, si los símbolos estimados no son muy fiables, entonces solamente se elimina una pequeña parte de las interferencias y puede ser necesario volver a ecualizar. Un turbo-ecualizador puede ser un receptor de cancelación en paralelo de interferencias (PIC) de etapas múltiples en el que la señal recibida puede volver a ecualizarse en una etapa sucesiva después de la cancelación de interferencias en la etapa inicial. En este caso, los pesos de ecualización (o coeficientes) aplicados en el ecualizador (por ejemplo, similar a la unidad 19 de ecualización) de esa etapa sucesiva pueden ser adaptativos a las características de interferencia residual. Con pesos de ecualización actualizados y optimizados para las características de la interferencia residual, el ecualizador puede ser más efectivo (durante la re-ecualización) en la supresión de cualquier interferencia dominante que quede después de la cancelación inicial de la interferencia.

Sin embargo, adaptar los pesos de ecualización en cada etapa del receptor de turbo-ecualización puede consumir recursos de cálculo significativos. Típicamente, el cálculo del peso de ecualización implica la inversión de la matriz o la resolución de ecuaciones lineales usando, por ejemplo, el algoritmo de Gauss-Seidel. El tamaño de la matriz que necesita invertirse es de n_R por n_R , donde n_R es el número de antenas de recepción (por ejemplo, en el caso de la FIG. 1, n_R es el número de antenas de recepción que reciben las señales 16 MIMO). Además, se pueden necesitar pesos de ecualización para cada subportadora y para cada capa MIMO. Sin embargo, varias subportadoras vecinas pueden compartir los mismos pesos de ecualización.

"Iterative Semiblind Multiuser Receivers for a Space-Time Block-Coded MC-CDMA Uplink System", por Padam L. Kafle et al., describe un esquema de detección iterativo multiusuario que se basa en un esquema híbrido que utiliza una combinación de cancelación en paralelo de interferencias (PIC) y de detección lineal multiusuario, y que estima la señal de un usuario de interés dentro de un esquema multiusuario. Las técnicas PIC que utilizan estimaciones débiles de bits de usuarios conocidos que interfieren se utilizan para estimar una señal que comprende usuarios desconocidos y usuarios de interés únicamente. El forzado del cero y el MMSE se utilizan entonces para eliminar la interferencia de otros bits del usuario de interés y la interferencia de usuarios desconocidos.

"Performance Comparisons Between OFDM and DS-SS Radio Access Using MIMO Multiplexing in Multipath Fading Channels" a nombre de Junichiro Kawamoto et al. describe el uso de un cancelador de interferencias por trayectos múltiples (MPIC) y un cancelador de interferencias en serie usando un ecualizador de MMSE. En el MPIC, se realiza la ecualización por MMSE en el dominio de frecuencia en dos dimensiones y se calculan las estimaciones

de canal para todos los ramales de antena del receptor. Las réplicas de interferencia multirrayecto se restan de la señal recibida y se aplica a la misma un proceso de detección de máxima verosimilitud mediante descomposición QR.

Resumen

- 5 Como se discutió anteriormente, en un esquema de ecualización adaptativa, el cálculo de los pesos de ecualización en cada iteración puede ser intensivo en recursos de cálculo debido a la necesidad de invertir una matriz de n_R por n_R , donde n_R es el número de antenas de recepción. La resolución de los pesos de ecualización en cada una de las etapas de turbo-ecualización puede no ser factible debido a los recursos de cálculo limitados en un receptor digital. Dichos cálculos se vuelven especialmente desafiantes cuando el número de antenas de recepción es significativo (por ejemplo, 4 o más).
- 10 Por lo tanto, es deseable obtener los pesos de ecualización nuevos o actualizados (después de la cancelación de interferencias inicial) con una complejidad muy reducida. También es deseable que la solución de complejidad reducida sea aplicable tanto a las recepciones de enlace ascendente como a las de enlace descendente LTE, así como a otros estándares siempre que se utilice la ecualización por mínimo error cuadrático medio (MMSE) en el dominio de la frecuencia (FD) dentro de un receptor de cancelación en paralelo de interferencias (PIC) de múltiples etapas.
- 15 Las realizaciones particulares de la presente descripción proporcionan una solución al problema de complejidad de cálculo mencionado anteriormente al determinar pesos de ecualización actualizados en turbo-ecualizadores de etapas múltiples actuales. Las realizaciones particulares permiten que los pesos de ecualización por MMSE actualizados se calculen de manera más eficiente en un receptor PIC de etapas múltiples después de la cancelación de interferencias inicial. En realizaciones particulares, los pesos de ecualización actualizados (que se usarán durante la re-ecualización) se pueden obtener usando los antiguos pesos de ecualización ya calculados para la cancelación de interferencias inicial. Por lo tanto, no es necesario invertir una matriz de n_R por n_R en cada etapa del turbo-ecualizador durante cada iteración de las operaciones de ecualización y decodificación.
- 20 En una realización, la presente descripción se refiere a un método para proporcionar ecualización por MMSE en el FD en una unidad de comunicación inalámbrica de múltiples antenas que tiene un receptor PIC de múltiples etapas y que opera en una red inalámbrica que admite múltiples capas de transmisión. El método se caracteriza por los pasos de: (i) usando el receptor PIC, realizar la supresión de interferencias inicial para una señal total recibida de todas las antenas de recepción en la unidad de comunicación, realizándose la supresión de interferencias inicial en cada unidad detectora específica de capa de transmisión en una primera etapa del receptor PIC utilizando pesos de ecualización inicial específicos de la capa de transmisión aplicados a la señal total, en donde la señal total incluye todas las señales recibidas por cada antena receptora para todas las capas de transmisión en una subportadora predeterminada, y en donde la supresión de interferencias inicial proporciona un señal correspondiente ecualizada específica de capa para cada capa de transmisión; (ii) usando el receptor PIC, procesar al menos una señal ecualizada específica de capa para obtener una versión depurada de la señal total como resultado de la cancelación de interferencias inicial realizada en la primera etapa del receptor PIC; y (iii), a través de una segunda etapa del receptor PIC, aplicar los correspondientes pesos de ecualización actualizados específicos de capa de transmisión a la versión depurada de la señal total, en donde la segunda etapa está acoplada a la primera etapa y en donde los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión se determinan sin invertir una matriz de covarianza asociada con la versión depurada de la señal total.
- 25 En otra realización, un receptor PIC de múltiples etapas para su uso en una unidad de comunicación inalámbrica de múltiples antenas proporciona ecualización por MMSE en el FD cuando la unidad de comunicación está operando en una red inalámbrica que admite múltiples capas de transmisión. El receptor PIC de múltiples etapas está configurado para: (i) realizar la supresión de interferencias inicial para una señal total recibida de todas las antenas de recepción en la unidad de comunicación, realizándose la supresión de interferencias inicial en cada unidad de detección específica de capa de transmisión en una primera etapa del receptor PIC utilizando pesos de ecualización inicial específicos de la capa de transmisión aplicados a la señal total, en donde la señal total incluye todas las señales recibidas por cada antena receptora para todas las capas de transmisión en una subportadora predeterminada, y en donde la supresión de interferencias inicial proporciona una señal correspondiente ecualizada específica de capa para cada capa de transmisión; (ii) procesar al menos una señal ecualizada específica de capa para obtener una versión depurada de la señal total como resultado de la cancelación de interferencias inicial realizada en la primera etapa del receptor PIC; (iii) determinar los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión utilizando los pesos de ecualización iniciales específicos de la capa de transmisión; y (iv) aplicar los correspondientes pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión a la versión depurada de la señal total a través de una segunda etapa del receptor PIC.
- 30 En otra realización, una unidad de comunicación inalámbrica está configurada para operar en una red inalámbrica que admite múltiples capas de transmisión. La unidad de comunicación se caracteriza por comprender: una pluralidad de antenas de recepción, en donde cada antena de recepción de la pluralidad de antenas de recepción está configurada para recibir señales para todas las capas de transmisión; y un receptor PIC de múltiples etapas acoplado a la pluralidad de antenas de recepción. El receptor PIC de múltiples etapas está configurado para: (i) recibir una señal total de todas las antenas de recepción de la pluralidad de antenas de recepción, en donde la señal total incluye todas las señales
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

recibidas por cada antena de recepción para todas las capas de transmisión en una subportadora predeterminada, (ii) realizar la supresión de interferencias inicial para la señal total en cada unidad detectora específica de capa de transmisión en una primera etapa del receptor PIC utilizando pesos de ecualización inicial específicos de capa de transmisión aplicados a la señal total, en donde la supresión de interferencias inicial proporciona una señal ecualizada correspondiente específica de capa para cada capa de transmisión, (iii) procesar al menos una señal ecualizada específica de capa para obtener una versión depurada de la señal total como resultado de la cancelación de interferencias inicial realizada en la primera etapa del receptor PIC, y (iv) aplicar los correspondientes pesos de ecualización actualizados específicos de capa de transmisión a la versión depurada de la señal total a través de una segunda etapa del receptor PIC, en donde la segunda etapa está acoplada a la primera etapa y en donde los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión se determinan sin invertir una matriz de covarianza asociada con la versión depurada de la señal total.

En una realización adicional, se proporciona un método para determinar los pesos de ecualización actualizados después de la cancelación de interferencias inicial durante una ecualización por MMSE en el FD en un sistema inalámbrico de múltiples antenas que tiene un receptor PIC de múltiples etapas y opera en una red inalámbrica que admite múltiples capas de transmisión. El método se caracteriza por comprender: obtener pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión utilizando pesos de ecualización iniciales específicos de la capa de transmisión aplicados durante la cancelación de interferencias inicial; y aplicar pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión, a través de una etapa correspondiente del receptor PIC, a una versión depurada de una señal recibida que resulta de la cancelación de interferencias inicial.

En otra realización, se proporciona un sistema que se caracteriza por comprender: una primera unidad de comunicación; y una segunda unidad de comunicación. La primera unidad de comunicación está configurada para operar en una red inalámbrica que admite múltiples capas de transmisión. La segunda unidad de comunicación está configurada para estar en comunicación inalámbrica con la primera unidad de comunicación a través de la red inalámbrica. La segunda unidad de comunicación tiene una pluralidad de antenas de recepción, y la segunda unidad de comunicación está configurada además para: (i) recibir una señal total de todas las antenas de recepción de la pluralidad de antenas de recepción, en donde la señal total incluye todas las señales recibidas por cada antena de recepción para todas las capas de transmisión en una subportadora predeterminada, (ii) realizar la supresión de interferencias inicial para la señal total utilizando pesos iniciales de ecualización específicos de la capa de transmisión aplicados a la señal total, en donde la supresión de interferencias inicial proporciona una señal correspondiente ecualizada específica de capa para cada señal capa de transmisión, (iii) procesar al menos una señal ecualizada específica de capa para obtener una versión depurada de la señal total, y (iv) aplicar los correspondientes pesos de ecualización actualizados específicos de capa de transmisión a la versión depurada de la señal total, en donde los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión se determinan sin invertir una matriz de covarianza asociada con la versión depurada de la señal total.

Las realizaciones particulares de la presente descripción pueden por lo tanto reducir significativamente la complejidad de determinar los pesos de ecualización actualizados durante la ecualización por MMSE en el FD, ahorrando así recursos de cálculo en un receptor digital que realiza dicha ecualización. Además, debido a que la matriz a invertir (para obtener pesos de ecualización actualizados) en cada etapa del receptor PIC puede ser de la dimensión $n \times n$ (donde "n" es igual al número total de capas de transmisión de un esquema de transmisión (por ejemplo, MIMO) utilizado en la red inalámbrica), las soluciones descritas en este documento pueden ser especialmente ventajosas cuando el número de antenas de recepción es mayor que el número de capas de transmisión. Las soluciones descritas también pueden ser beneficiosas cuando el número de capas de transmisión que necesita ecualizarse nuevamente (re-ecualizarse) es menor que el número de capas totales recibidas originalmente. Además, las realizaciones particulares de las soluciones descritas se pueden aplicar tanto al enlace ascendente como al enlace descendente de LTE y, por lo tanto, se pueden implementar en receptores tanto de eNB como de UE.

Breve descripción de los dibujos

En la siguiente sección, la invención se describirá con referencia a realizaciones de ejemplo ilustradas en las figuras, en las que:

la FIG. 1 ilustra un sistema de ejemplo de detección de señal de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO);

la FIG. 2 es un diagrama de un sistema inalámbrico de ejemplo en el que se pueden implementar las actualizaciones de los pesos de ecualización por mínimo error cuadrático medio (MMSE) en el dominio de la frecuencia (FD) según las enseñanzas de una realización de la presente invención;

la FIG. 3 representa un diagrama de flujo de ejemplo para actualizar los pesos de ecualización por MMSE en el FD conforme a una realización de la presente invención;

la FIG. 4 muestra un receptor de cancelación en paralelo de interferencias (PIC) de etapas múltiples de ejemplo conforme a una realización de la presente invención;

la FIG. 5 es un diagrama de bloques de un teléfono móvil o UE de ejemplo conforme a una realización de la presente invención; y

la FIG. 6 es un diagrama de bloques de un eNB o de un nodo de comunicación móvil similar (o estación base) de ejemplo conforme a una realización de la presente invención.

Descripción detallada

5 En la siguiente descripción detallada, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión profunda de la invención. Sin embargo, los expertos en la materia entenderán que la presente invención se puede emplear sin estos detalles específicos. En otros casos, los métodos, procedimientos, componentes y circuitos bien conocidos no se han descrito en detalle para no complicar la presente invención. Además, debe entenderse que aunque la invención se describe principalmente en el contexto de una red de teléfono/datos móvil, la invención también se puede implementar en otras formas de redes inalámbricas móviles o no móviles (por ejemplo, una red inalámbrica de datos corporativa, una red de comunicación inalámbrica de punto a punto tal como una red inalámbrica de walkie-talkie, una red de comunicación por satélite y similares).

10 La referencia a lo largo de esta especificación a "una realización" o "una realización" significa que una función, estructura o característica particular descrita en relación con la realización está incluida en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, las apariciones de las frases "en una realización" o "en una realización" o "según una realización" (u otras frases que tienen un significado similar) en varios lugares a lo largo de esta especificación no se refieren todas necesariamente a la misma realización. Además, las características, estructuras o funciones particulares se pueden combinar de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones. Además, dependiendo del contexto de la discusión en el presente documento, un término singular puede incluir sus formas plurales y un término plural puede incluir su forma singular. Del mismo modo, un término con guión (p. ej., "pre-determinado", "subtrama", etc.) puede usarse ocasionalmente de manera intercambiable con su versión sin guión (p. ej., "predeterminado", "subtrama", etc.), una entrada en mayúsculas (p. ej., "Razón de Verosimilitud Logarítmica") se puede usar indistintamente con su versión en minúsculas (p. ej., "razón de verosimilitud logarítmica"), y se pueden indicar términos en plural con o sin apóstrofe (p. ej., UE's o UEs). Dichos usos intercambiables ocasionales no se considerarán inconsistentes entre sí.

25 En primer lugar, se observa que los términos "acoplado", "conectado", "que conecta", "conectado eléctricamente", etc., se usan indistintamente en el presente documento para referirse generalmente a la condición de estar conectado eléctrica/electrónicamente. De manera similar, se considera que una primera entidad está en "comunicación" con una segunda entidad (o entidades) cuando la primera entidad envía y/o recibe eléctricamente (ya sea a través de medios fijos o inalámbricos) señales de información (ya sea que contengan información de voz o datos/información de control sin voz) a la segunda entidad, independientemente del tipo (analógico o digital) de esas señales. Se observa además que varias figuras (incluidos los diagramas de componentes) mostradas y discutidas en el presente documento son únicamente para fines ilustrativos y no están dibujadas a escala.

30 La FIG. 2 es un diagrama de un sistema 25 inalámbrico de ejemplo en el que se pueden implementar actualizaciones de pesos de ecualización por MMSE en el FD. El sistema 25 puede incluir una pluralidad de teléfonos móviles; dos de los cuales se muestran en la FIG. 2 y se identifican por los números 28 y 30 de referencia. Cada teléfono 28, 30 móvil puede incluir una unidad 29, 31 de antena correspondiente. Para facilitar el enlace descendente MIMO u otro esquema de diversidad espacial, en una realización, las unidades 29, 31 de antena pueden incluir dos o más antenas de recepción (no mostradas individualmente). Se muestra que los teléfonos 28, 30 móviles están en comunicación inalámbrica con una red 32 portadora de un proveedor de servicios inalámbricos (u operador) a través de un nodo 34 de comunicación de la red 32 portadora. El nodo 34 de comunicación puede ser, por ejemplo, una estación base en una red 3G, o un Nodo-B avanzado (eNodeB) o un eNodeB local (HeNB) cuando la red portadora es una red de evolución a largo plazo (LTE), o cualquier otra estación base o femtocelda local, y puede proporcionar una interfaz de radio a los teléfonos 28, 30 móviles. En otras realizaciones, el nodo 34 de comunicación también puede incluir un controlador de sitio, un punto de acceso (AP) o cualquier otro tipo de dispositivo de interfaz de radio capaz de operar en un entorno inalámbrico. Aquí se observa que los términos "teléfono móvil", "terminal inalámbrico", "terminal" y "equipo de usuario (UE)" pueden usarse indistintamente en el presente documento para referirse a un dispositivo de comunicación inalámbrico que es capaz de comunicación de voz y/o de datos a través de una red portadora inalámbrica. Algunos ejemplos de dichos teléfonos móviles incluyen teléfonos móviles o equipos de transferencia de datos (p. ej., un asistente personal digital (PDA) o un localizador), teléfonos inteligentes (p. ej., iPhone™, Android™, Blackberry™, etc.), ordenadores, dispositivos Bluetooth®, o cualquier otro tipo de dispositivo de usuario capaz de operar en un entorno inalámbrico. De manera similar, los términos "red inalámbrica" o "red portadora" pueden usarse indistintamente en el presente documento para referirse a una red de comunicación inalámbrica (p. ej., una red móvil) que facilita la comunicación de voz y/o de datos entre dos equipos de usuario (UE).

45 Además de proporcionar una interfaz aérea o un canal de comunicación (p. ej., como se representa mediante los enlaces 36-37 inalámbricos en la FIG. 2) a los UE 28, 30 a través de una unidad 39 de antena, el nodo 34 de comunicación también puede realizar la gestión de recursos de radio (como, por ejemplo, en el caso de un eNodeB o un HeNB en un sistema LTE) utilizando, por ejemplo, retroalimentaciones de canal recibidas de los UE 28, 30 que operan en la red 32. La red 32 portadora puede admitir un esquema de diversidad espacial o multiplexación espacial que tiene múltiples capas de transmisión (p. ej., MU-MIMO), y el canal de comunicación (p. ej., un canal de radiofrecuencia (RF)) (convenientemente denominado en este documento como el "canal") entre la estación base y los terminales inalámbricos puede proporcionar un conducto para las señales intercambiadas entre la estación 34 base

y los UE 28, 30 bajo el esquema de diversidad espacial. La unidad 39 de antena eNB puede incluir dos o más antenas de recepción para admitir la diversidad espacial en el eNB 34 (p. ej., facilitando la recepción de señales MIMO desde múltiples UE 28, 30).

Se observa aquí que, aunque la discusión a continuación se proporciona principalmente en el contexto de las capas MIMO, el término "capa de transmisión" (o simplemente la "capa"), como se usa en el presente documento, puede incluir un flujo MIMO, una señal transmitida por una antena de transmisión sin precodificación (o formación de haz), o una señal transmitida por varias antenas de transmisión después de la precodificación (o formación de haz). Además, las diferentes capas pueden pertenecer al mismo usuario o UE (p. ej., en el caso de SU-MIMO), o a diferentes usuarios o UE (p. ej., en el caso de MU-MIMO). De manera similar, aunque la discusión a continuación se proporciona principalmente en el contexto de una red LTE, las soluciones descritas también pueden aplicarse a los sistemas de acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA), a los sistemas HSPA basados en WCDMA, a los sistemas CDMA2000, a los sistemas EV-DO, etc., cuando se utiliza la ecualización por MMSE en el FD en un receptor PIC de etapas múltiples. Además, dado que las soluciones descritas se pueden aplicar tanto a las recepciones de señal de enlace ascendente como descendente en LTE, las soluciones descritas se pueden implementar o bien en una estación base (p. ej., el eNB 34) o bien en un UE (p. ej., el UE 28, 30) o bien en ambos. Por lo tanto, en la discusión a continuación, el término "unidad de comunicación inalámbrica" (o, simplemente, "unidad de comunicación") puede usarse para referirse a cualquiera de estas entidades, es decir, a una estación base o a un UE.

Con referencia nuevamente a la FIG. 2, en el caso de una red 32 portadora 3G, el nodo 34 de comunicación puede incluir funcionalidades de una estación base 3G junto con algunas o todas las funcionalidades de un controlador de red de radio (RNC) 3G para realizar la detección de señales MIMO usando la metodología de cancelación de interferencia que se analiza a continuación. Los nodos de comunicación en otros tipos de redes portadoras (p. ej., en redes 4G y otras) también pueden configurarse de manera similar. En una realización, el nodo 34 puede configurarse (en hardware, a través de software, o en ambos) para implementar la determinación de pesos de ecualización por MMSE en el FD actualizados conforme a las técnicas descritas. Por ejemplo, cuando la arquitectura de hardware existente del nodo 34 de comunicación no puede modificarse, la metodología de determinación del peso de ecualización puede implementarse mediante la programación adecuada de uno o más procesadores (p. ej., el procesador 104 (o, más particularmente, la unidad 108 de procesamiento) de la FIG. 6) en el nodo 34 de comunicación. La ejecución del código del programa (por un procesador en el nodo 34) puede hacer que el procesador determine los pesos de ecualización actualizados como se examina en el presente documento. De manera similar, uno o más de los UE 28, 30 pueden configurarse adecuadamente (en hardware y/o en software) para implementar la metodología de determinación de peso de ecualización descrita en este documento. Por otro lado, el eNB 34 y el UE 28, 30 (si corresponde según el esquema de transmisión MIMO) pueden incluir un receptor PIC de múltiples etapas (p. ej., un receptor PIC similar al receptor 62 PIC de la FIG. 4) como parte de sus unidades de procesamiento (como se muestra a modo de ejemplos en las FIGS. 5-6) y configurado conforme a las soluciones descritas para llevar a cabo los cálculos de pesos deseados. Por lo tanto, en la discusión a continuación, aunque se puede hacer referencia a una unidad de comunicación, ya sea el nodo 34 de comunicación o cualquiera de los UE 28, 30, como que "realiza", "logra" o "lleva a cabo" una función o proceso, es evidente para un experto en la materia que dicha prestación puede lograrse técnicamente con hardware y/o con software según se desee.

La red 32 portadora puede incluir una red 38 central acoplada al nodo 34 de comunicación y que proporciona funciones lógicas y de control (p. ej., gestión de cuentas de abonados, facturación, gestión de movilidad de abonados, etc.) en la red 32. En caso de una red portadora LTE, la red 38 central puede ser una puerta de enlace de acceso (AGW). Independientemente del tipo de red 32 portadora, la red 38 central puede funcionar para proporcionar la conexión de uno o más de los UE 28, 30 a otros teléfonos móviles que operan en la red 32 portadora y también a otros dispositivos de comunicación (p. ej., teléfonos fijos o inalámbricos) o recursos (p. ej., un sitio web de Internet) en otras redes de voz y/o de datos externas a la red 32 del operador. En ese sentido, la red 38 central puede estar acoplada a una red 40 de paquetes conmutados (p. ej., un protocolo de Internet (IP), tal como Internet), así como una red 42 de conmutación de circuitos, tal como la red telefónica pública conmutada (PSTN) para lograr las conexiones deseadas más allá de los dispositivos que operan en la red 32 portadora. Por lo tanto, a través de la conexión del nodo 34 de comunicación a la red 38 central y del enlace de radio de los teléfonos con el nodo 34 de comunicación, un usuario del teléfono (p. ej., el UE 28 o 30) puede acceder de forma inalámbrica (y sin problemas) a muchos recursos o sistemas diferentes más allá de aquellos que operan dentro de la red 32 portadora de un operador.

Como se entiende, la red 32 portadora puede ser una red de telefonía móvil o una red pública de telefonía móvil terrestre (PLMN) en la que los UE 28, 30 pueden ser unidades de abonado. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, las soluciones descritas pueden implementarse también en otras redes inalámbricas no móviles (ya sean redes de voz, redes de datos o ambas). Además, partes de la red 32 portadora pueden incluir, independientemente o en combinación, cualquiera de las redes de comunicación inalámbricas o por cable actuales o futuras tales como, por ejemplo, la PSTN o un enlace de comunicación basado en satélite. De manera similar, como también se mencionó anteriormente, la red 32 portadora puede conectarse a Internet a través de la conexión 38 de su red central a la red 40 IP (de paquetes conmutados) o puede incluir una parte de Internet como parte de la misma.

Antes de discutir los detalles matemáticos de la determinación de los pesos de ecualización actualizados conforme a las soluciones descritas, se proporciona una breve descripción del proceso de ecualización con referencia a la FIG. 3, que representa un diagrama 45 de flujo de ejemplo para actualizar los pesos de ecualización por MMSE en el FD

conforme a una realización de las soluciones descritas. Una solución de ecualización ampliamente utilizada para la LTE es el ecualizador lineal por MMSE en el FD, que produce una estimación del MMSE para cada símbolo en el FD recibido. La estimación del MMSE para cada símbolo en el FD se obtiene combinando linealmente las señales recibidas en el FD utilizando pesos MMSE de combinación (es decir, pesos de ecualización). Las señales recibidas en el FD se recogen de múltiples antenas de recepción de la unidad de comunicación (p. ej., de las antenas de recepción de la unidad 39 de antena de la estación 34 base, de las antenas de recepción de un UE de múltiples antenas, etc.) y la señal resultante (es decir, la señal recogida de todas las antenas de recepción) puede denominarse "señal total". Un receptor (por ejemplo, el receptor 62 PIC de múltiples etapas de la FIG. 4 examinado más adelante) puede recibir inicialmente la señal total (en una etapa inicial del receptor) en una subportadora predeterminada k como se indica en el bloque 47 en la FIG. 3. A cada detector de señal MIMO de esta etapa inicial en el receptor PIC de múltiples etapas se le puede "asignar" una capa de transmisión (p. ej., de múltiples capas MIMO) y puede proporcionar ese procesamiento específico de la capa de transmisión de la señal total. Cada detector de señal MIMO puede recibir la señal total y realizar la supresión de interferencias inicial usando un conjunto de pesos de ecualización iniciales (bloque 49), generando así una señal ecualizada específica de capa para cada capa MIMO recibida. En una realización, cada detector de señal MIMO puede aplicar un conjunto correspondiente de pesos iniciales de ecualización específicos de capas. La supresión inicial de interferencias puede estar seguida por la cancelación de interferencias inicial para obtener así una versión depurada de la señal total para cada capa MIMO recibida como se indica en el bloque 50. Se observa aquí que el término "cancelación de interferencias" significa que una estimación de la versión recibida de las interferencias se obtiene y se cancela de la señal total. Por otro lado, la "supresión de interferencias" no necesita estimar la versión recibida de una señal que interfiere, ni necesita "restar" explícitamente las interferencias de la señal total. Por lo tanto, la supresión de interferencias puede ser menos efectiva, pero más simple, que la cancelación de interferencias. En una realización, la supresión de interferencias puede depender de las estadísticas de la señal que interfiere (p. ej., de la matriz de covarianza de deterioro) o de las estadísticas de la señal total recibida (que incluye las interferencias) como, p. ej., de la matriz de covarianza de datos, para crear una combinación efectiva de pesos de ecualización para maximizar la relación posterior de la señal de ecualización a la interferencia más ruido (SINR). A medida que se maximiza la SINR, la interferencia se suprime. En términos generales, la supresión de interferencias puede considerarse parte de la cancelación de interferencias.

Como parte de la realización de la supresión de interferencias inicial y de la obtención de la(s) versión(es) depurada(s) de la señal total (después de la cancelación de interferencias), cada detector de señal MIMO de la etapa inicial del receptor PIC puede realizar la demodulación y la decodificación en función de cada señal (inicial) ecualizada específica de capa (bloque 52) y generar una estimación específica de capa de transmisión de la señal total recibida para cada capa MIMO (bloque 54). Posteriormente, cada señal de capa estimada puede usarse en el procesamiento de la señal total recibida (bloque 56) para obtener una o más versiones depuradas de la señal total (bloque 50). Las versiones depuradas de la señal total pueden ser específicas de la capa. Por ejemplo, la señal total recibida en la subportadora k , $Y(k)$, puede consistir en señales de capa $X_1(k)$ y $X_2(k)$, así como otro componente $U(k)$, que incluye el ruido térmico y las interferencias.

$$Y(k) = X_1(k) + X_2(k) + U(k)$$

Las señales de capa $X_1(k)$ y $X_2(k)$ se estiman en la etapa inicial, y sus estimaciones $\hat{X}_1(k)$ y $\hat{X}_2(k)$ se pueden utilizar luego para obtener versiones depuradas de la señal total específica de capa de la siguiente manera. La versión depurada específica de capa de la señal total para el procesamiento posterior de la señal de la capa 1 se puede obtener cancelando las interferencias de la señal de la capa 2.

$$\hat{Y}_1(k) = Y(k) - \hat{X}_2(k)$$

De manera similar, la versión depurada específica de capa de la señal total para el procesamiento posterior de la señal de la capa 2 se puede obtener cancelando las interferencias de la señal de la capa 1.

$$\hat{Y}_2(k) = Y(k) - \hat{X}_1(k)$$

Por otro lado, una versión depurada de la señal total puede ser común a ambas capas. En este caso, tanto $\hat{X}_1(k)$ como $\hat{X}_2(k)$ se cancelan de la señal total recibida $Y(k)$, dando como resultado la señal depurada común (para ambas capas) $\hat{Y}(k) = Y(k) - \hat{X}_1(k) - \hat{X}_2(k)$. Como parte de la siguiente iteración de ecualización (es decir, re-ecualización), la siguiente etapa del receptor PIC (u otra parte de procesamiento común o específica de etapa del receptor PIC) puede configurarse para determinar los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión usando los correspondientes pesos iniciales de ecualización y la inversión de matriz de complejidad significativamente reducida como se examina con más detalle a continuación (bloque 58). En una realización, dichos pesos actualizados para cada etapa subsiguiente del receptor PIC pueden determinarse mediante una unidad de procesamiento que no sea el propio receptor PIC, y los pesos actualizados se pueden suministrar a cada una de las etapas subsiguientes del receptor PIC. En el diagrama 45 de flujo, la siguiente etapa del receptor PIC puede aplicar entonces los correspondientes pesos de ecualización actualizados a la(s) versión(es) depurada(s) de la señal total (generada en el bloque 50) para realizar la re-ecualización como se indica en el bloque 60 de la FIG. 3. El proceso de cancelación de interferencias puede repetirse luego utilizando esta señal ecualizada actualizada de manera similar a la indicada en

los bloques 50, 52, 54 y siguientes. El número de iteraciones para las re-ecualizaciones (y cancelaciones de interferencias asociadas), y, por lo tanto, el número de etapas del receptor PIC, puede seleccionarse según las consideraciones de diseño.

5 La FIG. 4 muestra un receptor 62 PIC de etapas múltiples de ejemplo conforme a una realización de la presente invención. Se entiende que se puede usar un receptor PIC de etapas múltiples para mejorar la prestación para la recepción MIMO de usuario único (SU) y de multiusuarios (MU). El receptor 62 PIC puede ser un receptor de turbo-ecualización y puede configurarse para realizar el proceso ilustrado en el diagrama 45 de flujo de la FIG. 3 como parte de la turbo-ecualización realizada de este modo. El receptor 62 PIC puede incluir etapas "S", la primera de las cuales se identifica como etapa "63" en la FIG. 4. Cada etapa subsiguiente (no mostradas en la FIG. 4 por simplicidad) en el receptor 62 PIC puede ser idéntica a la etapa 63 en su configuración. En el receptor 62 PIC, la etapa inicial (es decir, la etapa 63 en la FIG. 4) puede procesar en paralelo todas las señales MIMO recibidas y estas múltiples señales MIMO pueden estimarse y cancelarse de la señal total original recibida como se examinó anteriormente y se examina a continuación. Cada etapa subsiguiente (no mostrada) del receptor 62 PIC puede procesar señales para todas las capas MIMO que se encuentra que son erróneas (p. ej., que tienen fallos de verificación por redundancia cíclica (CRC)) en la etapa anterior. Tal procesamiento puede usar una nueva versión(es) depurada(s) de la "señal total" procesada, resultante de la cancelación de interferencias en la etapa anterior. Si una señal MIMO detectada en la etapa anterior ya se considera libre de errores (p. ej., que tiene verificaciones CRC exitosas), entonces puede que no haya necesidad de procesar dicha señal MIMO en etapas posteriores. Cada etapa del receptor PIC puede incluir una pluralidad de detectores de señal MIMO, detectando cada detector de señal MIMO una señal MIMO específica de capa. En la realización de la FIG. 4, dos de dichos detectores 64, 66 de señal MIMO que procesan dos señales de capa MIMO (para la capa-l y para la capa-n, respectivamente) se muestran como un ejemplo para ilustrar cómo funciona este tipo de receptor. Estas señales de dos capas pueden ser del mismo usuario (SU-MIMO) o de diferentes usuarios (MU-MIMO). Inicialmente, la "señal total" puede recibirse/almacenarse en una memoria 68 intermedia de antena (que puede ser parte de una unidad de antena (p. ej., la unidad 39 de antena de la FIG. 2), o del receptor 62 PIC (como se muestra en la FIG. 4), o en alguna otra entidad (no mostrada) en la unidad de comunicación de la que forma parte el receptor 62 PIC) a la que puede acceder cada detector 64, 66 de señal MIMO para el procesamiento de señal específico de la etapa y de la capa de transmisión. Como se muestra en la FIG. 4, la señal de dos capas se detecta en paralelo, es decir, la cancelación de interferencias (incluida la ecualización, demodulación, decodificación y estimación) de señales específicas de capa se puede realizar en paralelo en todos los detectores de señal MIMO en la etapa 63 del receptor. Para eso, cada detector 64, 66 de señal MIMO puede incluir las correspondientes unidades 71-72 de ecualización y demodulación, decodificadores 74-75, unidades 77-78 de regeneración de señal y memorias 80-81 de usuario como se muestra en la FIG. 4. Se observa aquí que cada detector de señal MIMO en cada etapa del receptor 62 PIC puede parecer arquitectónicamente similar al detector 17 de la FIG. 1; sin embargo, en realizaciones particulares, cada detector MIMO en cada una de dichas etapas en el receptor 62 PIC puede configurarse para llevar a cabo la ecualización según el diagrama 45 de flujo de la FIG. 3.

Como se muestra en la FIG. 4, cada detector 64, 66 de señal MIMO lee la señal original recibida (es decir, la señal total) de la memoria 68 intermedia de antena y ecualiza una parte específica de capa de la misma. En la FIG. 4, cada uno de los decodificadores 74-75 genera una razón de verosimilitud logarítmica (LLR) para cada uno de los bits codificados recibidos en los símbolos que constituyen las señales ecualizadas específicas de capa (para la supresión de interferencias inicial) y demoduladas en las unidades 71-72 correspondientes. Estos LLR de bit se usan en un proceso de regeneración de señal en las unidades 77-78 de regeneración de señal correspondientes para obtener una estimación respectiva de la versión recibida de cada una de las señales de dos capas. Las señales de capa regeneradas (estimadas) se cancelan a partir de la señal total utilizando una unidad 82 de software de cancelación de interferencias (representada por las flechas 83-84 "menos"), que se puede acoplar a la memoria 68 intermedia de antena para leer la señal total de la misma (como se indica mediante la flecha 85). Dicha cancelación puede dar como resultado versiones "depuradas" de la señal total como se explicó anteriormente. Las versiones depuradas de la señal total recibida se pueden volver a escribir en la memoria 68 intermedia de antena como se indica mediante la flecha 87. La unidad 82 de cancelación de interferencias puede ser parte del receptor 62 PIC (como se muestra en la FIG. 4) o de alguna otra entidad (no mostrada) en la unidad de comunicación de la que forma parte el receptor 62 PIC. Cada detector 64, 66 de señal MIMO puede incluir una memoria de usuario 80-81 específica de etapa y específica de capa para almacenar una copia de la señal de capa regenerada. En un esquema de ecualización iterativa (p. ej., en el receptor 62 PIC de etapas múltiples que realiza la turbo-ecualización), cada señal de capa puede ecualizarse, demodularse y descodificarse nuevamente de forma paralela a través de una etapa de receptor correspondiente. Como tal, las versiones depuradas de la señal recibida pueden actualizarse en cada una de las etapas posteriores. Sin embargo, la señal almacenada en la memoria 68 intermedia de antena común podría ser una versión depurada basada en una estimación anterior de las señales de capa. En ese caso, las anteriores señales de capa estimadas pueden agregarse primero (como se indica mediante las flechas 88-89 y 90-91) a la versión previamente depurada, deshaciendo la cancelación de interferencias anterior, y luego la cancelación se puede hacer en función de señales de capa estimadas actualizadas disponibles a partir de las unidades 77-78 de regeneración de señal. Por ejemplo, en el ejemplo examinado anteriormente de dos señales de capa $X_1(k)$ y $X_2(k)$, se pueden obtener las señales de capa estimadas actualizadas correspondientes, a saber, $\tilde{X}_1(k)$ y $\tilde{X}_2(k)$. Las nuevas versiones depuradas de la señal recibida se pueden obtener mediante $\tilde{Y}_1(k) = \hat{Y}_1(k) + \tilde{X}_2(k) - \tilde{X}_2(k)$ e $\tilde{Y}_2(k) = \hat{Y}_2(k) + \tilde{X}_1(k) - \tilde{X}_1(k)$. Esto da como resultado versiones depuradas específicas de capa de la señal recibida. Alternativamente, si se utiliza una versión depurada común de la señal recibida, la nueva versión depurada común de la señal recibida se puede obtener mediante $\tilde{Y}(k) =$

$\hat{Y}(k) + \hat{X}_1(k) + \hat{X}_2(k) - \tilde{X}_1(k) - \tilde{X}_2(k)$. Las nuevas versiones depuradas de la señal recibida se pueden usar para la re-ecualización (o la próxima iteración de ecualización) para la detección de la señal.

Se proporciona ahora una discusión matemática detallada de las actualizaciones de pesos de ecualización conforme a las realizaciones particulares de las soluciones descritas. Como se mencionó anteriormente, la estimación del MMSE para cada símbolo en el FD se obtiene combinando linealmente señales/símbolos recibidos en el FD (recogidos de múltiples antenas de recepción) utilizando pesos de ecualización por MMSE específicos de capa, que están dados por:

$$W_i(k) = R^{-1}(k) H_i(k) \quad (1)$$

donde

$$R(k) = H_1(k) H_1^H(k) + H_2(k) H_2^H(k) + R_u(k) \quad (2)$$

representa la matriz de covarianza de la señal total recibida en la subportadora k, el subíndice i se usa para indexar una capa (MIMO), k es el índice de la subportadora, $H_i(k)$ es un vector que representa la respuesta de frecuencia para la señal de la i-ésima capa (en donde el vector incluye un elemento de respuesta de frecuencia por antena de recepción), $H_i^H(k)$ es una matriz hermitiana (o transpuesta conjugada) de $H_i(k)$, y $R_u(k)$ es la matriz de covarianza de deterioro que captura la correlación espacial entre los otros componentes de deterioro (que puede incluir el contribución del ruido térmico y las interferencias contribuidas por otras señales de usuario que no están incluidas en la turbo-ecualización basada en la PIC de etapas múltiples). Se observa aquí que el término "canal", como se usa en el presente documento, puede referirse a una única interfaz física a través del aire entre la estación 34 base y los terminales 28, 30. Sin embargo, entre dos puntos cualesquiera (p. ej., una antena de transmisión y una antena de recepción), puede haber una respuesta específica efectiva de canal (frecuencia), integrando todas las pérdidas de señal, señales rebotadas de obstáculos, etc. Esta respuesta efectiva de canal entre cualquiera de dichos dos puntos puede estar representada por un "coeficiente de canal" o "elemento de respuesta de frecuencia". Así, por ejemplo, para una señal de capa recibida específica, dos antenas de recepción (p. ej., en la unidad 39 de antena) pueden estar representadas por dos coeficientes de canal.

Se observa aquí que las ecuaciones (1) y (2) proporcionan un ejemplo con dos capas MIMO ($i = 1, 2$) solamente por simplicidad y facilidad de discusión. En la práctica, se pueden usar más de 2 capas MIMO, y en ese caso aparecen más términos $H_i(k) H_i^H(k)$ en la ecuación (2). Además, se supone con respecto a las ecuaciones (1) y (2) que la energía del símbolo está incorporada en la respuesta de frecuencia $H_i(k)$.

Los pesos de ecualización $W_i(k)$ (en la ecuación (1)) pueden usarse para combinar la señal total recibida $V(k)$ en el FD para obtener la estimación del símbolo por MMSE en el FD para la subportadora k de la capa i. Esta señal $S_i(k)$ estimada específica de capa puede estar dada por:

$$S_i(k) = W_i^H(k) Y(k) \quad (3)$$

Este simple ecualizador por MMSE (basado en las ecuaciones (1) a (3)) puede lograr unas prestaciones muy cercanas a la capacidad teórica (del canal) de un canal de entrada única y salida múltiple (SIMO). Sin embargo, para la recepción MIMO, las prestaciones del ecualizador lineal por MMSE pueden estar lejos de la capacidad debido a la presencia de interferencias de multiplexación espacial.

En el caso de MIMO, después de la supresión de interferencias en paralelo inicial (p. ej., como se indica en el bloque 49 de la FIG. 3, y como se puede lograr en el receptor 62 PIC de etapas múltiples de la FIG. 4), se puede demostrar que los pesos de ecualización por MMSE en el FD actualizados tienen la forma:

$$W_{x,i}(k) = R_x^{-1}(k) H_i(k) \quad (4)$$

donde

$$R_x(k) = \varepsilon_1 H_1(k) H_1^H(k) + \varepsilon_2 H_2(k) H_2^H(k) + R_u(k) \quad (5)$$

es una matriz de covarianza de la(s) versión(es) depurada(s) de la señal total recibida en la subportadora k (es decir, la señal total recibida después de la cancelación de interferencias inicial), y ε , puede considerarse como la potencia residual de la señal de capa i después de la cancelación de interferencias. Por lo tanto, si una señal de capa se cancela por completo, $\varepsilon_i = 0$. En las ecuaciones (4) y (5), un subíndice adicional "x" se introduce para indicar que las variables en estas ecuaciones corresponden a la cancelación de interferencias posterior (a la inicial).

La complejidad de la re-ecualización puede residir en gran medida en el cálculo de los pesos de ecualización actualizados para cada señal de capa. Tal cálculo de los pesos de ecualización actualizados (para cada señal depurada) puede requerir inversiones de matriz. Se observa aquí que la matriz $R_x(k)$ es una matriz de n_R por n_R (donde n_R es el número de antenas de recepción en la unidad de comunicación que recibe señales de la capa MIMO), e invertir repetidamente dicha matriz podría ser computacionalmente costoso cuando se utilizan una gran cantidad de antenas de recepción.

Sin embargo, según una realización de la presente invención, no es necesario invertir $R_x(k)$ para obtener los pesos de ecualización actualizados $W_{x,i}(k)$. En cambio, los pesos de ecualización actualizados se pueden obtener utilizando los antiguos pesos de ecualización $W_i(k)$ como se examina a continuación.

5 A partir de las ecuaciones (2) y (5), la matriz de covarianza de señal recibida después de la cancelación de interferencias inicial (es decir, $R_x(k)$) puede relacionarse con la original antes de la cancelación (es decir, con $R(k)$) como se indica a continuación:

$$R_x(k) = R(k) - \eta_1 H_1(k) H_1^H(k) - \eta_2 H_2(k) H_2^H(k) \quad (6)$$

donde

$$\eta_i = 1 - \varepsilon_i \quad (7)$$

10 Se observa aquí que de acuerdo con el concepto de cancelación de interferencias basado en símbolos por software como el examinado en J. Axnas, Y.-P. E, Wang, M. Kamuf, y N. Andgart, "Successive Interference Cancellation Techniques for LTE Downlink", IEEE PIMRC 2011, septiembre de 2011, ε_i se puede obtener utilizando las estadísticas de los símbolos débiles creados (p. ej., por las unidades 77-78 de regeneración de señal de la FIG. 4) basado en salidas débiles del decodificador. Como resultado, η_i en la ecuación (7) se puede calcular.

15 Los pesos de ecualización para la señal de la capa 1 (es decir, $i = 1$ en $W_i(k)$ en la ecuación (1)) antes de la cancelación de interferencias en paralelo pueden derivarse como se indica a continuación:

$$\begin{aligned} W_1(k) &= R^{-1}(k) H_1(k) = (R_x^{-1}(k) R_x(k)) R^{-1}(k) H_1(k) \quad (8) \\ &= R_x^{-1}(k) (R(k) - \eta_1 H_1(k) H_1^H(k) - \eta_2 H_2(k) H_2^H(k)) R^{-1}(k) H_1(k) \\ &= W_{x,1}(k) - \eta_1 W_{x,1}(k) (H_1^H(k) W_1(k)) - \eta_2 W_{x,2}(k) (H_2^H(k) W_1(k)) \\ &= W_{x,1}(k) (1 - \eta_1 H_1^H(k) W_1(k)) + W_{x,2}(k) (-\eta_2 H_2^H(k) W_1(k)) \end{aligned}$$

20 De manera similar, los pesos de ecualización para la señal de la capa 2 (es decir, $i = 2$ en $W_i(k)$ en la ecuación (1)) antes de la cancelación de interferencias en paralelo son:

$$\begin{aligned} W_2(k) &= R^{-1}(k) H_2(k) = (R_x^{-1}(k) R_x(k)) R^{-1}(k) H_2(k) \quad (9) \\ &= R_x^{-1}(k) (R(k) - \eta_1 H_1(k) H_1^H(k) - \eta_2 H_2(k) H_2^H(k)) R^{-1}(k) H_2(k) \\ &= W_{x,2}(k) - \eta_1 W_{x,1}(k) (H_1^H(k) W_2(k)) - \eta_2 W_{x,2}(k) (H_2^H(k) W_2(k)) \\ &= W_{x,1}(k) (-\eta_1 H_1^H(k) W_2(k)) + W_{x,2}(k) (1 - \eta_2 H_2^H(k) W_2(k)) \end{aligned}$$

25

Al poner las dos ecuaciones anteriores en forma de matriz, se obtiene:

$$[W_1(k), W_2(k)] = [W_{x,1}(k), W_{x,2}(k)] A \quad (10)$$

donde

$$A = \begin{bmatrix} 1 - \eta_1 H_1^H(k) W_1(k) & -\eta_1 H_1^H(k) W_2(k) \\ -\eta_2 H_2^H(k) W_1(k) & 1 - \eta_2 H_2^H(k) W_2(k) \end{bmatrix} \quad (11)$$

30 Por lo tanto, se ve en la ecuación (10) que los pesos de cancelación de interferencias posteriores específicos de la capa (es decir, los pesos de ecualización actualizados $W_{x,i}(k)$) se pueden obtener en función de los antiguos pesos de ecualización (es decir, los pesos de ecualización $W_i(k)$ utilizados para la cancelación de interferencias inicial) como se indica a continuación:

$$35 [W_{x,1}(k), W_{x,2}(k)] = [W_1(k), W_2(k)] A^{-1} \quad (12)$$

La inversión de A^{-1} en la ecuación (12) también se puede expresar directamente como una función de $W_i(k)$ y $H_i(k)$. Por ejemplo, de la ecuación (11),

$$A^{-1} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} 1 - \eta_2 H_2^H(k) W_2(k) & \eta_1 H_1^H(k) W_2(k) \\ \eta_2 H_2^H(k) W_1(k) & 1 - \eta_1 H_1^H(k) W_1(k) \end{bmatrix} \quad (13)$$

donde

$$40 \Delta = (1 - \eta_2 H_2^H(k) W_2(k)) (1 - \eta_1 H_1^H(k) W_1(k)) - \eta_1 \eta_2 H_1^H(k) W_2(k) H_2^H(k) W_1(k) \quad (14)$$

A partir de las ecuaciones (11) y (12) se ve que en el ejemplo basado en 2 capas MIMO examinado en este documento ($i = 1, 2$), el tamaño de la matriz A que necesita ser invertido es de 2×2 , en lugar de n_R por n_R . En otras palabras, según

una realización de la presente invención, la inversión de la matriz (ecuación (13)) requerida para obtener pesos de ecualización actualizados puede depender del número de capas MIMO, pero no del número de antenas de recepción. Además, si algunas de las capas no necesitan ecualizarse nuevamente (p. ej., debido a una detección ya libre de errores durante la cancelación de interferencias inicial), sus columnas correspondientes en A^{-3} (en la ecuación (13)) no necesitan ser calculadas. De las ecuaciones (12) y (13) se observa que la columna j -ésima de A^{-1} son los coeficientes que se pueden usar para multiplicar linealmente los antiguos pesos de combinación $W_1(k)$ y $W_2(k)$ para obtener $W_{x,i}(k)$ ($j = 1, 2$). Por ejemplo, en el ejemplo basado en 2 capas MIMO examinado en este documento (p. ej., junto con el receptor 62 PIC de la FIG. 4), si la capa 2 no necesita ecualizarse nuevamente, entonces solamente la primera columna de A^{-1} es necesaria. En tales casos, la complejidad de las actualizaciones de pesos se reduce aún más, es decir, la complejidad es incluso menor que la requerida para invertir una matriz de 2×2 .

A partir de la discusión de las ecuaciones (12) y (13), se ve que las soluciones descritas pueden permitir que los pesos de ecualización por MMSE actualizados se calculen mucho más eficientemente después de la cancelación de interferencias inicial en un receptor PIC de múltiples etapas. Debido a que la dimensión de la matriz A en la ecuación (11) es una función del número de capas de transmisión (y no del número de antenas de recepción, o n_R), la inversión de matriz de complejidad reducida en la ecuación (12) puede ser especialmente ventajosa cuando el número de antenas de recepción es mayor que el número de capas de transmisión. Además, como se examinó anteriormente, la complejidad de la inversión de la matriz puede reducirse aún más cuando el número de capas que necesita ser re-ecualizado es menor que el número de capas totales recibidas originalmente.

La FIG. 5 es un diagrama de bloques de un teléfono móvil o UE 94 de ejemplo en el que se pueden implementar las soluciones descritas. El UE 94 puede representar cualquiera de los UE 28,30 de la FIG. 2. Como se muestra en la FIG. 5, el UE 94 puede incluir un transmisor-receptor 96, una unidad 97 de antena, un procesador 99 y una memoria 100 (que, en algunas realizaciones, también puede incluir memoria en la tarjeta del módulo de identidad del abonado (SIM) del UE). La unidad 97 de antena puede incluir una o más antenas de transmisión (no mostradas), una o más antenas de recepción (no mostradas) o una sola antena para transmisión y recepción. Debido a que las soluciones descritas relacionadas con la determinación, los pesos de ecualización actualizados se pueden aplicar igualmente a las recepciones de enlace ascendente y de enlace descendente en LTE, el UE 94 en la realización de la FIG. 5 también puede incluir un receptor 102 PIC de etapas múltiples (que puede ser similar al receptor 62 de la FIG. 4) para la cancelación de interferencias, de las señales de enlace descendente recibidas. El receptor 102 de PIC puede formar parte de la unidad 99 de procesador del UE como se muestra, o puede ser una unidad separada acoplada al transmisor-receptor 96 y al procesador 99 para realizar el procesamiento inicial deseado de las señales recibidas. También se pueden idear otras disposiciones para implementar la funcionalidad del receptor 62 PIC de etapas múltiples en el UE 94. En realizaciones particulares, algunas o todas las funcionalidades que se describen anteriormente (p. ej., la recepción de señales MIMO desde el eNB 34 usando antenas de la unidad 97 de antena y el transmisor-receptor 96; la cancelación de interferencias de señales MIMO recibidas a través del receptor 102 PIC; la determinación de pesos de ecualización actualizados durante la re-ecualización; el almacenamiento de señales regeneradas en la memoria 100 o en una memoria interna (no mostrada) del procesador 99; la transmisión de retroalimentaciones de canal, etc., a través de PUCCH o PUSCH al eNB 34 usando el transmisor-receptor 96 y la antena 97; la transmisión y la recepción de señales MIMO en esquemas SU-MIMO y MU-MIMO; etc.) como proporcionadas por dispositivos de comunicación móvil u otras formas de UE pueden ser proporcionadas por el procesador 99 del UE (con soporte de procesamiento del receptor 102 PIC, según sea necesario) ejecutando instrucciones almacenadas en un medio legible por ordenador, tal como la memoria 100 mostrada en la FIG. 5. Las realizaciones alternativas del UE 94 pueden incluir componentes adicionales más allá de los mostrados en la FIG. 5 que puede ser responsable de habilitar la comunicación del UE 94 con la estación 34 base en la red 32 y de proporcionar ciertos aspectos de la funcionalidad del UE, incluidas cualquiera de las funciones descritas anteriormente y/o cualquier funcionalidad necesaria para soportar las soluciones descritas.

La FIG. 6 es un diagrama de bloques de un eNB de ejemplo o un nodo (o estación base) 34 de comunicación móvil similar según una realización de la presente invención. El eNB 34 puede incluir un procesador 104 de banda base para proporcionar una interfaz de radio con los teléfonos móviles (en la red 32 portadora) a través del transmisor 105 de radiofrecuencia (RF) del eNB y las unidades 106 del receptor de RF acopladas a la unidad 39 de antena del eNB (también mostrada en la FIG 2). En una realización, el procesador 104 puede recibir transmisiones de los UE 28, 30 (p. ej., señales MU-MIMO) a través de la combinación de la unidad 39 de antena y del receptor 106, mientras que las transmisiones de eNB a los UE 28, 30 pueden ser llevadas a cabo mediante la combinación de la unidad 39 de antena y del transmisor 105. El procesador 104 puede configurarse (con hardware y/o con software) para realizar la cancelación de interferencias y también para determinar pesos de ecualización actualizados como parte del mismo. A ese respecto, el procesador 104 de banda base puede incluir una unidad 108 de procesamiento que tiene un receptor 109 PIC de etapas múltiples (que puede ser similar al receptor 62 PIC de la FIG. 4) para realizar la cancelación de interferencias como se describe en este documento. En una realización, el receptor 109 PIC puede ser una unidad separada acoplada a la unidad 108 de procesamiento y al menos al receptor 106 para realizar el procesamiento inicial deseado de las señales recibidas. Se pueden idear también otras disposiciones para implementar la funcionalidad del receptor 62 PIC de etapas múltiples en la estación 34 base de la FIG. 6. La unidad 108 de procesamiento puede estar en comunicación con una memoria 110 para procesar y almacenar información relevante para la celda. Un planificador (p. ej., el planificador 112 de la figura 6) en el eNB 34 puede proporcionar las decisiones de planificación para los UE 28, 30 en función de una serie de factores tales como, por ejemplo, los parámetros QoS (calidad de servicio), el estado

de la memoria intermedia del UE, el informe de retroalimentación del canal de enlace ascendente recibido de los UE 28, 30, las capacidades del UE, etc. El planificador 112 puede tener la misma estructura de datos que un planificador típico en un eNB en un sistema LTE.

5 El procesador 104 también puede proporcionar procesamiento de señal de banda base adicional (p. ej., registro de dispositivo móvil, transmisión de información de señal de canal, gestión de recursos de radio, etc.) según se requiera. La unidad 108 de procesamiento puede incluir, a modo de ejemplo, un procesador de propósito general, un procesador de propósito especial, un procesador convencional, un procesador de señal digital (DSP), una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores en asociación con un núcleo DSP, un controlador, un microcontrolador, circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC), circuitos de matrices de puertas programables en campo (FPGA), cualquier otro tipo de circuito integrado (IC) y/o una máquina de estado. Algunas o todas las funcionalidades descritas anteriormente como provistas por una estación base móvil, un controlador de estación base, un nodo B, un nodo mejorado B, un HeNB, una estación base de origen, una estación base femtocelda y/o cualquier otro tipo de nodo de comunicaciones móviles puede ser proporcionado por la unidad 108 de procesamiento ejecutando instrucciones almacenadas en un medio de almacenamiento de datos legible por ordenador, tal como la memoria 110 mostrada en la FIG. 6.

20 El eNB 34 puede incluir además una unidad 114 de temporización y control y una unidad 115 central de interfaz de red como se ilustra en la FIG. 6. La unidad 114 de control puede monitorear las operaciones del procesador 104 y la unidad 115 de interfaz de red, y puede proporcionar señales de control y temporización apropiadas a estas unidades. La unidad 115 de interfaz puede proporcionar una interfaz bidireccional para que el eNB 34 se comunique con la red 38 central para facilitar las funciones administrativas y de gestión de llamadas para los abonados móviles que operan en la red 32 del operador a través del eNB 34.

25 Las realizaciones alternativas de la estación 34 base pueden incluir componentes adicionales responsables de proporcionar funcionalidad adicional, incluyendo cualquiera de las funciones identificadas anteriormente y/o cualquier funcionalidad necesaria para soportar las soluciones descritas. Aunque las características y elementos se describen anteriormente en combinaciones particulares, cada característica o elemento se puede usar solo sin las otras características y elementos o en varias combinaciones con o sin otras características y elementos. La metodología proporcionada en este documento (relacionada con la determinación de los pesos de ecualización actualizados en la ecualización por MMSE en el FD) puede implementarse en un programa de ordenador, software o firmware incorporado en un medio de almacenamiento legible por ordenador (p. ej., la memoria 110 en la FIG. 6) para su ejecución por un ordenador de propósito general o por un procesador (p. ej., la unidad 108 de procesamiento de la FIG. 6 que implementa la funcionalidad de un receptor PIC de etapas múltiples a través del receptor 109 PIC). Los ejemplos de medios de almacenamiento legibles por ordenador incluyen una memoria de solo lectura (ROM), una memoria de acceso aleatorio (RAM), un registro digital, una memoria caché, dispositivos de memoria de semiconductores, medios magnéticos tales como discos duros internos, cintas magnéticas y discos extraíbles, medios magnetoópticos y medios ópticos tales como discos CD-ROM y discos versátiles digitales (DVD).

40 Lo anterior describe un sistema y un método para calcular de manera más eficiente los pesos de ecualización por MMSE actualizados en un receptor PIC de múltiples etapas después de la cancelación de interferencias inicial. Los pesos de ecualización actualizados (que se utilizarán durante la re-ecualización) se pueden obtener utilizando los antiguos pesos de ecualización ya calculados para la cancelación de interferencias inicial. Por lo tanto, no es necesario invertir una matriz n_{δ} por n_R (donde n_R es el número de antenas de recepción) en cada etapa del receptor PIC durante cada iteración de las operaciones de ecualización y decodificación; más bien, la matriz que se invertirá (para obtener los pesos de ecualización actualizados) en cada etapa del receptor PIC puede ser de la dimensión $n \times n$ (donde "n" es igual al número total de capas de transmisión en un esquema de transmisión (p. ej., MIMO) utilizado en la red inalámbrica). Las realizaciones particulares de las soluciones descritas reducen por lo tanto significativamente la complejidad de determinar los pesos de ecualización actualizados durante la ecualización por MMSE en el FD, ahorrando así recursos de cálculo en un receptor digital que realiza dicha ecualización. Como se mencionó anteriormente, la metodología descrita en este documento puede ser especialmente ventajosa cuando el número de antenas de recepción es mayor que el número de capas de transmisión. El esquema descrito también puede ser beneficioso cuando el número de capas de transmisión que necesita ser re-ecualizado es menor que el número de capas totales recibidas originalmente. Además, las realizaciones particulares de las soluciones propuestas se pueden aplicar tanto a las recepciones de enlace ascendente como a las de enlace descendente y, por lo tanto, se pueden implementar tanto en el eNB como en el UE.

55 Se observa aquí que las soluciones descritas relacionadas con el cálculo de los pesos de ecualización por MMSE en el FD actualizados en un receptor PIC de múltiples etapas se pueden aplicar, con modificaciones adecuadas (como puede ser evidente para un experto en la materia usando las presentes enseñanzas), a varios sistemas o redes inalámbricos diferentes, tales como, por ejemplo, redes/sistemas que utilizan especificaciones 3G/4G. Algunos ejemplos de tales sistemas o redes incluyen, pero no se limitan a, redes del sistema global para comunicaciones móviles (GSM), redes LTE, redes LTE-avanzadas, redes UTRAN/E-UTRAN, sistemas WCDMA, sistemas HSPA basados en WCDMA, sistemas CDMA2000, GSM/Velocidad de datos mejorada para sistemas GSM Evolution (GSM/EDGE), sistemas EV-DO y sistemas WiMAX.

Como reconocerán los expertos en la materia, los conceptos innovadores descritos en la presente solicitud pueden modificarse y variarse en una amplia gama de aplicaciones. Por consiguiente, el alcance de la materia patentada no debe limitarse a ninguna de las enseñanzas de ejemplo específicas examinadas anteriormente, sino que se define por las siguientes reivindicaciones.

5

REIVINDICACIONES

1. Un método para proporcionar la ecualización por mínimo error cuadrático medio, MMSE, en el dominio de frecuencia, FD, en una unidad (34, 94) de comunicación inalámbrica de múltiples antenas que tiene un receptor (102, 109), PIC, de cancelación en paralelo de interferencias de múltiples etapas, y que opera en una red (32) inalámbrica que admite múltiples capas de transmisión, en donde el método se caracteriza por los pasos de:

5 utilizando el receptor PIC, realizar (49) la supresión de interferencias inicial para una señal total recibida de todas las antenas de recepción en la unidad de comunicación, realizándose la supresión de interferencias inicial en cada unidad (64, 66) detectora específica de capa de transmisión en una primera etapa (63) del receptor PIC utilizando pesos de ecualización inicial específicos de la capa de transmisión aplicados a la señal total, en donde la señal total incluye todas las señales recibidas por cada antena receptora para todas las capas de transmisión en una subportadora predeterminada, y en donde la supresión de interferencias inicial proporciona una correspondiente señal específica de capa ecualizada para cada capa de transmisión;

10 utilizando el receptor PIC, procesar al menos una señal específica de capa ecualizada para obtener (50) una versión depurada de la señal total como resultado de la cancelación de interferencias inicial realizada en la primera etapa del receptor PIC; y a través de una segunda etapa del receptor PIC, aplicar (60) los correspondientes pesos de ecualización actualizados específicos de capa de transmisión a la versión depurada de la señal total, en donde la segunda etapa está acoplada a la primera etapa y en donde los pesos de ecualización específicos de la capa de transmisión actualizados se determinan sin invertir una matriz de covarianza asociada con la versión depurada de la señal total.

20 2. El método de la reivindicación 1, caracterizado además por el paso de:

utilizando el receptor PIC, determinar (58) los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión.

25 3. El método de la reivindicación 2, en donde el paso de determinar los pesos de ecualización actualizados incluye: obtener los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión utilizando los pesos de ecualización iniciales específicos de la capa de transmisión.

30 4. El método de la reivindicación 2, en donde el paso de determinar los pesos de ecualización actualizados incluye: obtener los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión invirtiendo una matriz $n \times n$ que se basa en los pesos de ecualización iniciales específicos de la capa de transmisión y en las respuestas de frecuencia específicas de la capa de transmisión de un canal de la red inalámbrica asociado con todas las antenas de recepción de la unidad de comunicación inalámbrica, en donde "n" representa el número total de capas de transmisión.

5. El método de la reivindicación 4, en donde $n = 2$, y en donde la matriz $n \times n$ viene dada por:

$$A = \begin{bmatrix} 1 - \eta_1 H_1^H(k) W_1(k) & -\eta_1 H_1^H(k) W_2(k) \\ -\eta_2 H_2^H(k) W_1(k) & 1 - \eta_2 H_2^H(k) W_2(k) \end{bmatrix}$$

35 en donde η_i se refiere a la potencia residual de una señal específica de capa de transmisión para la i-ésima capa de transmisión después de la cancelación de interferencias inicial, k representa la subportadora predeterminada, $H_i(k)$ es un vector que representa la respuesta de frecuencia del canal para la señal específica de capa de transmisión para la i-ésima capa de transmisión, $H_i^H(k)$ es la matriz transpuesta conjugada de $H_i(k)$, y $W_i(k)$ representa los pesos de ecualización iniciales específicos de la capa de transmisión asociados con la i-ésima capa de transmisión.

40 6. El método de la reivindicación 1, en donde el paso de realizar la supresión de interferencias inicial incluye: realizar la supresión de interferencias inicial específica de la unidad detectora en paralelo a través de todas las unidades detectoras específicas de capa en la primera etapa del receptor PIC.

7. El método de la reivindicación 1, en donde los pasos para realizar la supresión de interferencias inicial y para obtener la versión depurada de la señal total incluyen conjuntamente:

45 realizar (52) la demodulación y posterior decodificación de al menos una señal ecualizada específica de capa en una correspondiente unidad detectora específica de capa en la primera etapa del receptor PIC, generando así una correspondiente señal decodificada específica de capa;

usar cada correspondiente señal decodificada específica de capa para generar (54) una estimación respectiva de cada señal específica de capa de transmisión recibida por la unidad de comunicación en la subportadora predeterminada; y

50 cancelar (56) un conjunto predeterminado de estimaciones específicas de capa de transmisión de la señal total para obtener la versión depurada de la señal total.

8. El método de la reivindicación 1, en donde cada capa de transmisión incluye uno de los siguientes:

un flujo de entrada múltiple y salida múltiple, MIMO;

una señal transmitida sin precodificación; y

una señal transmitida después de la precodificación.

5 9. El método de la reivindicación 1, en donde la etapa de procesar al menos una señal ecualizada específica de capa incluye:

procesar al menos una señal ecualizada específica de capa para obtener una versión depurada específica de capa de la señal total para cada correspondiente capa de transmisión.

10 10. Un receptor (62) de cancelación en paralelo de interferencias, PIC, de múltiples etapas, para usar en una unidad (34, 94) de comunicación inalámbrica de múltiples antenas para proporcionar la ecualización por mínimo error cuadrático medio, MMSE, en el dominio de la frecuencia, FD, cuando la unidad de comunicación está operando en una red (32) inalámbrica que admite múltiples capas de transmisión, en donde el receptor PIC de múltiples etapas se caracteriza porque está configurado para:

15 realizar (49) la supresión de interferencias inicial para una señal total recibida de todas las antenas de recepción en la unidad de comunicación, realizándose la supresión de interferencias inicial en cada unidad (64, 66) detectora específica de capa de transmisión en una primera etapa (63) del receptor PIC que utiliza pesos de ecualización iniciales específicos de la capa de transmisión aplicados a la señal total, en donde la señal total incluye todas las señales recibidas por cada antena receptora para todas las capas de transmisión en una subportadora predeterminada, y en donde la supresión de interferencias inicial proporciona una señal correspondiente ecualizada específica de capa para cada capa de transmisión;

20 procesar al menos una señal ecualizada específica de capa para obtener (50) una versión depurada de la señal total como resultado de la cancelación de interferencias inicial realizada en la primera etapa del receptor PIC;

determinar (58) los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión utilizando los pesos de ecualización iniciales específicos de la capa de transmisión; y

25 aplicar (60) los correspondientes pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión a la versión depurada de la señal total a través de una segunda etapa del receptor PIC.

11. El receptor PIC de etapas múltiples de la reivindicación 10, configurado además para:

30 obtener los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión invirtiendo una matriz $n \times n$ que se basa en los pesos de ecualización iniciales específicos de la capa de transmisión y en las respuestas de frecuencia específicas de la capa de transmisión de un canal en la red inalámbrica asociada con todas las antenas de recepción en la unidad de comunicación inalámbrica, en donde "n" representa el número total de capas de transmisión.

12. El receptor PIC de etapas múltiples de la reivindicación 10, configurado además para:

realizar (52) la demodulación y posterior decodificación de al menos una señal ecualizada específica de capa en una unidad detectora correspondiente específica de capa en la primera etapa del receptor PIC, generando así una señal decodificada correspondiente específica de capa;

35 usar cada señal decodificada correspondiente específica de capa para generar (54) una estimación respectiva de cada señal específica de capa de transmisión recibida por la unidad de comunicación en la subportadora predeterminada; y

cancelar (56) un conjunto predeterminado de estimaciones específicas de capa de transmisión de la señal total para obtener la versión depurada de la señal total.

40 13. Una unidad (34, 94) de comunicación inalámbrica configurada para operar en una red (32) inalámbrica que admite múltiples capas de transmisión, comprendiendo la unidad de comunicación:

una pluralidad de antenas de recepción, en donde cada antena de recepción de la pluralidad de antenas de recepción está configurada para recibir señales para todas las capas de transmisión; y caracterizada por

45 un receptor (102, 109) de cancelación de interferencias en paralelo, PIC, de etapas múltiples, conforme a cualquiera de las reivindicaciones 10-12 acoplado a la pluralidad de antenas de recepción, en donde el receptor PIC de etapas múltiples está configurado para:

recibir (47) una señal total de todas las antenas de recepción de la pluralidad de antenas de recepción, en donde la señal total incluye todas las señales recibidas por cada antena de recepción para todas las capas de transmisión en una subportadora predeterminada,

y en donde los pesos de ecualización actualizados específicos de la capa de transmisión se determinan sin invertir una matriz de covarianza asociada con la versión depurada de la señal total.

14. La unidad de comunicación inalámbrica de la reivindicación 13, en donde la versión depurada de la señal total incluye una versión depurada específica de capa de la señal total para cada correspondiente capa de transmisión.

5 15. Un sistema (25) que comprende:

una primera unidad (34, 94) de comunicación inalámbrica configurada para operar en una red (32) inalámbrica que admite múltiples capas de transmisión; y caracterizado por

una segunda unidad (94, 34) de comunicación inalámbrica según la reivindicación 13, para estar en comunicación inalámbrica con la primera unidad de comunicación a través de la red inalámbrica.

10

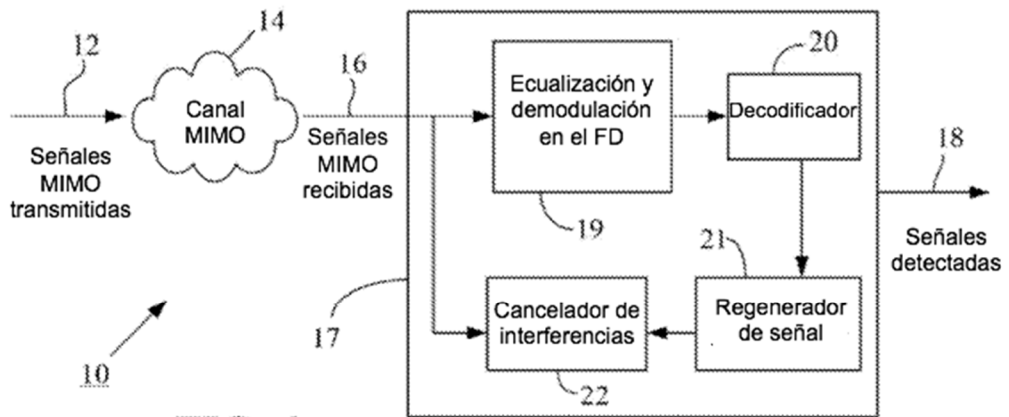


FIG. 1

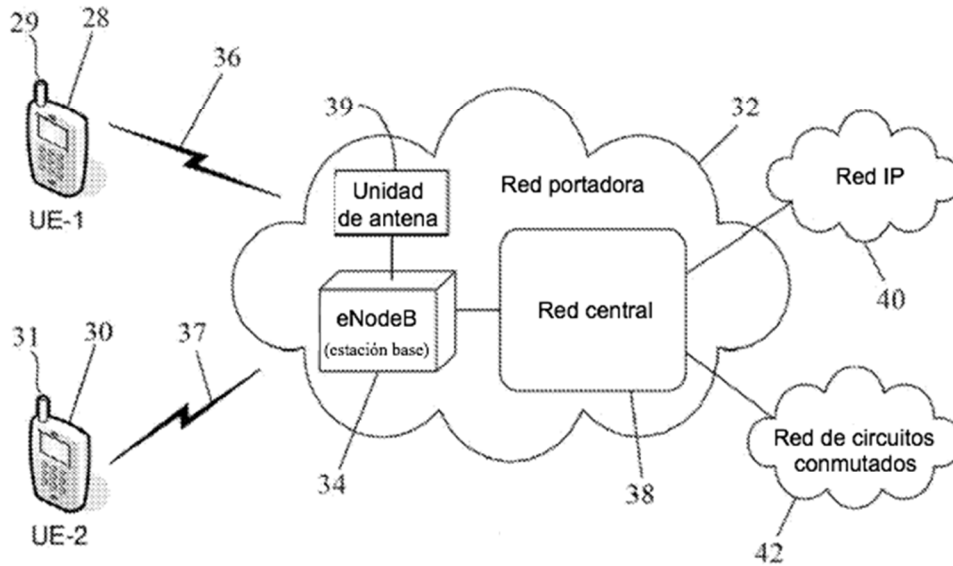


FIG. 2

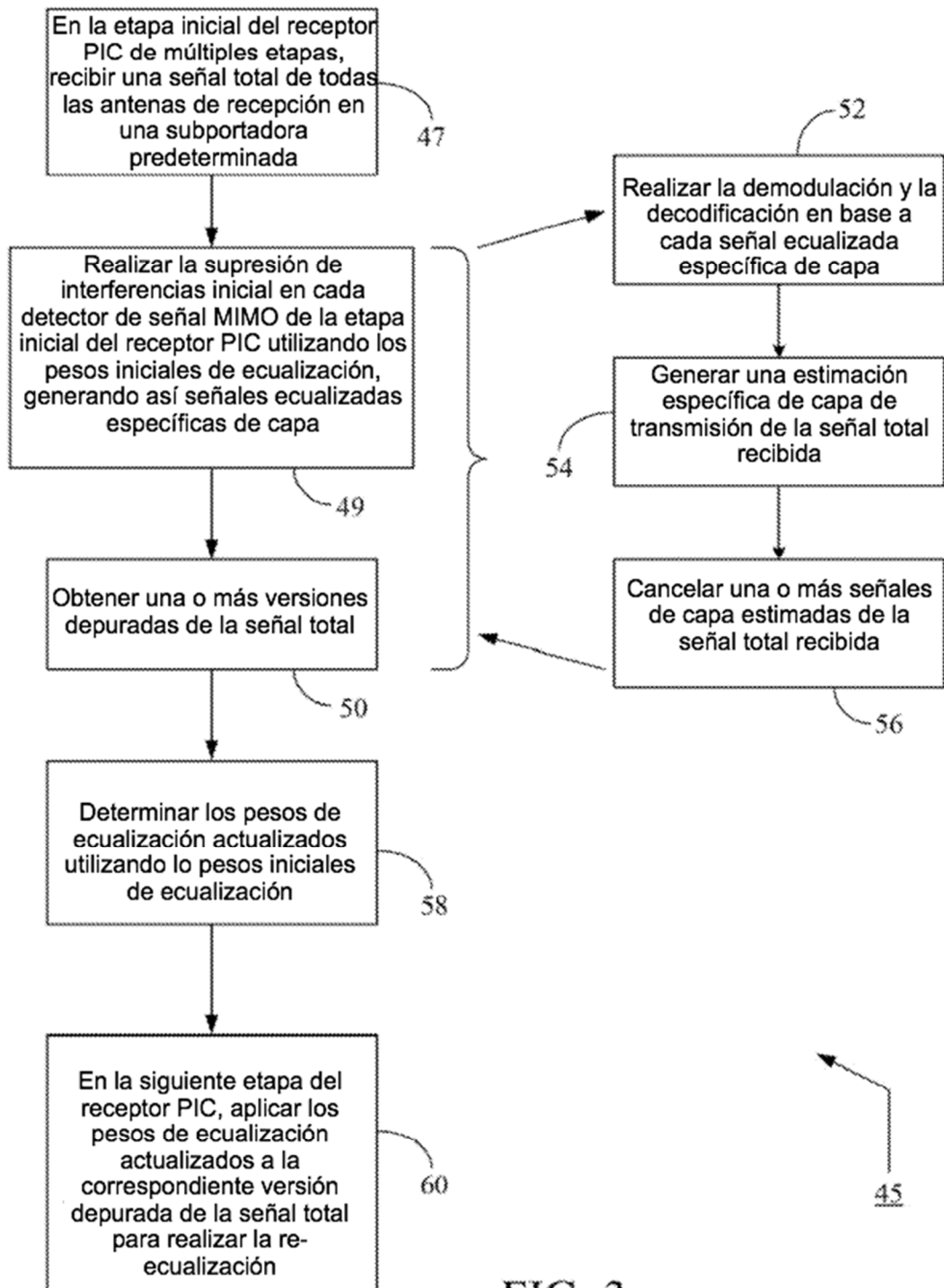


FIG. 3

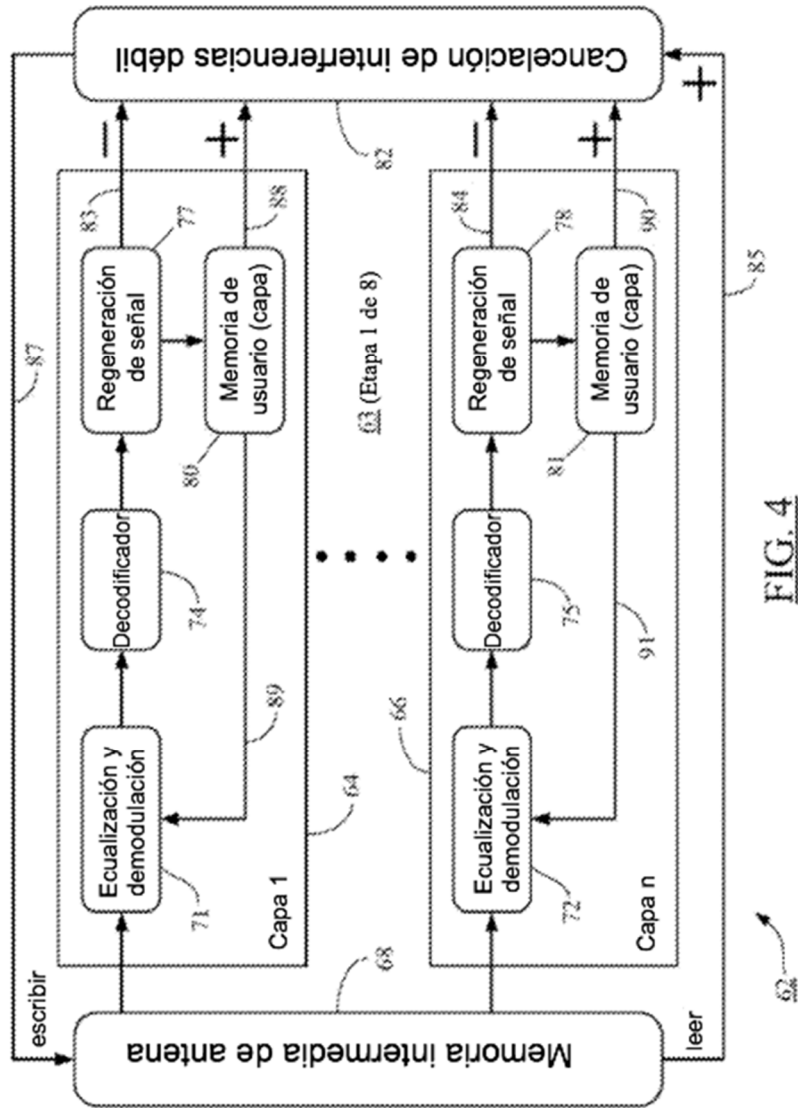


FIG. 4

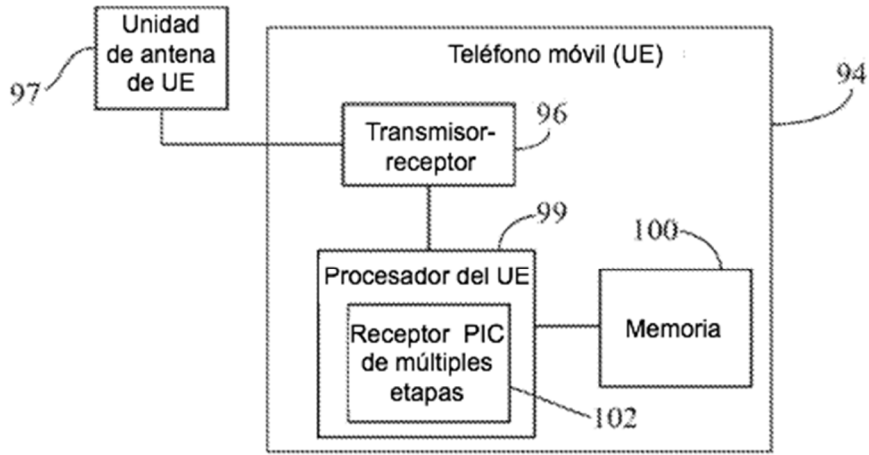


FIG. 5

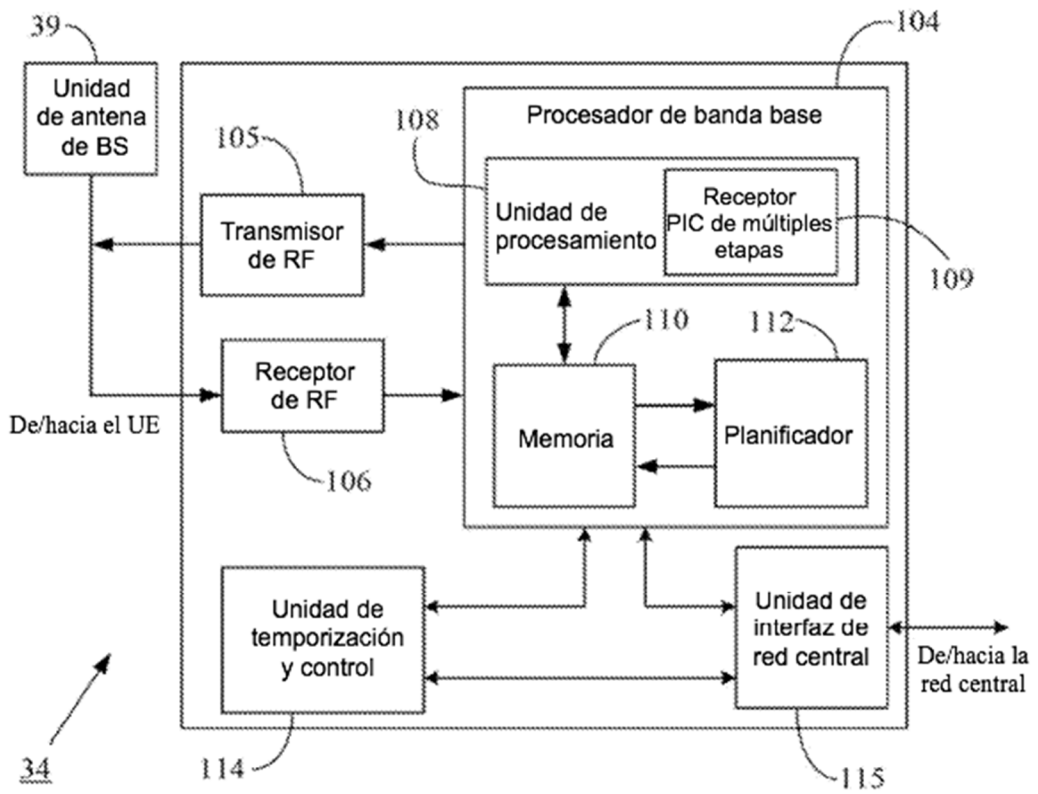


FIG. 6