

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 538 246**

51 Int. Cl.:

H01Q 3/26

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.1999 E 10075615 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2015 EP 2325944**

54 Título: **Difusión de enlace ascendente mediante transmisiones secuenciales desde una estación de comunicaciones que tiene una red matricial de antenas**

30 Prioridad:

09.02.1998 US 20619

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

18.06.2015

73 Titular/es:

**INTEL CORPORATION (100.0%)
2200 Mission College Boulevard
Santa Clara, CA 95052, US**

72 Inventor/es:

**BARRATT, CRAIG H.;
UHLIK, CHRISTOPHER R.;
BOYD, STEPHEN;
YUN, LOUIS C.;
GOLDBURG, MARC H. y
PARISH, DAVID M.**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 538 246 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

Difusión de enlace ascendente mediante transmisiones secuenciales desde una estación de comunicaciones que tiene una red matricial de antenas

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere al campo de los sistemas de comunicaciones inalámbricas y más en particular, a la difusión eficiente de señales de canales de comunicaciones de enlace descendente comunes en un sistema de comunicaciones inalámbricas mediante una estación de comunicación que utiliza una red matricial de antenas de transmisión de elementos múltiples con el fin de conseguir un diagrama casi omnidireccional a través de su área de cobertura.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15

Son conocidos sistemas de comunicación inalámbrica celulares, en donde una zona geográfica se divide en células y cada célula incluye una estación base (BS, BTS) para la comunicación con unidades de abonados (SUs) (también denominados terminales distantes, unidades móviles, estaciones móviles, estaciones de abonados o usuarios distantes) dentro de la célula. En tal sistema, existe una necesidad de difundir información desde una estación base a unidades de abonados, a modo de ejemplo, para realizar una paginación de búsqueda de una unidad de abonado particular para poder iniciar una llamada a esa unidad SU o para enviar información de control a todas las unidades de abonados, a modo de ejemplo, sobre cómo comunicarse con la estación base, incluyendo dicha información de control, a modo de ejemplo, la identificación de estación base, la temporización y los datos de sincronización. Dicha paginación de búsqueda e información de control se difunde a través de los que se denominan canales de control comunes. Puesto que, con frecuencia, no existe ninguna información anterior con respecto a la localización de los usuarios distantes que necesitan recibir la paginación de búsqueda o la información de control o porque dicha información está prevista para varios usuarios, es preferible transmitir dichas señales de forma omnidireccional o casi omnidireccional, en donde el término omnidireccional significa, en general, que el diagrama de potencia radiada de la estación base es independiente del acimut y de la elevación dentro del área de cobertura prescrita de la estación base. Esta invención se refiere a métodos y aparatos para conseguir dichas transmisiones omnidireccionales.

20

25

30

Algunas realizaciones, a modo de ejemplo, de un sistema celular al que puede aplicarse la presente invención son sistemas analógicos que utilizan la norma AMPS, sistemas digitales que utilizan variantes del protocolo de Sistema de Telefonía Manual Personal (PHS) definido por la norma preliminar de la Association of Radio Industries and Businesses (ARIB), RCR STD-28 (Versión 2) de diciembre de 1995 y sistemas digitales que utilizan el protocolo del denominado Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM), incluyendo la versión original, la versión de 1.8 GHz denominada DCS-1800 y el sistema de comunicación personal de 1.9 GHz (PCS) norteamericano denominada PCS-1900, siendo aquí estas tres versiones denominadas "variantes" de GSM. Las normas PHS y GSM definen dos conjuntos generales de canales funcionales (también denominados canales lógicos): un conjunto de canal de control (CCH) y un conjunto de canal de tráfico (TCH). El conjunto TCH incluye canales bidireccionales para transmitir datos de usuarios entre las unidades de abonados y una estación base. El conjunto CCH incluye un canal de control de difusión (BCCH), un canal de paginación de búsqueda (PCH) y otros varios canales de control que no son de interés en esta descripción. El canal BCCH es un canal de enlace descendente unidireccional para difundir información de control desde la estación base a las unidades de abonados que incluye información de estructuras de sistemas y de canales y el canal PCH es un canal de enlace descendente unidireccional que difunde información desde la estación base a un conjunto seleccionado de unidades de abonados o un área amplia de unidades de abonados múltiples (el área de paginación de búsqueda) y que se utiliza normalmente para avisar a una estación distante particular de una llamada entrante. La presente invención es aplicable a todas las transmisiones y difusiones de enlace descendente. Es aplicable, en particular, para los canales BCCH y PCH que se utilizan por una estación base para transmitir simultáneamente información común a más de un abonado (esto es, para la difusión). Es también aplicable a otras situaciones en donde se desea transmitir energía de RF de manera omnidireccional o al menos sin ningún nulo en cualquier lugar en la zona prevista.

35

40

45

50

55

60

65

El uso de redes matriciales de antenas para la radiación de energía de radiofrecuencias (RF) está bien establecido en una diversidad de disciplinas de radio. Para los fines de la transmisión en el enlace descendente desde una estación base que incluye una red matricial de antenas a un receptor distante (la unidad de abonado), la señal prevista para la SU puede proporcionarse como entrada a cada uno de los elementos radiantes de la red matricial, diferenciándose un elemento de otro solamente por los factores de base y de ganancia, que normalmente resultan, por diseño, en un diagrama de radiación direccional orientado en la unidad de abonado. Las ventajas de esta clase de estrategia de transmisión incluyen un aumento de la ganancia sobre la que es posible utilizando un elemento de radiación único y disminuyendo la interferencia a otros usuarios de co-canales en el sistema en comparación por la transmisión por medio de un elemento de radiación único. Utilizando dicha red matricial de antenas, son también posibles técnicas de acceso múltiple por división espacial (SDMA) en donde el mismo "canal convencional" (esto es, el mismo canal de frecuencia en un sistema de acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA), el intervalo temporal en un sistema de acceso múltiple por división temporal (TDMA), el código en un sistema de acceso múltiple

por división de código (CDMA) o el intervalo temporal y la frecuencia en un sistema de TDMA/FDMA) puede asignarse a más de una unidad de abonado.

5 Cualesquiera señales de enlace descendente enviadas son recibidas por una unidad de abonado y la señal recibida en dicha unidad de abonado receptora se procesa como es bien conocido en esta técnica.

10 Cuando una señal se envía desde una unidad distante a una estación base (esto es, la comunicación está en enlace ascendente), la estación base normalmente (y no necesariamente) es una estación que utiliza una red matricial de antenas de recepción (normalmente y no necesariamente, en la misma red matricial de antenas que para la transmisión). Las señales de estaciones base recibidas en cada elemento de la red matricial de recepción son cada una ponderadas en amplitud y fase mediante una ponderación de recepción (también denominada ponderación de demultiplexación espacial), siendo este procesamiento denominado demultiplexación espacial, con todas las ponderaciones de recepción determinando un vector de ponderación de recepción de valor complejo que es dependiente de la signatura espacial de recepción del usuario distante que transmite a la estación base. La signatura espacial de recepción caracteriza la forma en que la red matricial de estaciones base recibe señales desde una unidad de abonado particular en la ausencia de cualquier interferencia. En el enlace descendente (comunicaciones desde la unidad a estación base a una unidad de abonado), la transmisión se consigue mediante la ponderación de la señal a transmitirse por cada elemento de la red matricial en amplitud y fase por un conjunto de ponderaciones de transmisión respectivas (también denominadas ponderaciones de multiplexación espacial), todas las ponderaciones de transmisión para un usuario particular determinan un vector de ponderación de transmisión de valor complejo que también depende de lo que se denomina la "signatura espacial de enlace descendente" o "signatura espacial de transmisión" del usuario distante que caracteriza la forma en que el usuario distante recibe señales desde la estación base con ausencia de cualquier interferencia. Cuando se transmite a varios usuarios distantes a través del mismo canal convencional, la suma de las señales ponderadas se transmite por la red matricial de antenas. Esta invención se refiere, principalmente, a las comunicaciones de enlace descendente, aunque las técnicas ciertamente son aplicables también a comunicaciones de enlace ascendente cuando la unidad de abonado utiliza también una red matricial de antenas para transmitir y se desea una transmisión omnidireccional desde dicha unidad de abonado.

30 En sistemas que utilizan redes matriciales de antenas, la ponderación de las señales en el enlace ascendente desde cada elemento de antena en una red matricial de antenas o en el enlace descendente a cada elemento de antena se denomina en esta descripción como procesamiento espacial. El procesamiento espacial es de utilidad incluso cuando no más de una unidad de abonado se asigna a cualquier canal convencional. De este modo, el término SDMA se utilizará aquí para incluir el caso de multiplexación espacial verdadero de tener más de un usuario por canal convencional y el uso del procesamiento espacial por solamente un usuario por canal convencional. El término de canal se referirá a un enlace de comunicación entre una estación base y un usuario distante único, de modo que el término SDMA cubre, a la vez, un canal único por canal convencional y más de un canal por canal convencional. Los múltiples canales dentro de un canal convencional se denominan canales espaciales. Para una descripción de sistemas SDMA, véase, a modo de ejemplo, las patentes de Estados Unidos de copropietarios 5,515,378 (emitida con fecha 7 de mayo de 1996) y 5,642,353 (emitida con fecha 24 de junio de 1997), titulada SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS DE ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN ESPACIAL, Roy, m. et al de inventores copropietarios de la patente de Estados Unidos 5,592,490 (emitida con fecha 7 de enero de 1997), titulada SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS DE ALTA CAPACIDAD ESPECTRALMENTE EFICIENTES, Barratt, et al, inventores, con la patente de Estados Unidos de copropiedad 5828658 (presentada el 10 de octubre de 1996), titulada SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS DE ALTA CAPACIDAD ESPECTRALMENTE EFICIENTES CON PROCESAMIENTO ORAL TIO-TEMP SPA, Ottersten, et al, inventores y la patente de copropiedad de Estados Unidos 5909470 (presentada con fecha 11 de octubre de 1996), titulada MÉTODO Y APARATO PARA LA DEMODULACIÓN DIRIGIDA POR DECISIÓN UTILIZANDO REDES MATRICIALES DE ANTENAS Y UN PROCESAMIENTO ESPACIAL, Barratt, et al, inventores. Los sistemas que utilizan redes matriciales de antenas para mejorar la eficiencia de las comunicaciones y/o para proporcionar SDMA se denominan, a veces, sistemas de antenas inteligentes. Las patentes y solicitudes de patente anteriores se refieren colectivamente en esta descripción como "nuestras patentes de antenas inteligentes".

55 Puesto que la difusión implica la transmisión simultánea de datos a través de un canal común a un conjunto disperso de unidades de abonados, es deseable encontrar métodos para utilizar la red matricial de antenas de elementos múltiples y el equipo de transmisor asociado para la difusión, a la vez, de información de canal de enlace descendente común y de información de tráfico previstas para uno o más usuarios particulares.

60 Características deseables

Una estrategia operativamente satisfactoria tendrá las características siguientes:

65 - información no anteriormente proporcionada sobre la localización probable de receptores distantes, recibiendo un receptor distante, en cualquier acimut, una señal al menos una vez durante un periodo de tiempo en aproximadamente el mismo nivel de un usuario en cualquier otro lugar, en cualquier momento durante el periodo de tiempo. En esta descripción dicha difusión se denomina difusión "casi omnidireccional" (NOR);

- la baja variación en la potencia de transmisión de cada elemento en la red matricial de modo que se obtenga una ventaja importante a partir de todos los elementos en la red matricial y siendo minimizadas las cuestiones de escalamiento que surgen en la práctica;
- 5 - ganancia importante del diagrama de transmisión en relación con la conseguible por un elemento único de la red matricial que transmite a una potencia comparable con respecto a la potencia de transmisión individual de los elementos de la red matricial en ese periodo de tiempo; y
- baja energía radiada total de modo que todos los elementos se utilicen con eficiencia.

10 La propiedad de "baja potencia radiada relativa" significa, en esta descripción, baja potencia radiada por elemento de antena durante un periodo de tiempo en relación con la potencia requerida para efectuar un nivel de radiación máxima comparable (comparable en alcance, acimut y elevación) utilizando un elemento de antena unidad de la misma ganancia (p.e., según se mide en dBi) como los elementos individuales de la red matricial de antenas. Puesto que la diferencia en la potencia radiada puede traducirse en diferentes requisitos del amplificador de potencia y los amplificadores de muy alta potencia son de precio relativamente alto, en algunas situaciones, incluso 1 dB puede ser una diferencia importante en la potencia radiada. En casos más generales, 3 dB se considerará una diferencia importante en la potencia radiada.

20 Los sistemas sectorizados que utilizan redes matriciales de antenas son conocidos en esta técnica. En un sistema sectorizado, en lugar de una difusión omnidireccional verdadera (360° de cobertura de acimut) existe una necesidad, en esta técnica, para difundir eficientemente en la *zona de cobertura prevista* (esto es, el sector) de la red matricial de antenas y la electrónica asociada. En consecuencia, en este documento, el término "omnidireccional" se tomará en el sentido siguiente: 1) "omnidireccional" significa *aproximadamente casi* omnidireccional ("NOR"); 2) en un sistema celular no sectorizado, el término omnidireccional significará NOR para una cobertura de 360° de acimut y 3) en un sistema sectorizado, el término omnidireccional significará casi omnidireccional en la anchura del sector prevista (p.e., 120° de cobertura de acimut para sectores de 120°).

30 La técnica anterior

Un método común para difundir así los datos es utilizar una antena omnidireccional de modo que la portadora de RF se transmita más o menos uniformemente en todas las direcciones. Este diagrama de radiación omnidireccional parece ser una elección razonable para los sistemas celulares móviles en donde las unidades de abonados pueden situarse arbitrariamente dentro del área celular. En el caso de un sistema de antenas inteligentes, se puede conseguir dicho diagrama omnidireccional utilizando una antena omnidireccional única separada (tal como un dipolo vertical) o uno de los elementos en la red matricial de antenas (suponiendo que tiene *m* elementos). Lamentablemente, lo que antecede requeriría aumentar la potencia total del transmisor en ese elemento de antena (o antena separada) en comparación con los niveles de potencia utilizados en las comunicaciones del canal TCH ordinarias cuando todos los elementos de antena son operativos, para conseguir un alcance similar para los canales de control y del tráfico. La opción de aumentar la potencia puede no ser permitida por la regulación aplicable y, aun cuando esté permitida, puede no ser una elección práctica porque, a modo de ejemplo, los costes del amplificador de potencia tienden a aumentar rápidamente con la potencia.

45 El método de la técnica anterior de transmisión desde solamente un elemento de red matricial único satisfaría los criterios deseables de ganancia aproximadamente constante como una función del acimut y de otras magnitudes que describen la localización del receptor distante y de baja energía radiada total, pero no proporcionaría una baja variación en la potencia de transmisión de cada elemento en la red matricial de modo que se obtengan ventajas de todos los elementos en la red matricial y se minimicen los problemas que escalamiento que surgen en la práctica y no se proporcionaría una ganancia importante del diagrama en relación con la ganancia conseguible con un elemento único de la red matricial transmisora a una potencia comparable con las potencias de transmisión individuales de los elementos de la red matricial. Además, la transmisión desde solamente una antena no permitiría las comunicaciones simultaneas con varios usuarios en el mismo canal convencional.

55 Como alternativa, el diagrama de radiación de la red matricial de antenas puede controlarse mediante una combinación de enviar haces múltiples y aplicar un pre-procesamiento a cualesquiera señales antes de la formación de los haces. La patente de Estados Unidos n° 5,649,287 (emitida con fecha 15 de julio de 1997), titulada MÉTODOS DE ORTOGONALIZACIÓN PARA RELLENO NULO DEL DIAGRAMA DE ANTENA, Forssen, et al, inventores, da a conocer un método para enviar información en un sistema de comunicaciones celular que comprende al menos una estación base con una red matricial de antenas y una pluralidad de estaciones móviles. La información común es preprocesada para crear señales ortogonales. Las señales ortogonales se forman luego en haces de modo que las señales ortogonales se entreguen a los diferentes haces en la antena de la red matricial. Las señales ortogonales se transmiten y luego se reciben en una o más estaciones móviles. Las señales se procesan luego en la estación móvil para descifrar la información común desde las señales ortogonales. Las señales de ortogonalización a transmitirse a las estaciones móviles se forman con el fin de evitar que se produzcan nullos en el diagrama de antena.

El método dado a conocer por Forssen et al requiere un pre-procesamiento (ortogonalización) de la señal de control para formar m señales ortogonales que se alimentan luego al dispositivo formador de haces. Es decir, cualquier señal a difundir se transforma primero a un conjunto de señales no correlacionadas y luego, cada una de estas señales se envía a un haz diferente. Lo que antecede requiere equipos extras o etapas de procesamiento. Además, la forma de realización particular descrita por Forssen et al requiere un ecualizador de alto rendimiento en la unidad de abonado para la resolución de las señales ortogonalizadas desde los diversos varios lóbulos. Sería deseable utilizar un sistema en el que cualquier señal a transmitirse sea ponderada solamente en fase y amplitud sin requerir una etapa adicional (p.e., ortogonalización).

De este modo, existe una necesidad en la técnica para métodos para la transmisión de enlace descendente omnidireccional que utilicen el aparato del sistema de comunicación existente incluyendo los elementos de antena existentes en una red matricial de antenas para conseguir un rendimiento omnidireccional aceptable con baja potencia radiada relativa. Existe también una necesidad en la técnica para un aparato que consiga este resultado operativo.

SUMARIO DE LA INVENCION

Un objetivo de la invención es un método para la transmisión de enlace descendente puesta en práctica en una estación de comunicaciones que incluye una red matricial de elementos de antena para conseguir un rendimiento omnidireccional aceptable con la potencia radiada relativa baja, siendo omnidireccional en el sentido de que un usuario distante situado en cualquier lugar en acimut dentro del alcance de la estación de comunicaciones puede recibir el mensaje durante un periodo de tiempo. Otro objetivo es un aparato que consigue este objetivo.

Estos y otros objetivos se dan a conocer en los diversos aspectos de la idea inventiva.

La invención da a conocer un método de transmisión de una señal de enlace ascendente según la reivindicación 1 y un terminal distante según la reivindicación 7.

A continuación se da a conocer un método para transmitir una señal de enlace descendente con un diagrama de radiación deseable a unidades de abonados desde una estación de comunicaciones que tiene una red matricial de elementos de antena. En la estación de comunicaciones, existen uno o más procesadores de la señal programados (en el caso de procesadores de señales programables) para ponderar cualquier señal de enlace descendente en fase y en amplitud, siendo la ponderación describible como un vector de ponderación de valor complejo. Las señales ponderadas se alimentan a las entradas de aparatos de transmisión cuyas salidas están acopladas a los elementos de antena. El método incluye la repetición de la transmisión de la señal de enlace descendente varias veces, incluyendo cada transmisión (a) la aplicación de un procedimiento de procesamiento de la señal desde un conjunto de procedimientos de procesamiento de la señal para formar una señal de antena de enlace descendente procesada, incluyendo el procedimiento de procesamiento la ponderación de la señal de enlace descendente en fase y en amplitud en función de un vector de ponderación y (b) transmitir las señales de enlace descendente pasando cada señal de antena de enlace descendente procesada a su elemento de antena previsto por intermedio del aparato de transmisión asociado del elemento de antena previsto. El conjunto de procedimientos de procesamiento se designa de modo que cualquier posición en un sector deseado consiga un nivel de radiación deseable durante al menos una de las repeticiones. En condiciones normales, el sector deseado es un alcance de acimut, a modo de ejemplo, el alcance completo en acimut del sector de la red matricial y el nivel de radiación deseado es un nivel no nulo. Por un nivel no nulo se entiende un nivel de energía importante de modo que la recepción sea posible. Es decir, cada usuario en cualquier posición es objeto de transmisión en el periodo de tiempo para todas las repeticiones. En condiciones normales, el secuenciamiento y cada uno de los procedimientos de procesamiento de la señal se realizan ejecutando un programa en uno de los procesadores de la señal.

En una forma de realización del método, cada uno del conjunto de procedimientos de procesamiento de la señal comprende la ponderación con uno de entre una secuencia de vectores de ponderación diferentes. El método incluye la realización, para cada vector de ponderación en la secuencia de vectores de ponderación, de las etapas siguientes: seleccionar un vector de ponderación siguiente desde la secuencia, ponderar la señal de enlace descendente en fase y en amplitud en función del vector de ponderación seleccionado para formar un conjunto de señales de antena de enlace descendente ponderadas y transmitir la señal de enlace descendente pasando cada señal de antena de enlace descendente ponderada a su elemento de antena previsto por intermedio del aparato de transmisión asociado del elemento de antena previsto. La secuencia está diseñada para conseguir un nivel de radiación deseado en cualquier posición a través de un sector deseado durante al menos una de las transmisiones secuenciales que utilizan la secuencia de vectores de ponderación. En condiciones normales, el sector deseado es el alcance completo en acimut y el nivel de radiación deseado es un nivel significativo (esto es, no nulo). Es decir, cada usuario es objeto de transmisión en el periodo de tiempo requerido para la transmisión secuencial utilizando todos los vectores de ponderación de la secuencia. En condiciones normales, la lógica de secuenciamiento se realiza ejecutando un programa en uno de los procesadores de la señal. En una puesta en práctica, las ponderaciones de la secuencia son prememorizadas en una memoria y en otra puesta en práctica, las ponderaciones se calculan de forma aleatoria, posiblemente desde una o más ponderaciones de prototipo, que se guardan en una memoria.

En las formas de realización particulares dadas a conocer, la estación de comunicaciones funciona utilizando el protocolo de interfaz de aire PHS en un sistema celular. Una variante del sistema es para aplicaciones de baja movilidad, mientras que otra variante es para un sistema de bucle local inalámbrico (WLL). La invención, sin embargo, no está limitada a cualquier sistema de multiplexación particular o normas de interfaz de aire. Otras formas de realización pueden utilizar cualquier sistema de multiplexación analógico o digital (p.e., FDMA, TDMA/FDMA, CDMA, etc.) y/o cualesquiera normas de interfaz de aire (p.e., AMPS, GSM, PHS, etc.).

En una forma de realización dada a conocer, los elementos de la secuencia de vectores de ponderación tienen todos ellos la misma amplitud y tienen una fase aleatoria. En una puesta en práctica, la fase aleatoria se consigue utilizando medios de aleatorización (p.e., un generador de fases aleatorias) que pueden incluirse en los aparatos de transmisión. En otra puesta en práctica, la secuencia se prediseña y prememoriza en una memoria.

En otra forma de realización, la secuencia está constituida por vectores de ponderación que son ortogonales. Los vectores de ponderación ortogonales preferentemente (y no necesariamente) tienen elementos con la misma magnitud. La descripción da a conocer tres realizaciones, a modo de ejemplo, de secuencias ortogonales que pueden utilizarse a este respecto: una secuencia cuyos elementos son las filas (o, de forma equivalente, las columnas) de una matriz de Walsh-Hadamard de valores complejos, una secuencia cuyos elementos son las filas (o, de forma equivalente, las columnas) de una matriz de Hadamard de valores reales y una secuencia cuyos elementos son los vectores base de la Transferencia de Fourier Discreta (DFT o FFT).

En otra forma de realización, la secuencia está constituida por vectores de ponderación cada uno de ellos diseñado para proporcionar un diagrama de radiación deseable (p.e., un diagrama casi omnidireccional (NOR)) dentro de un subsector del sector deseado global (normalmente el alcance completo en acimut) con todos los subsectores cubriendo el sector deseado global de modo que la difusión secuencial con cada ponderación en la secuencia cubra el alcance deseado. Los vectores de ponderación de la secuencia se diseñan utilizando el método descrito en la patente matriz (solicitud de patente de Estados Unidos número de serie 08/988,519). En una forma de realización, a modo de ejemplo, los vectores de ponderación de la secuencia son cada uno de ellos el vector de ponderación que minimiza una función de costes de vectores de ponderación posibles que incluye una expresión de la variación respecto al diagrama de radiación deseable del diagrama de radiación dentro del subsector particular que resulta de la transmisión utilizando el vectores de ponderación. En una versión particular aplicable para red matricial de antenas que tiene elementos que están distribuidos de forma prácticamente uniforme, se diseña un vector de ponderación prototipo para un subsector y los demás vectores de ponderación de la secuencia son versiones "desplazadas" del prototipo obtenido desplazando el vector de ponderación prototipo en una magnitud determinada por el desplazamiento angular del subsector a partir del subsector del vector de ponderación prototipo. Véase la patente matriz para conocer más detalles.

En otro aspecto de la invención, la secuencia de vectores de ponderación incluye vectores de ponderación que son representativos de los vectores de ponderación diseñados para la transmisión a las unidades de abonados conocidas para la estación de comunicaciones. En condiciones normales, los vectores de ponderación diseñados para la transmisión a las unidades de abonados conocidas se determinan a partir de las firmas espaciales de transmisión de las unidades de abonados conocidas. En una forma de realización, los vectores de ponderación representativos son los vectores de ponderación diseñados para la transmisión a las unidades de abonados conocidas. En otra forma de realización, los vectores de ponderación representativos son el menor número que los vectores de ponderación diseñados para la transmisión a las unidades de abonados conocidas y se determinan a partir del vector de ponderación de las unidades de abonados utilizando un método de reagrupamiento de cuantización de vectores. Numerosos métodos de reagrupamiento son conocidos en esta técnica y cualquiera de ellos puede utilizarse para esta parte de la invención. El método de reagrupamiento de una forma de realización preferida se inicia con un conjunto de vectores de ponderación (p.e., los vectores de ponderación diseñados para transmisión a las unidades de abonados conocidas) y determina, de forma iterativa, un conjunto más pequeño de vectores de ponderación representativos de un conjunto de vectores de ponderación. Al principio, se asigna un conjunto inicial de vectores de ponderación representativos. Durante cada iteración, cada vector de ponderación se combina con su más próximo vector de ponderación representativo, siendo la mayor proximidad en función de algún criterio de asociación. Una medida media de la distancia entre cada vector de ponderación representativo y todos los vectores de ponderación combinados con el vector de ponderación representativo se determina en este momento. Preferentemente, la medida media es el cuadrado medio de la distancia. Hasta que la magnitud de la diferencia entre esta medida media en la presente iteración y esta distancia media en la iteración anterior sea menor que algún valor umbral, cada vector de ponderación representativo se sustituye con un vector de ponderación principal para todos los vectores de ponderación que se hayan combinado con el vector de ponderación representativo durante esa iteración y se repite la etapa de combinación y control del umbral. El vector de ponderación principal es, preferentemente, el centroide geométrico de todos los vectores de ponderación que han sido combinados con el vector de ponderación representativo durante esa iteración. Cuando la medida media entre cada vector de ponderación representativo y todos los vectores de ponderación combinados con ese vector de ponderación representativo es menor que algún valor umbral, los vectores de ponderación representativos que consiguen lo que antecede son los vectores de ponderación representativos finales utilizados como los vectores de ponderación representativos para la transmisión secuencial de la señal de enlace descendente.

En una forma de realización de este método de reagrupamiento, el criterio de asociación utilizado para determinar la proximidad es la cercana distancia euclidiana y el vector de ponderación principal es el centroide geométrico de todos los vectores de ponderación que han sido combinados con el vector de ponderación representativo durante esa iteración. En otra forma de realización, el criterio de asociación utilizado para la proximidad es el ángulo de coseno máximo, en cuyo caso, el vector de ponderación principal al que sustituye cada vector de ponderación representativo es el vector singular principal obtenido a partir de la realización de la descomposición de valor singular en todos los vectores de ponderación que han sido combinados con el vector de ponderación representativo durante esa iteración. Además, en una forma de realización del método de reagrupamiento, los vectores de ponderación representativos son los vectores de ponderación de amplitud unitaria orientados en ángulos diferentes, uniformemente espaciados, en la zona de interés angular (preferentemente, 360 grados en acimut). Se pueden utilizar también otros valores iniciales. A modo de ejemplo, en otra forma de realización aplicable para el caso de que el número de vectores de ponderación representativos sea igual al número de elementos de antena, se pueden utilizar las ponderaciones ortogonales de Walsh-Hadamard como el conjunto inicial de vectores de ponderación representativos. Como alternativa, se puede utilizar ponderaciones ortogonales DFT como el conjunto inicial de vectores de ponderación representativos.

En una forma de realización mejorada alternativa, la secuencia de vectores de ponderación incluye dos subsecuencias, comprendiendo la primera subsecuencia los vectores de ponderación que son representativos de los vectores de ponderación de transmisión para las unidades de abonados existentes y la segunda subsecuencia incluye un vector de ponderación designado para la difusión casi omnidireccional. El vector de ponderación diseñado para la difusión casi omnidireccional puede diseñarse así en conformidad con una puesta en práctica del método de la patente matriz. Como alternativa, la segunda subsecuencia puede ser un conjunto de vectores de ponderación ortogonales.

25 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La presente invención se entenderá mejor a partir de las formas de realización preferidas detalladas de la invención que, sin embargo, no deben tomarse como limitación de la invención a cualquier forma de realización específica, sino que son para explicación y mejor entendimiento solamente. Las formas de realización se explican, a su vez, con la ayuda de las Figuras siguientes:

La Figura 1 ilustra la parte de procesamiento de transmisión y la parte de RF de transmisión de una estación base;

La Figura 2 ilustra la parte de procesamiento de transmisión y la parte de RF de transmisión de una estación base con medios de post-procesamiento en la ruta de transmisión para cada elemento de antena;

Las Figuras 3(a) y 3(b) indican, de una manera simplificada, el método de reagrupamiento de una forma de realización preferida en dos diferentes etapas (iteraciones) de un método de selección de los vectores de código de cuantización de vectores a partir de un conjunto de vectores de ponderación;

La Figura 4 ilustra los resultados de realizar una simulación sin ningún secuenciamiento de ponderación. Tres histogramas de una medida de PNLTY se ilustran en las Figuras 4(a), 4(b) y 4(c) para valores γ de 0 (totalmente aleatoria), 0.5 y 1.0 (totalmente geométrico), respectivamente, cada uno con un total de 10.000 pruebas;

Las Figuras 5(a), 5(b) y 5(c) ilustran resultados de simulación para utilizar un secuenciamiento de ponderaciones DFT para los casos de $\gamma=0$, $\gamma=0.5$ y $\gamma=1.0$, respectivamente, cada uno con 10.000 pruebas, en conformidad con un aspecto de la idea inventiva y

Las Figuras 6(a), 6(b) y 6(c) ilustran resultados de simulación para utilizar un secuenciamiento de vectores de ponderación cuantizados de vectores para los casos de $\gamma=0$, $\gamma=0.5$ y $\gamma=1.0$, respectivamente, cada uno con 10.000 pruebas, en conformidad con otro aspecto de la idea inventiva.

La invención puede entenderse haciendo referencia a la siguiente descripción de una parte de estación base de un sistema de comunicaciones inalámbricas con SDMA, en particular, un sistema SDMA celular. En una puesta en práctica, el sistema funciona utilizando el protocolo de comunicación PHS que es adecuado para aplicaciones de baja movilidad. Las unidades de abonados pueden ser móviles. La patente de Estados Unidos de copropiedad anteriormente mencionada 5909470 describe los equipos físicos de una estación base de dicho sistema en detalle, teniendo la estación base preferentemente cuatro elementos de antena. En una segunda puesta en práctica, las unidades de abonados tienen una posición fija. Se utiliza de nuevo el protocolo de comunicación de PHS. Los sistemas inalámbricos con posiciones fijas se denominan, a veces, sistemas de bucle local inalámbrico (WLL). Una estación base del sistema WLL, en la que se incorporan algunos aspectos de la presente invención, se describe en la patente de copropiedad EP1051811 (en adelante "Nuestra patente de control de potencia"). Dicha estación base del sistema WLL puede tener cualquier número de elementos de antena y muchas de las simulaciones aquí descritas asumirán una red matricial de 12 antenas, será evidente para los expertos ordinarios en esta técnica que la invención puede ponerse en práctica en cualquier sistema SDMA con uno o más canales espaciales por canal convencional y teniendo unidades de abonados móviles, fijas o una combinación de móviles y fijas. Dicho sistema

puede ser analógico o digital o puede utilizar técnicas de acceso múltiple por división de frecuencias (FDMA), acceso múltiple por división de código (CDMA) o acceso múltiple por división temporal (TDMA), estando esta última normalmente en combinación con FDMA (TDMA/FDMA).

5 La Figura 1 ilustra la parte de procesamiento de transmisión y la parte de RF de transmisión de una estación base (BS) en donde se puede materializar la presente invención. La señal de enlace descendente digital 103 ha de difundirse por la estación base y se genera normalmente en la estación base. La señal 103 se procesa por un procesador de la señal 105 que procesa la señal de enlace descendente 103, incluyendo dicho procesamiento el procesamiento espacial la ponderación de señal de enlace descendente 103 en fase y amplitud en un conjunto de
10 señales de antenas de enlace descendente ponderadas, siendo la ponderación describible mediante un vector de ponderación de valor complejo. El procesador de la señal 105 puede incluir un procesador programable en la forma de uno o más dispositivos de procesadores de señales digitales (DSPs) o uno o más microprocesadores de uso general (MPUs) o uno o más microprocesadores MPUs y uno o más procesadores DSPs junto con toda la memoria y lógica para operar.

15 Debe hacerse referencia a la patente de Estados Unidos de copropiedad antes citada 5909470 y la patente EP1051811 para conocer más detalles. En las formas de realización preferidas, el procesamiento espacial (multiplexación espacial) y los métodos de la presente invención se ponen en práctica en la forma de instrucciones de programación en el procesador de la señal 105 que cuando se cargan en memoria y se ejecutan en los
20 microprocesadores DSPs o MPUs o ambos a la vez, hacen que el aparato ilustrado en la Figura 1 realice los métodos. De este modo, el procesador de la señal 105 tiene el mismo número de salidas, que el número indicado por m en esta descripción, puesto que existen elementos de antena en la red matricial de antenas transmisoras de la estación base. La salida se refiere como 106.1, 106.2, ..., 106.m en la Figura 1. En la forma de realización preferida, la misma red matricial de antenas se utiliza para transmitir y para recibir con la duplexión de dominio temporal (TDD)
25 que se efectúa por un conmutador de transmisión/recepción. Puesto que la invención se refiere principalmente a la transmisión, la funcionalidad de duplexión no se ilustra en la Figura 1. Por ello, la Figura 1 se aplicará también para una estación base que solamente transmita, para una estación base con diferentes antenas para transmisión y recepción, y para una estación base que utiliza la duplexión del dominio de la frecuencia (FDD) con las mismas antenas de transmisión y de recepción. Las m salidas del procesador de la señal 105, normalmente pero no necesariamente en la banda base, están cubiertas para la frecuencia RF requerida, y luego la frecuencia RF se amplifica y alimenta a cada uno de los m elementos de antena 109.1, 109.2, ..., 109.m. En los sistemas móviles y de WLL en donde se pone en práctica la invención, parte de la conversión ascendente se realiza de forma digital y otra parte, de forma analógica. Puesto que la conversión ascendente y la amplificación de RF es bien conocida en esta técnica, ambas se ilustran combinadas en la Figura 1 como unidades de RF 107.1, 107.2, ..., 107.m.

35 Descripción general del método

El aspecto común del método y aparato de la presente invención es transmitir la señal de enlace descendente varias veces, a modo de ejemplo, n veces, cada vez con un procesamiento de la señal diferente, incluyendo el
40 procesamiento de la señal la ponderación con un vector de ponderación de transmisión y seleccionado de modo que, en el transcurso del tiempo, transmita con todos los n procedimientos de procesamiento de la señal diferentes, con cualquier posición en un sector deseado consiguiendo un nivel de radiación deseable durante al menos una de las transmisiones. En condiciones normales, el vector deseado es un alcance de acimut, a modo de ejemplo, el alcance completo en acimut del sector de la red matricial y el nivel de radiación deseado es un nivel significativo
45 (esto es, nivel no nulo). Preferentemente, si no se proporciona otra información, un usuario distante en cualquier acimut en el sector deseado contempla el mismo nivel de radiación máxima cuando se tiene la misma distancia desde el transmisor a través del tiempo para transmitir con todos los n procedimientos de procesamiento de la señal diferentes. En condiciones normales, el sector deseado es 360° para un sistema no sectorizado y el sector de la red matricial de antenas en un sistema sectorizado.

50 En una forma de realización ilustrativa del método de la presente invención, las n instancias de procesamiento de la señal incluyen cada una de ellas la ponderación mediante un vector de ponderación correspondiente de una secuencia de n vectores de ponderación de transmisión. De este modo, en esta forma de realización, la señal de enlace descendente retransmite varias veces, a modo de ejemplo, n veces, cada vez con un vector de ponderación diferente de entre una secuencia de n vectores de ponderación diferentes, siendo los n vectores de ponderación
55 elegidos de modo que, en el transcurso del tiempo, para transmitir todos los n vectores de ponderación, cualquier lugar en un sector deseado (p.e., el sector de la red matricial) consiga un nivel de radiación deseado durante al menos una de las transmisiones. En condiciones normales, el sector deseado es un alcance de acimuts, a modo de ejemplo, el alcance completo de acimuts del sector de la red matricial y el nivel de radiación deseado es un nivel significativo (esto es, no nulo). Preferentemente, sino se proporciona otra información, un usuario distante en cualquier acimut en el sector deseado contempla el mismo nivel de radiación máximo cuando se tiene la misma distancia desde el transmisor, en el transcurso del tiempo, para transmitir todos los n vectores de ponderación. En condiciones normales, el sector deseado es de 360° para un sistema no sectorizado y el sector de la red matricial de antenas en un sistema sectorizado. Aunque un vector de ponderación diferente se utiliza *efectivamente* en cada
60 repetición, dicha diferencia puede conseguirse, a modo de ejemplo, seleccionado un vector de ponderación diferente o utilizando un vector de ponderación único con medios adicionales para modificar el vector de ponderación para

obtener un vector de ponderación *efectivo* diferente.

En otra puesta en práctica, el procedimiento de procesamiento de la señal incluye el post-procesamiento después del procesamiento espacial, a modo de ejemplo, utilizando un filtrado analógico o digital en banda base o un filtrado analógico en el dominio de RF, siendo el procesamiento espacial normalmente, pero no necesariamente, utilizando prácticamente el mismo vector de ponderación de transmisión para cada repetición. En cada una de las n instancias de transmisión de la señal de enlace descendente, la señal de enlace descendente se procesa espacialmente para una pluralidad de señales, una para cada elemento de antena. Cada una de las señales de antena es objeto de post-procesamiento en una forma diferente. Conviene señalar que cada una de las señales de antena se convierte en sentido ascendente a RF, normalmente con una o más etapas de amplificación de frecuencia intermedia (IF) y el procesamiento puede realizarse antes de dicha conversión ascendente, utilizando medios digitales o analógicos o después una conversión ascendente digital (cuando existe una conversión ascendente digital) utilizando medios digitales o analógicos o después de una conversión ascendente analógica utilizando medios analógicos. En la puesta en práctica analógica, se introduce un filtrado analógico diferente en cada una de las m señales de antena y en cada una de las n instancias en unidades de RF 107.1, 107.2, ..., 107,m que alimentan los m elementos de antena 109.1, 109.2, ..., 109,m. Lo que antecede puede realizarse, a modo de ejemplo, introduciendo una diferente magnitud de retardo en cada una de las m señales de antena y en cada una de las n instancias. La Figura 2 ilustra medios de post-procesamiento 203.1, 203.2, ..., 203,m que, a modo de ejemplo, son cada uno de ellos aparatos de retardo que producen m diferentes retardos. Para cada unidad de RF, el medio de post-procesamiento se considera en la entrada. Sin embargo, sería evidente para los expertos en esta técnica que la función de post-procesamiento podría tener lugar dentro de la unidad de RF y no solamente en la banda base. Cuando se introducen dichos retardos, pueden necesitarse ecualizadores adecuados mediante unidades de abonados receptores, como sería también evidente para los expertos en esta técnica. La función de post-procesamiento puede realizarse también, a modo de ejemplo, introduciendo una cantidad diferente de compensación de frecuencia en cada una de las m señales de antena y en cada una de las n instancias. La Figura 2 ilustra los medios de post-procesamiento 203.1, 203.2, ..., 203,m que, en este caso, son cada uno de ellos aparatos de compensación de frecuencia que proporcionan m diferentes compensaciones de frecuencia. Las magnitudes de diferentes compensaciones de frecuencia o de diferentes retardos a introducir en cada una de las m señales de antena serían insuficientes para causar problemas para los demoduladores en las unidades de abonados, pero suficientes para ortogonalizar las m señales de antena. Una forma de realización particular del post-procesamiento de introducción de la compensación de frecuencia puede utilizarse en sistemas que utilicen filtros/convertidores ascendentes programables en los aparatos de transmisión de RF. Dicho dispositivo es el dispositivo de filtro/convertidor ascendente digital en cuadratura GC4114 de Graychip, Inc., (Palo Alto, California) que se utiliza en la puesta en práctica de los sistemas de RF 107.1, 107.2, ..., 107,m en la estación base del sistema de WLL descrito en nuestra Patente de Control de Potencia (solicitud de patente de Estados Unidos 09/xxx.xxx anteriormente citada). El dispositivo GC4114 tiene registros de compensación de fase (y de ganancia) que pueden utilizarse para introducir la compensación de la frecuencia en la señal.

Debe mencionarse que el método de post-procesamiento de compensación de frecuencia puede considerarse como la transmisión de un vector de ponderación de transmisión cuya fase cambia durante el tiempo de transmisión de cada repetición. A modo de ejemplo, con la modulación digital tal como se utiliza en la forma de realización preferida, la introducción de una pequeña compensación de frecuencia causa efectivamente que el espacio de constelación tenga una rotación lenta. El espacio de constelación es la constelación compleja objeto de barrido por una señal de banda base de valor complejo (componente en fase I y componente en cuadratura Q). De este modo, utilizando la forma de realización de post-procesamiento de compensación de frecuencia puede causar el efecto anterior.

Otra forma de introducir el post-procesamiento para obtener un conjunto de señales de enlace descendente procesadas ortogonalizadas para una transmisión secuencial es utilizar solamente un vector de ponderación y utiliza los sistemas de RF 107.1, 107.2, ..., 107,m, en donde cada uno incluye medios para la aleatorización de la fase. Las m fases durante cada transmisión son entonces aleatorias con respecto entre sí.

La Figura 2 ilustra los medios de post-procesamiento 203.1, 203.2, ..., 203,m, que en este caso, son cada uno medios de aleatorización de fase, incluidos en los sistemas de RF 107.1, 107.2, ..., 107,m. Para cada unidad de RF, el medio de aleatorización de fase se contempla en la entrada. Sin embargo, sería evidente para los expertos en esta técnica que la aleatorización podría tener lugar dentro de la unidad de RF y no solamente en la banda base.

En una forma de realización, el medio de aleatorización 203 incluye el direccionamiento secuencial de tablas de búsqueda de senos y cosenos con índices iniciales aleatorios. Otra forma de realización puede utilizarse en sistemas que utilizan filtros/convertidores ascendentes programables en los aparatos de transmisión de RF. A modo de ejemplo, en la forma de realización anteriormente citada que utiliza el dispositivo GC4114 de Graychip, Inc., que tiene registros de compensación de fase (y de ganancia), estos últimos pueden utilizarse para cambiar la fase (y la amplitud) de la señal. El cambio de fase tiene lugar a la frecuencia intermedia IF digital.

Un primer aparato ilustrativo que materializa la invención incluye la lógica secuencial para el secuenciamiento por intermedio de una secuencia de n vectores de ponderación diferentes. En la forma de realización preferida, la lógica secuencial es un conjunto de instrucciones de programación en el procesador de la señal 105 (que pueden consistir

en uno o más dispositivos DSP). El medio de secuenciamiento incluye también, en una forma de realización, una memoria para memorizar la secuencia de los vectores de ponderación y en otra forma de realización, medios generadores para generar los vectores de ponderación de la secuencia de vectores de ponderación de forma aleatoria, junto con medios de memoria para memorizar uno o más vectores de ponderación prototipo a partir de los que se genera la secuencia utilizando los medios de generación. La forma de poner en práctica dicha lógica secuencial utilizando dispositivos DSP y/o microprocesadores sería evidente para un experto ordinario en esta técnica.

Un segundo aparato ilustrativo que materializa la invención incluye una lógica secuencial para el secuenciamiento por intermedio de un conjunto de n procedimientos de procesamiento de la señal. En la forma de realización preferida, la lógica secuencial y los procedimientos de procesamiento de la señal son cada uno de ellos un conjunto de instrucciones de programación en el procesador de la señal (que puede estar constituido por uno o más dispositivos DSP). Los procedimientos de procesamiento de la señal pueden ser cualquiera de los conjuntos de procedimientos de post-procesamiento anteriormente descritos para procesar la señal de enlace descendente espacialmente procesada en una de un conjunto de señales de enlace descendente procesadas ortogonales junto con el procesamiento espacial adecuado. La forma de poner en práctica dicha lógica secuencial y el procesamiento de la señal que utiliza dispositivos DSP y/o microprocesadores sería evidente para un experto en esta técnica.

El protocolo de PHS utilizado en la forma de realización preferida permite definir el intervalo del canal de control (la cantidad de tiempo entre ráfagas de control, en tramas). A modo de ejemplo, en numerosos sistemas de PHS, la ráfaga de control se envía cada 20 tramas. Puesto que una trama es de 5 ms en PHS estándar, esto significa que el BCCH se envía cada 100 ms. En PHS tal como se utiliza en el sistema de WLL que incorpora la forma de realización preferida, la ráfaga de control se envía cada 5 tramas (25 ms). Por lo tanto, si la secuencia tiene 12 ponderaciones, en tal caso, la secuencia completa se repite cada 300 ms.

Ponderaciones de fase aleatorias

En una primera forma de realización de utilización de una secuencia de vectores de ponderación, el conjunto de vectores de ponderación consiste en ponderaciones de elementos que tienen la misma amplitud con una fase aleatoriamente variable. Varias formas son posibles para su puesta en práctica.

Una forma de conseguir dicha fase aleatoria es seleccionar y memorizar previamente un conjunto de vectores de ponderación que tienen los elementos de amplitud iguales, pero con fases aleatorias y la secuencia por intermedio del conjunto de vectores de ponderación.

Una segunda forma de conseguir una fase aleatoria es tener un solo vector de ponderación prototipo y repetir la transmisión con el mismo vector de ponderación modificado para aleatorizar la fase. Desde el punto de vista matemático, con la indicación del vector de ponderación de transmisión prototipo por w con elementos w_1, \dots, w_m , el método incluye la repetición de la transmisión de la señal de enlace descendente con un vector de ponderación de elementos $w_1 \exp(j\phi_1), \dots, w_m, \exp(j\phi_m)$, en donde en cada repetición los valores ϕ_1, \dots, ϕ_m se varían de forma aleatoria. Es decir, cada una de las magnitudes ϕ_1, \dots, ϕ_m es una magnitud aleatoria uniformemente distribuida entre 0 y 2π .

Se realizaron experimentos con la estrategia de fase aleatoria y se observó que la estadística de la señal recibida por un usuario estacionario seguía aproximadamente una distribución denominada de Raleigh. Un usuario móvil que recibe una señal desde una estación base que transmite con una antena única se consideraría como tal distribución, a modo de ejemplo. Por lo tanto, los protocolos de comunicaciones estándar y las normas de interfaz de aire son particularmente tolerantes con las señales que tienen distribuciones de Raleigh.

Ponderaciones ortogonales

Una segunda forma de realización utiliza un conjunto de vectores de ponderación ortogonales para la secuencia de vectores de ponderación. En la forma de realización preferida, el número de vectores de ponderación para el secuenciamiento es igual a m , el número de elementos de antena en una red matricial de antenas 109. Se indica por $w_i, i = 1, \dots, m$, el i -ésimo vector de ponderación de transmisión (con valor complejo) en la secuencia. Es decir, para la duración de la transmisión con el i -ésimo vector de ponderación, la señal modulada a difundirse se pondera (en banda base) en amplitud y fase para cada elemento de antena en función del valor del elemento de valor complejo del vector de ponderación w_i . Se supone que $s(t)$ indica la señal de enlace descendente a difundirse, en donde t es el tiempo (un índice entero para sistemas digitales o el tiempo en un sistema analógico, según se entendería por los expertos en esta técnica). Se supone que fn representa la modulación de transmisión necesaria para el sistema de transmisión particular. Para la norma PHS utilizada en las formas de realización preferidas, fn es la modulación por desplazamiento de fase cuaternaria diferencial (DQPSK). En tal caso, se indica con

$$w_i = [w_{i1} \dots w_{im}],$$

la señal (p.e., en banda base), indicada como $y_{ij}(t)$ a transmitirse por el j -ésimo elemento de antena (de un total de m elementos de red matricial de antenas) con la i -ésima ponderación descrita matemáticamente como

$$y_{ij}(t) = w_{ij}^* f_n(s(t)),$$

5 en donde $()^*$ indica el conjugado completo.

Una forma adecuada para especificar todos vectores- m de ponderación de la secuencia es el apilamiento de cada uno de los w_i , $i = 1, \dots, m$ para formar una matriz de m filas por m columnas indicada W , de modo que se tenga

$$10 \quad \mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{bmatrix}.$$

En donde W especifica la secuencia completa. Siendo, a veces, W referida como la matriz base en esta descripción.

15 En la forma de realización preferida, puesto que se desea utilizar todos los elementos de antena, cada elemento (de valor complejo) de cada vector de ponderación en la secuencia se obliga a que tenga la misma magnitud. Es decir, todas las antenas transmiten en todo momento (durante la difusión) con la misma potencia. Desde el punto de vista matemático, lo que antecede puede expresarse como $|w_{ij}| = 1$ para todos los valores de i y para todos los valores de j . La magnitud real se determina por la parte de control de potencia de la estación base. Véase, a modo de ejemplo, 20 Nuestra patente de control de potencia (anteriormente mencionada como solicitud de patente de Estados Unidos nº 09/xxx.xxx).

Coefficientes de Walsh-Hadamard

25 En una forma de realización, los vectores de ponderación son las filas (o columnas) de W , en donde W es una matriz de Walsh-Hadamard generalizada (esto es, de valores complejos). El siguiente código informático de MATLAB (The Mathworks, Inc., Natick, MA) genera matrices de Walsh-Hadamard para los casos de $m=2, 4$ y 8 .

```
%
% generación de un conjunto ortogonal de ponderaciones utilizando una versión
% completa de la matriz de Walsh-Hadamard.
% los vectores de ponderación pueden ser los vectores de filas o de columnas
% de la matriz base W.

m = 4;      % m es el número de antenas

pos = (1 + sqrt(-1) 1-sqrt(-1))/sqrt(2);
neg = (-1 - sqrt(-1) 1-sqrt(-1))/ sqrt(2);

a2 = (pos; neg);
a4 = (a2 a2; a2 -a2);
a8 = (a4 a4; a4 -a4);

si (m == 2);
base = a2;
elseif (m == 4)
base = a4;
elseif (m == 8)
base = a8;
end;
```

30 En otra forma de realización, los vectores de ponderación son las filas (o columnas) de la matriz m -dimensional W , en donde W es una matriz de Hadamard de valores reales con valores de coeficientes de $+1$ y -1 .

Coefficientes de DFT

En otra forma de realización, los vectores de ponderación son los vectores base de la transferencia de Fourier Discreta (DFT) de m puntos y su puesta en práctica rápida, la transferencia de Fourier rápida (FFT). Estas son las filas (o columnas) de W , en donde, con $j^2 = -1$,

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & e^{j2\pi/m} & \dots & e^{j2\pi(m-1)/m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & e^{j2\pi(m-1)/m} & \dots & e^{j2\pi(m-1)^2/m} \end{bmatrix}.$$

5

Métodos basados en las ponderaciones con diagramas deseables

10 La patente matriz describe la definición de una función de costes (de vectores de ponderación) que define los aspectos deseables de los vectores de ponderación en términos del diagrama de radiación global, la distribución de potencia entre los elementos de antena, etc. De forma similar, en otra forma de realización, una función de costes de una *secuencia* de vectores de ponderación se define para conseguir un diagrama global deseable y una variación también deseable en la potencia entre los diversos elementos de la red matricial de antenas de transmisión.

15 Un aspecto de lo que antecede es dividir el problema de diseño en varios diseños de vectores de ponderación, formando los vectores de ponderación la secuencia de vectores de ponderación. Cada vector de ponderación designado (a modo de ejemplo, utilizando los métodos descritos en la patente matriz) para tener un diagrama de radiación deseable a través de un subsector, la unión de todos los subsectores que definen la zona deseada de cobertura y la superposición de la totalidad de los subsectores que definen el diagrama deseado global a través de
 20 la zona de cobertura. Cuando el secuenciamiento está en un orden particular, esto es equivalente a un “barrido” de una zona con un subsector, aunque no existe ningún requerimiento para una secuencia en un orden particular que simule dicho barrido. Cuando se utiliza una red matricial de antenas aproximadamente uniforme, se diseña un vector de ponderación “prototipo” único para conseguir un diagrama casi omnidireccional a través de un sector único (a modo de ejemplo de anchura $\Delta\theta$) y este vector de ponderación se “desplaza” en una magnitud definida por $\Delta\theta$, la magnitud de la zona deseada global y el número de vectores de ponderación en la secuencia. A modo de ejemplo,
 25 con una red matricial lineal aproximadamente uniforme para la cobertura sobre 1800° con m transmisiones secuenciales, el desplazamiento es $1800^\circ/m$ y $\Delta\theta$ es preferentemente algo mayor que $1800^\circ/m$.

Otra realización, a modo de ejemplo, es el diseño más general de una secuencia de vectores de ponderación que
 30 consigue directamente la propiedad deseada, según se define por una función de costes que se tiene que minimizar. La forma de diseñar dicha función de costes sería evidente para un experto en esta técnica a partir de esta descripción y la de la patente US6154661.

Métodos basados en el conocimiento de usuarios distantes

35 En un sistema de WLL, las posiciones de las unidades de abonados son fijas y conocidas (en la forma de firmas espaciales de transmisión) por la estación base. Una estrategia de difusión está basada en transmitir secuencialmente el mensaje de difusión a cada abonado utilizando un vector de ponderación determinado a partir de la
 40 la firma espacial de transmisión conocida del abonado con posiblemente algunos otros criterios. Utilizando un vector de ponderación de transmisión determinado solamente a partir de la firma espacial del abonado puede asegurarse que se entregue la potencia máxima a ese usuario. Un criterio adicional a añadir puede ser minimizar la energía para otros usuarios.

Para los bucles de abonados locales con un gran número de SUs, la transmisión secuencial a la totalidad de SUs
 45 puede requerir demasiado tiempo para cada mensaje de difusión. La cantidad de tiempo requerida puede reducirse proporcionando un conjunto de diagramas de radiación sectorizados (véase lo descrito con anterioridad) que pueden ser objeto de secuenciamiento, en donde cada diagrama de radiación sectorizado puede cubrir más de un abonado. Otra opción es determinar un conjunto más pequeño de vectores de ponderación de transmisión difundidos que
 50 “representen” adecuadamente el conjunto de vectores de ponderación para cada una de las SUs. Una realización, a modo de ejemplo, de lo que antecede es la cuantización de vectores (VQ). Véase documento de Gray, R.M. “Cuantización de vectores”, IEEE ASSP Magazine, Vol. 1, nº 2, abril 1984 (ISSN-0740-7467) para una introducción a VQ. Los métodos de VQ se han aplicado a otros campos técnicos, tales como la compresión de imagen, la codificación predictiva lineal de vectores de características vocales para la codificación de voz y el reconocimiento de la voz, etc.

55 Se supone que existen p usuarios remotos, teniendo el k -ésimo usuario una firma espacial de transmisión a_{tk} , siendo $k = 1, \dots, p$. Se supone que w_k es el vector de ponderación “destinado” en el k -ésimo usuario. Es decir, si expresamos las firmas espaciales en la forma

$$a_{ik} = \begin{bmatrix} \alpha_{k1} e^{j\phi_{k1}} \\ \alpha_{k2} e^{j\phi_{k2}} \\ \vdots \\ \alpha_{km} e^{j\phi_{km}} \end{bmatrix},$$

en donde α_{ki} son amplitudes positivas y los valores ϕ_{ki} son ángulos, en tal caso, los vectores de ponderación “óptimos” “destinados” a los p usuarios son

5

$$w_k = \begin{bmatrix} e^{-j\phi_{k1}} \\ e^{-j\phi_{k2}} \\ \vdots \\ e^{-j\phi_{km}} \end{bmatrix}, k = 1, \dots, p.$$

Numerosos métodos son conocidos para seleccionar el conjunto de n vectores- m representativos de un conjunto mayor de p vectores m . Entre ellos están los que se suelen conocer como métodos de “reagrupamiento” en la documentación pertinente. En nuestra aplicación, se inicia con p vectores de ponderación (a modo de ejemplo, los p vectores de ponderación destinados a los p usuarios distantes conocidos) y determina a partir de ellos los n vectores de ponderación (vectores de código) que son representativos de los p vectores de ponderación. El método de reagrupamiento particular utilizado se describe a continuación. Conviene señalar que aunque p es preferentemente el número de usuarios distantes, el método es general; pueden existir más vectores de ponderación iniciales que usuarios distantes conocidos (véase más adelante). El método que utilizamos prosigue, de forma iterativa, como sigue:

10

15

1. Se comienza con p vectores de ponderación (que se indican por $w_i, i = 1, \dots, p$) y preferentemente, p es el número de usuarios distantes y los w_i son los vectores de ponderación óptimos destinados a los p usuarios distantes y comenzando con los n vectores de código iniciales (indicados como v_k , siendo $k = 1, \dots, n$). Preferentemente, los vectores de códigos iniciales son los vectores de ponderación de amplitud unitaria orientados en n ángulos uniformemente espaciados en la zona de interés angular (preferentemente, 360 grados en acimut).

20

2. Para cada uno de los vectores de ponderación (esto es, para cada $i = 1, \dots, p$), hay que determinar k de modo que se tenga $\|w_i - v_k\| \leq \|w_i - v_l\|$ para todos los valores de $l = 1, \dots, n$. Esto encuentra para vector de ponderación w_i el vector de código más próximo v_k (“más próximo” significa la distancia euclidiana $\|\cdot\|$). El criterio aquí utilizado se denomina el criterio de “asociación”, por lo que el criterio de asociación preferentemente es la más cercana distancia euclidiana.

25

3. Combinar (asociar) cada uno de dichos vectores de ponderación w_i con el vector de código más próximo v_k . Indicar el número de vectores de ponderación que se combinan con el vector de código v_k por n_k e indicar como $w_{i,k}$ los vectores de ponderación w_j que han sido combinados con el vector de código v_k .

30

4. Calcular la distancia euclidiana cuadrática media entre los vectores de ponderación y los vectores de código que se combinan con ellos. Es decir, calcular

35

$$d^2 = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^{n_k} \|w_{i,k} - v_k\|^2$$

y determinar si la magnitud de la diferencia entre d^2 para esta iteración y el valor de d^2 para la iteración anterior es menor que algún valor umbral pequeño δd^2 . Si la respuesta es afirmativa hay que interrumpir el proceso. En una forma de realización, δd^2 es 10^{-12} cuando todos los vectores de ponderación están normalizados a 1. Conviene señalar que la etapa 4 no necesita realizarse en la primera iteración.

40

5. Si la que antecede es la primera iteración o si la magnitud de la diferencia en d^2 entre la iteración actual y la iteración anterior no es menor que el valor umbral δd^2 , sustituir cada vector de código v_k , siendo $k = 1, \dots, n$ por el centroide geométrico (en un espacio complejo m -dimensional) de los n_k vectores de ponderación $w_{i,k}$ que han sido combinados con ese vector de código v_k . Es decir, sustituir cada v_k con

45

$$v_{k, \text{new}} = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} w_{i,k} \cdot$$

50

6. Volver a la etapa 2.

De este modo, se determina n vectores representativos de los p vectores de ponderación, siendo preferentemente estos p vectores los vectores de ponderación óptimos para los usuarios distantes conocidos.

5 En una puesta en práctica alternativa, el criterio de asociación al determinar los vectores próximos en la etapa 2 y en la etapa 3 de combinación es combinar cada vector de ponderación w_i con su vector de código de ángulo coseno v_k en lugar de con su más próximo vector de código. El coseno del ángulo entre dos vectores es el denominado producto escalar de los vectores normalizados:

$$\cos \theta_{i,k} = \frac{|w_i \bullet v_k|}{\|w_i\| \cdot \|v_k\|},$$

10 en donde \bullet es el producto escalar. La etapa 5 de sustituir cada vector de código se modifica en este caso a: realizar una descomposición del valor singular (SVD) en la matriz cuyas columnas son los n_k vectores de ponderación $w_{i,k}$ que se han combinado con el vector de código v_k y sustituir cada vector de código v_k siendo $k = 1, \dots, n$ por el vector singular principal obtenido de la realización de la descomposición SVD en los n_k vectores de ponderación $w_{i,k}$ que han sido combinados con el vector de código v_k .

15 Se pueden utilizar también otros valores iniciales. A modo de ejemplo, en otra puesta en práctica alternativa, aplicable para el caso de que el número de vectores de código n sea igual al número de elementos de antena m , se puede utilizar las ponderaciones ortogonales de Walsh-Hadamard como el conjunto inicial de vectores de código. Como alternativa, se puede utilizar ponderaciones ortogonales de DFT como el conjunto inicial de vectores de código. En otra alternativa, se puede utilizar un conjunto de vectores de códigos iniciales aleatorios.

20 Una realización, a modo de ejemplo, de utilización del método de seleccionar los vectores de código utilizando el método preferido, se ilustra en las Figuras 3(a) y 3(b) en dos dimensiones para simplicidad visual. En la práctica, por supuesto, los vectores son valores complejos y en m dimensiones. En el caso ilustrado, existen doce vectores de ponderación originales y a partir de ellos se generan cuatro (el número n) vectores de código. Las Figuras 3(a) y 3(b) ilustran el estado del método en dos etapas diferentes (iteraciones) del método de generación del vector de código preferido. Los cuatro vectores de código se indican como círculos y están numerados 333, 335, 337 y 339 en la Figura 3(a) y 343, 345, 347 y 349 en la Figura 3(b), respectivamente. Las doce ponderaciones originales se ilustran como Xs en ambas Figuras. Se asigna inicialmente alguno conjunto inicial de vectores de código y estos son vectores de código 333, 335, 337 y 339 según se ilustra en la Figura 3(a). Durante cada iteración, cada vector de ponderación se combina con su vector de código más próximo, dividiendo el espacio en cuatro zonas. Los límites de las zonas se indican como líneas de puntos 303 en la Figura 3(a) y líneas de puntos 313 en la Figura 3(b) y las zonas se indican etiquetadas P1₁-P4₁ y P1₂-P4₂ en las Figuras 3(a) y 3(b) respectivamente. Los vectores de código en cualquier etapa, p.e., vectores de código 343, 345, 347 y 349 en la Figura 3(b) son los centroides de los vectores de ponderación de cada zona anterior. De este modo, el vector de código 345 en la Figura 3(b) es el centroide de los cuatro vectores de ponderación en la zona P2₁ en la Figura 3(a). La sustitución de los vectores de código por los centroides, la distancia euclidiana media entre vectores de código y vectores de ponderación originales disminuirá de esta manera. El método de la forma de realización preferida se interrumpe cuando la diferencia entre la distancia euclidiana media en la etapa actual (iteración) i y la iteración anterior es más pequeña que algún valor umbral predefinido. Los n vectores de ponderación que se utilizan para el secuenciamiento son los vectores de código de la última iteración.

45 Un método alternativo para determinar los n vectores de código para utilizar como la secuencia de vectores de ponderación con los que transmitir secuencialmente los métodos de enlace descendente a partir de un conjunto inicial de p vectores de ponderación está basado en utilizar la descomposición de valor singular (SVD). El método de SVD aplicado al proceso de selección de vectores de código prosigue, de forma recursiva, como sigue:

50 1. Realizar la descomposición de valor singular en la matriz $[w_1 \dots w_p]$ cuyas columnas son los p vectores de ponderación. Como anteriormente, p es preferentemente el número de usuarios distantes y los w_i son los vectores de ponderación óptimos destinados a los p usuarios distantes. Se considera el vector singular principal, indicado por x .

55 2. Para cada uno de los p vectores de ponderación w_1, \dots, w_p , determinar el coseno del ángulo entre el vector de ponderación y el vector singular principal, es decir, determinar

$$\cos \theta_{i,x} = \frac{|w_i \bullet x|}{\|w_i\| \cdot \|x\|}, \text{ para } i = 1, \dots, p.$$

60 3. Dividir el conjunto de vectores de ponderación en dos conjuntos. Si el coseno del ángulo entre un vector de ponderación y el vector singular principal es más pequeño que algún valor umbral, dicho vector de ponderación se

selecciona para el primer conjunto. De no ser así, ese vector de ponderación se asigna al segundo conjunto.

4. Repetir las etapas 1, 2 y 3 anteriores para el segundo conjunto para dividir en dos conjuntos, continuando esta etapa de recursión 4 hasta que se obtenga el número de conjuntos n y los vectores de código son entonces los n vectores singulares principales que se obtienen a partir de las recursiones.

Otros métodos para determinar los n vectores de código para utilizar como la secuencia de vectores de ponderación con los que transmitir secuencialmente los métodos de enlace descendente pueden utilizarse también sin desviarse por ello del alcance de la invención. Véase, a modo de ejemplo, el artículo anteriormente mencionado por R.M. Gray. Véase también, a modo de ejemplo, el método de división binaria de Rabiner, L.R. et al "Nota sobre las propiedades de un cuantizador de vectores para los coeficientes LPC", Bell Systems Technical Journal, Vol. 62, nº 8, octubre 1983, páginas 2603-2616. Este y otros métodos de "reagrupamiento" conocidos en esta técnica pueden adaptarse para el problema de difusión de canal común y cómo adaptarse de este modo un método de reagrupamiento sería evidente para un experto en esta técnica.

Aunque en la descripción anterior se supone p usuarios distantes y p vectores de ponderación iniciales, pueden existir también más de un vector de ponderación por usuario distante, por lo que p puede ser mayor que el número de usuarios distantes conocidos. A modo de ejemplo, en un sistema típico, algunas de las firmas espaciales de usuarios distantes pueden cambiar significativamente en el transcurso del tiempo, mientras que otras no lo hacen.

De este modo, en una forma de realización alternativa del método de VQ (aplicable a todas las puestas en práctica de VQ alternativas), los vectores de ponderación originales a partir de los que se determina el conjunto representativo de n vectores de ponderación que incluye un registro respecto al tiempo de los vectores de ponderación de usuarios. En otra forma de realización alternativa, se utiliza un registro estadístico de vectores de ponderación de usuarios distantes.

Para poner en práctica lo que antecede en el sistema de WLL para el que son candidatos algunas de las formas de realización alternativas de la invención, normalmente 6 o 7 firmas espaciales pueden memorizarse para cada usuario distante. Además, la varianza a corto plazo (sobre una sola llamada) y a largo plazo (sobre varias llamadas) de las firmas espaciales pueden memorizarse.

En estas formas de realización, la generación de los n vectores de código a utilizar para el método de difusión secuencial se realiza periódicamente puesto que la base de usuarios es conocida que cambia. Esta generación puede realizarse fuera de línea o puede realizarse dentro de la estación base en el procesador de la señal 105.

Como alternativa, p puede ser menor que el número de usuarios distantes conocidos. A modo de ejemplo, uno de los p vectores de ponderación puede ser suficiente para cubrir más de un usuario distante.

Métodos basados en conocimiento parcial

Mientras que en general en un sistema de WLL, las firmas espaciales de los usuarios distantes existentes son conocidas, pueden existir algunos nuevos usuarios en el sistema cuyas firmas espaciales no sean todavía conocidas. En una forma de realización mejorada, el mensaje se transmite secuencialmente con cada vector de ponderación de un primer conjunto de n vectores de ponderación que son representativos de los usuarios distantes existentes y entonces, el mensaje se difunde de nuevo con un vector de ponderación adicional a partir de un segundo conjunto de algún otro número, a modo de ejemplo 1, de vectores de ponderación diseñados para una difusión (casi) omnidireccional, p.e., vectores de ponderación que son ortogonales o están aleatorizados (p.e., fase aleatoria) según se describió con anterioridad. Las transmisiones secuenciales con los n vectores de ponderación representativos se repiten ahora antes de la transmisión con la siguiente ponderación del segundo conjunto de vectores de ponderación. De esta forma, el mensaje de enlace descendente se recibirá, a la larga, por incluso un usuario distante desconocido, lo que normalmente resulta más largo que cuando se recibe por un usuario distante conocido.

En una forma de realización mejorada alternativa, el mensaje se transmite secuencialmente con cada vector de ponderación de un primer conjunto de n vectores de ponderación que son representativos de los usuarios distantes existentes y luego, el mensaje se difunde con un vector de ponderación adicional diseñado para la difusión casi omnidireccional, a modo de ejemplo, utilizando cualquiera de las formas de realización descritas en la Patente Matriz.

En el caso de un sistema celular que preste servicio a unidades de abonados móviles, no es posible asignar vectores de ponderación de transmisión fijos puesto que la posición varía con el tiempo. Sin embargo, un conjunto de posiciones preferidas puede desarrollarse debido a las posiciones "de atracción" de los abonados, tales como aeropuertos u otros centros de transporte, que tienden a ser emplazamientos temporales para una fracción importante de las estaciones móviles de abonados dentro de la zona de cobertura en cualquier momento dado.

Si una estación base particular presta sus servicios a abonados estacionarios y abonados móviles, una estrategia de

combinación puede utilizarse para servir a ambos tipos de abonados mediante el secuenciamiento por intermedio de un conjunto de libro de códigos de vectores de ponderación VQ representativos de los vectores de ponderación para los usuarios con firmas espaciales conocidas y luego, mediante secuenciamiento por intermedio de un conjunto adecuado de vectores de ponderación ortogonal o de fase aleatoria diseñados para una difusión casi omnidireccional. Además, las posiciones de atracción que tienen a tener un mayor número de clientes móviles, tales como los centros de transporte, que tienen vectores de ponderación de transmisión asociados pueden incluirse junto con las unidades de abonados estacionarios en el proceso de VQ o ser objeto de acceso en adición a otro secuenciamiento de diagramas de radiación de antenas. Los sectores con diferentes concentraciones de unidades de abonados pueden tratarse de manera distinta, p.e., generando múltiples libros de códigos de VQ para la difusión a diferentes sectores por separado o en combinación con otras estrategias de secuenciamiento.

Resultados de simulación

Algunos de los métodos aquí descritos se evaluaron mediante simulación. En la simulación, los vectores de ponderación "óptimos" a utilizar son conocidos, en donde el término "óptimo" se define a continuación. La firma espacial de transmisión caracteriza cómo un terminal distante recibe señales desde cada uno de los elementos de la red matricial de antenas en la estación base a través de un canal convencional particular. En una forma de realización, es un vector de columna de valor complejo, indicado a_i en esta descripción, que contiene cantidades relativas (amplitud y fase con respecto a algunas referencias fijas) de cada una de las salidas transmisoras de elementos de antena que están contenidas en la salida del receptor en el terminal distante. Para una red matricial de m elementos,

$$a_i = [a_{i1} \ a_{i2} \ \dots \ a_{im}]^T,$$

en donde $()^T$ es la operación de transposición y a_{ij} , siendo $j = 1, \dots, m$ son los valores de amplitud y fase (con respecto a alguna referencia fija) de la salida del receptor terminal distante para una señal de potencia unitaria transmitida desde el j -ésimo elemento de antena de la estación base al terminal distante. De este modo, en la ausencia de cualquier interferencia y ruido, cuando una señal $y_{ij}(t) = w_{ij}^* f_n(s(t))$ se envía por el j -ésimo elemento de antena (de un total de m elementos de red matricial de antenas) con la i -ésima ponderación de transmisión de la secuencia de ponderaciones, entonces la señal $z_i(t)$ en la salida del receptor del terminal distante es:

$$z_i(t) = f_n(s(t)) \sum_{j=1}^m w_{ij}^* a_{ij} = f_n(s(t)) w_i^* a_i.$$

Para enviar, de forma óptima, una señal a este usuario con la firma espacial de transmisión a_i , se elige un vector de ponderación w que maximiza la potencia recibida en el terminal distante, esto es, el valor w que maximiza $|w^* a_i|^2$ o $|w^* a_i|$, a reserva, a modo de ejemplo, de una limitación en cuanto a la potencia radiada total. Esto es lo que se denomina el vector de ponderación "óptimo" en el apartado anterior. indicando dicho vector de ponderación como w_{opt} , un criterio a utilizar para evaluar la eficacia de la secuencia de vectores de ponderación es calcular para la totalidad de los usuarios distantes (teniendo cada uno de ellos una firma espacial particular a_i), un valor de penalización PNLTY se define como

$$PNLTY = 20 \log_{10} \left(\frac{|w_{opt}^* a_i|}{\max_i |w_i^* a_i|} \right) \text{ en dB.}$$

Un valor más bajo de PNLTY es deseado.

En las simulaciones para probar algunos de los aspectos de la idea inventiva, cada firma espacial (asociada con un usuario distante) se supone que está constituida por una parte "geométrica" y una parte "aleatoria". La parte geométrica tiene en cuenta los retardos de fase relativos entre las ondas que se transmiten desde cada elemento en la red matricial de antenas hacia el usuario distante. El usuario distante se supone que está en el campo lejano de cada uno de los elementos de antena. El medio de transmisión de tipo geométrico se supone isotrópico y no dispersivo, de modo que la radiación se desplace en líneas rectas al usuario distante y el usuario distante se supone que está bastante alejado de la estación base, de modo que la dirección del usuario distante desde cada uno de los elementos de antena es el mismo ángulo. Además, las señales transmitidas se suponen que son de banda estrecha y tienen todas ellas la misma frecuencia portadora.

La parte aleatoria de cualquier firma espacial está constituida por partes reales y partes imaginarias, siendo cada una de ellas variables aleatorias distribuidas gaussianas de 0 como media y alguna varianza. En las simulaciones, cualquier firma espacial de transmisión (de valor complejos) se supone, de este modo, que adopta una forma de

$$a_i = \gamma a_{iG} + (1 - \gamma) a_{iR}$$

5 en donde a_{iG} es la parte geométrica, a_{iR} es la parte aleatoria y γ es un parámetro aquí denominado la “tasa de reagrupamiento” y toma un valor comprendido entre 0 y 1. De este modo, un valor de $\gamma = 0$ significa una signatura espacial totalmente aleatoria, mientras que un valor de $\gamma = 1$ significa una signatura espacial totalmente geométrica para la simulación utilizada para probar las diversas formas de realización de la invención.

10 La Figura 4 ilustra los resultados de realizar una simulación sin ningún secuenciamiento de ponderaciones. La red matricial de antenas para las simulaciones consiste en doce elementos uniformemente espaciados alrededor de un círculo. Se ilustran tres histogramas del valor de PNLTY, cada uno con un número total de N valores de signaturas espaciales, en donde $N = 10.000$, según se ilustra en las Figuras 4(a), 4(b) y 4(c) para valores de γ (gamma) de 0 (totalmente aleatoria), 0.5 y 1.0 (totalmente geométrica), respectivamente. El eje horizontal es la medida de penalización PNLTY. Sin ningún secuenciamiento de ponderaciones, el valor medio de PNLTY es 14.6 dB, 15,0 dB y 29.1 dB para los casos de $\gamma = 0$, $\gamma = 0.5$ y $\gamma = 1.0$, respectivamente. Además, un margen de entre 16.0 dB a 19.8 dB, dependiendo de la forma en que la signatura espacial de canal es simulada, es necesario para alcanzar un 80 % de las unidades de abonados simuladas.

20 Los resultados de las simulaciones cuando se utiliza el secuenciamiento de ponderaciones DFT puede observarse en las Figuras 5(a), 5(b) y 5(c) para los casos de $\gamma = 0$, $\gamma = 0.5$ y $\gamma = 1.0$, respectivamente, con 10.000 pruebas. Con el secuenciamiento de ponderaciones DFT, el valor medio de PNLTY es 5.1 dB, 5.2 dB y 7.3 dB para los casos de $\gamma = 0$, $\gamma = 0.5$ y $\gamma = 1.0$, respectivamente. Además, los márgenes necesarios para alcanzar el 80 % de las unidades de abonados simuladas son 6.1 dB a 8.8 dB, dependiendo del valor de gamma. Lo que antecede es una mejora importante con respecto al caso sin secuenciamiento.

25 Las simulaciones se realizaron también utilizando el método de cuantización de vectores de la forma de realización preferida, con el número de vectores de código n igual al número de elementos de antena m . Es decir, $n = m = 12$. Los vectores de ponderación de direcciones uniformemente distribuidas se utilizaron como el conjunto inicial de vectores de código y la distancia euclidiana (norma) se utilizó como el criterio de asociación. Los resultados de las simulaciones pueden observarse en las Figuras 6(a), 6 (b) y 6(c) para los casos de $\gamma = 0$, $\gamma = 0.5$ y $\gamma = 1.0$, respectivamente, de nuevo con 10.000 pruebas. Con dicho secuenciamiento de vectores de código, el valor medio de PNLTY es 5.4 dB, 5.0 dB y 4.0 dB para los casos de $\gamma = 0$, $\gamma = 0.5$ y $\gamma = 1.0$, respectivamente. Además, el margen necesario para alcanzar un 80 % de las unidades de abonados simuladas son 5.3 dB a 6.4 dB dependiendo del valor de gamma. De nuevo, lo que antecede es una mejora importante con respecto al caso sin secuenciamiento.

35 Como se entenderá por los expertos en esta técnica, el usuario experimentado puede realizar numerosos cambios en los métodos y aparatos que fueron anteriormente descritos sin desviarse por ello del alcance de protección de la invención. A modo de ejemplo, la estación de comunicaciones en la que se pone en práctica el método puede utilizar uno de numerosos protocolos. Además, varias arquitecturas de estas estaciones son posibles. Muchas más variantes son posibles.

40

45

REIVINDICACIONES

1. Un método para transmitir una señal de enlace ascendente (103) desde un terminal distante a una o más estaciones de comunicaciones, incluyendo el terminal distante una red matricial de antenas (109) que tienen una pluralidad de elementos de antena (109.1, 109.2, 109.m.), estando cada elemento de antena acoplado a un aparato de transmisión asociado (107.1, 107.2, 107.m) que tiene una entrada (106.1, 106.2, 106.m) y una salida, estando el acoplamiento de cada elemento de antena al nivel de la salida de su aparato de transmisión asociado, con las entradas del aparato de transmisión acopladas a uno o más procesadores de señal (105), cuyo método comprende:
- 5 procesar, de manera iterativa, la misma señal de enlace ascendente (103) por intermedio de una pluralidad de diferentes procedimientos de procesamiento de señal, comprendiendo cada uno de los diferentes procedimientos de procesamiento de la señal una ponderación de una instancia de la señal de enlace ascendente (103) en fase y en amplitud en conformidad con un vector de ponderación complejo correspondiente seleccionado a partir de una secuencia de diferentes vectores de ponderación de modo que cada procedimiento de procesamiento de la señal forme una pluralidad de señales de enlace ascendente procesadas, siendo cada una de dichas señales de enlace ascendente procesadas para la transmisión desde un elemento de antena diferente en la red matricial de antenas, incluyendo la secuencia de vectores de ponderación diferentes a n vectores de ponderación que son representativos de un mayor conjunto de p vectores de ponderación designados para la transmisión a estaciones de comunicaciones conocidas, estando los p vectores de ponderación determinados a partir de firmas espaciales asociadas con dichas estaciones de comunicaciones conocidas; y
- 10 transmitir, de manera secuencial, cada pluralidad de señales de enlace ascendente procesadas por intermedio de la red matricial de antenas (109) para generar un nivel de radiación deseado en un determinado número de diferentes emplazamientos dentro de un sector deseado.
- 15 2. Un método según la reivindicación 1, en donde el nivel de radiación deseado es un nivel no nulo.
3. Un método según la reivindicación 1, en donde los n vectores de ponderación representativos se determinan utilizando un proceso de reagrupamiento de cuantización de vectores, que comprende:
- 20 asignar un conjunto inicial de vectores de ponderación (333, 335, 337, 339) como un conjunto actual de vectores de ponderación representativos;
- 25 combinar cada uno de dichos vectores de ponderación diseñados para una transmisión a estaciones de comunicaciones conocidas con su más cercano vector de ponderación representativo en el conjunto actual, en conformidad con un criterio de asociación;
- 30 determinar una medida media de una distancia entre cada vector de ponderación representativo en el conjunto actual y todos los vectores de ponderación combinados con ese vector de ponderación representativo;
- 35 sustituir cada vector de ponderación representativo en el conjunto actual con un vector de ponderación principal (343, 345, 347, 349) para todos los vectores de ponderación que han sido combinados con ese vector de ponderación representativo; y
- 40 repetir, de manera iterativa, las etapas de combinación, de determinación y de sustitución hasta que una magnitud de la diferencia entre la medida media en una iteración actual y la distancia media en la iteración anterior sea menor que un valor umbral.
- 45 4. Un método según la reivindicación 3, en donde el criterio de asociación utilizado para la proximidad es la distancia euclidiana y el vector de ponderación principal es el centroide geométrico de todos los vectores de ponderación que han sido combinados con el vector de ponderación representativo del conjunto actual de vectores de ponderación representativos durante esa iteración.
- 50 5. Un método según la reivindicación 3, en donde el criterio de asociación utilizado para la proximidad es el ángulo de coseno máximo y el vector de ponderación principal es el vector singular principal obtenido de la realización de la descomposición de valores singulares sobre todos los vectores de ponderación que han sido combinados con el vector de ponderación representativo del conjunto actual de vectores de ponderación representativos durante esa iteración.
- 55 6. Un método según la reivindicación 3, en donde el conjunto inicial de vectores de ponderación son los vectores de ponderación de amplitud unitaria orientados según diferentes ángulos uniformemente espaciados en el sector deseado.
- 60 7. Un terminal distante que comprende:
- 65 una red matricial de antenas (109) que tiene una pluralidad de elementos de antena (109.1, 109.2, 109.m), estando

cada elemento de antena acoplado a un aparato de transmisión asociado (107.1, 107.2, 107.m) que tiene una entrada (106.1, 106.2, 106.m) y una salida, siendo el acoplamiento de cada elemento de antena con la salida de su aparato de transmisión asociado, estando el aparato de transmisión acoplado a uno o más procesadores de señal (105);

- 5 en donde los uno o más procesadores de señal (105) están configurados para:
- 10 procesar, de manera iterativa, la misma señal de enlace ascendente (103) por intermedio de una pluralidad de procedimientos de procesamiento de la señal diferentes, con cada uno de los procedimientos de procesamiento de señal diferentes comprendiendo una ponderación de una instancia de la señal de enlace ascendente (103) en fase y en amplitud en conformidad con un vector de ponderación complejo correspondiente seleccionado entre una secuencia de diferentes vectores de ponderación de modo que cada procedimiento de procesamiento de la señal forme una pluralidad de señales de enlace ascendente procesadas, siendo cada una de dichas señales de enlace ascendente procesadas para una transmisión desde un elemento de antena diferente en la red matricial de antenas,
- 15 con la secuencia de vectores de ponderación diferentes comprendiendo n vectores de ponderación que son representativos de un mayor conjunto de p vectores de ponderación diseñados para la transmisión a estaciones de comunicaciones conocidas, estando los p vectores de ponderación determinados a partir de firmas espaciales asociadas con dichas estaciones de comunicaciones conocidas; y
- 20 en donde el terminal distante está configurado para la transmisión, de manera secuencial, de cada pluralidad de señales de enlace ascendente procesadas por intermedio de la red matricial de antenas (109), para generar un nivel de radiación deseado en varios emplazamientos diferentes dentro de un sector deseado.
- 25 **8.** Un terminal distante según la reivindicación 7, en donde el sector deseado está constituido por un alcance de acimuts que se extiende hasta un alcance completo de acimuts de la red matricial de antenas (109).
- 9.** Un terminal distante según la reivindicación 7, en donde dicho uno o más procesadores de la señal (105) está configurado para determinar los n vectores de ponderación representativos utilizando un proceso de reagrupamiento de cuantización de vectores que incluye:
- 30 asignar un conjunto inicial de vectores de ponderación (333, 335, 337, 339) como un conjunto actual de vectores de ponderación representativos;
- 35 combinar cada uno de dichos vectores de ponderación diseñados para la transmisión a estaciones de comunicaciones conocidas con su vector de ponderación representativo más próximo en el conjunto actual, en conformidad con algún criterio de asociación;
- 40 determinar una medida media de una distancia entre cada vector de ponderación representativo en el conjunto actual y todos los vectores de ponderación combinados con ese vector de ponderación representativo;
- 45 sustituir cada vector de ponderación representativo en el conjunto actual con un vector de ponderación principal (343, 345, 347, 349) para todos los vectores de ponderación que han sido combinados con ese vector de ponderación representativo; y
- repetir, de manera iterativa, las etapas de combinación, de determinación y de sustitución hasta que una magnitud de la diferencia entre la medida media en una iteración actual y la distancia media en la iteración anterior sea menor que un valor umbral.
- 50 **10.** Un terminal distante según la reivindicación 9, en donde la medida media es el cuadrado medio de la distancia.
- 11.** Un terminal distante según la reivindicación 9, en donde el conjunto inicial de vectores de ponderación son los vectores de ponderación de amplitud unitaria orientados en diferentes ángulos uniformemente espaciados en el sector deseado.
- 55 **12.** Un terminal distante según la reivindicación 7, en donde el conjunto de vectores de ponderación representativos forma una primera sub-secuencia de la secuencia de vectores de ponderación y la secuencia de vectores de ponderación comprende, además, una segunda sub-secuencia de vectores de ponderación.
- 60 **13.** Un terminal distante según la reivindicación 12, en donde la segunda sub-secuencia comprende un vector de ponderación particular diseñado para proporcionar un diagrama de radiación deseable particular en el sector deseado, con los vectores de ponderación particulares minimizando una función de costes de vectores de ponderación posibles que incluye una expresión de la variación con respecto al diagrama de radiación deseable particular del diagrama de radiación dentro del sector que resulta de una transmisión utilizando el vector de ponderación.
- 65 **14.** Un terminal distante según la reivindicación 13, en donde el diagrama de radiación deseable particular es un

diagrama casi omnidireccional.

15. Un terminal distante según la reivindicación 13, en donde la segunda sub-secuencia es un conjunto de vectores de ponderación ortogonales.

5

10

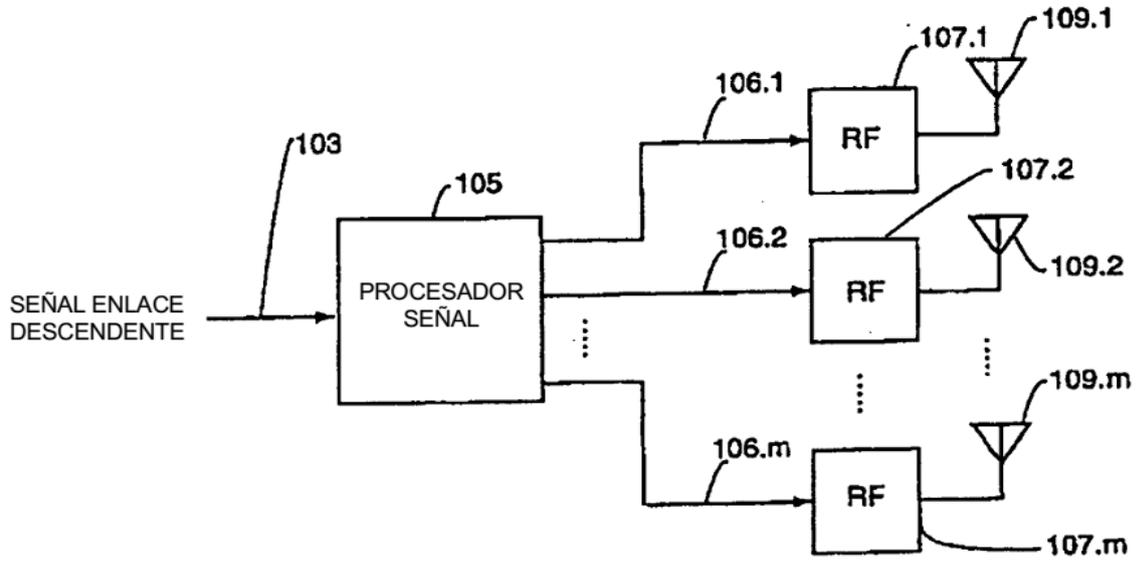


Figura 1

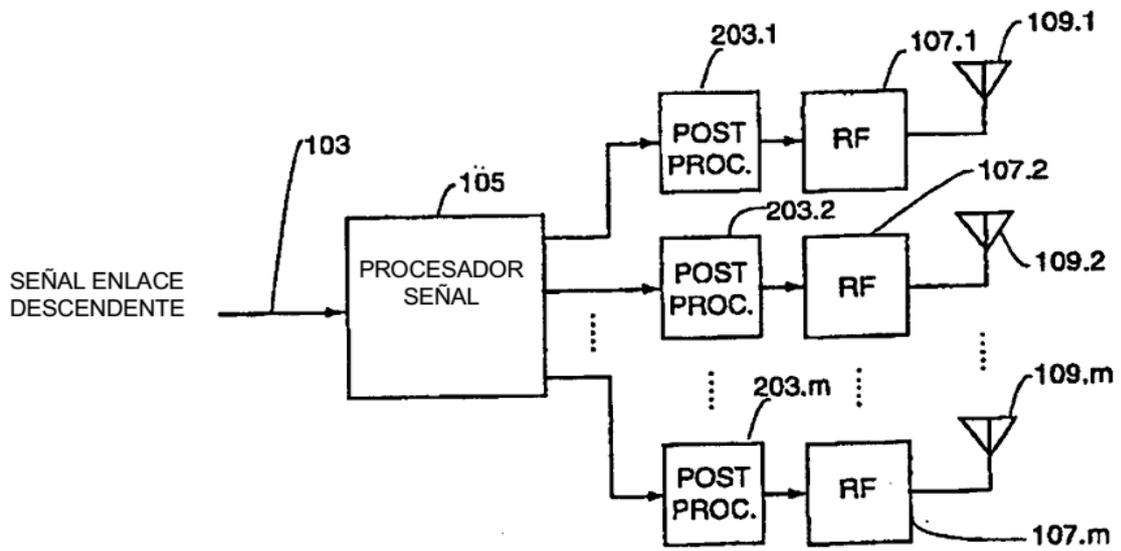


Figura 2

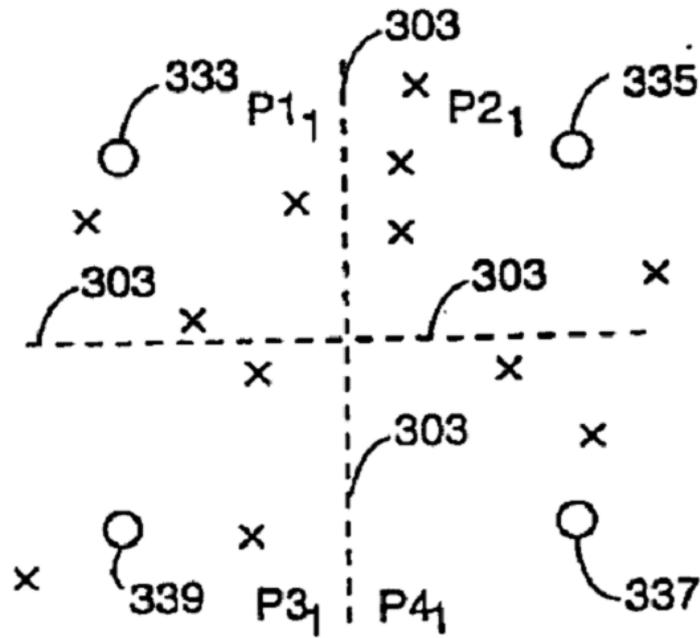


Figura 3(a)

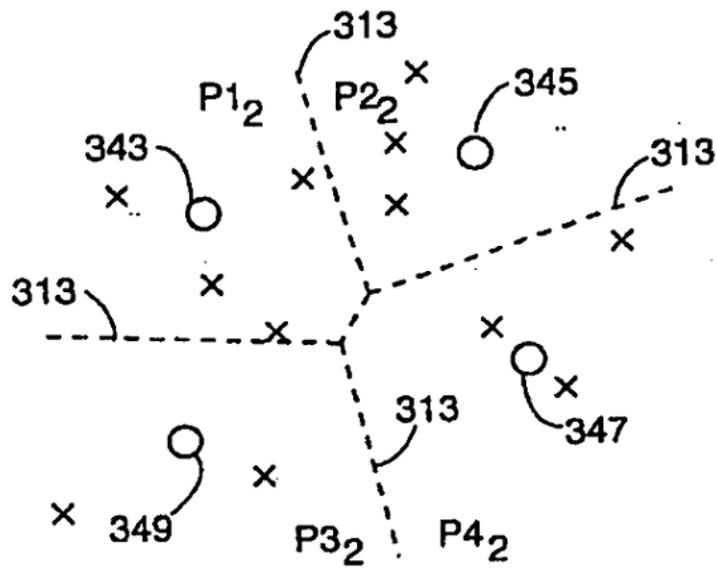


Figura 3(b)

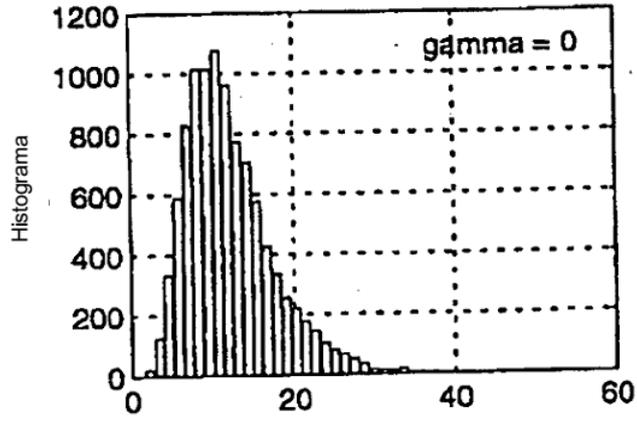


Figura 4(a)

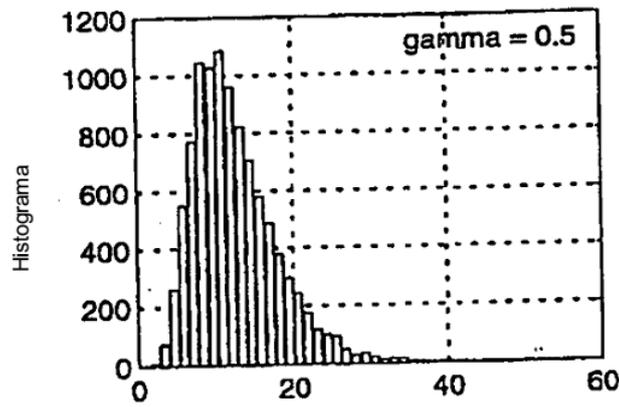


Figura 4(b)

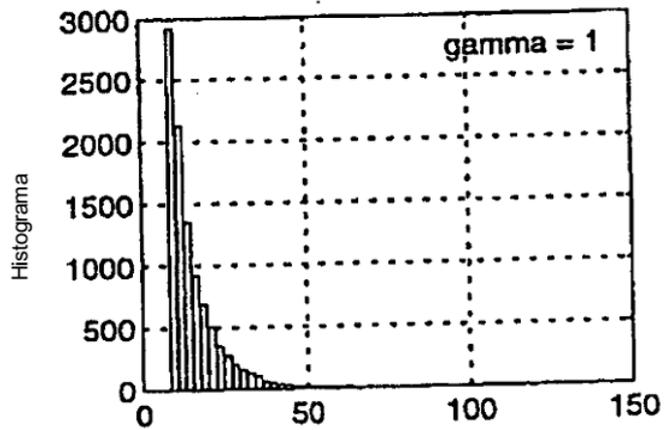


Figura 4(c)

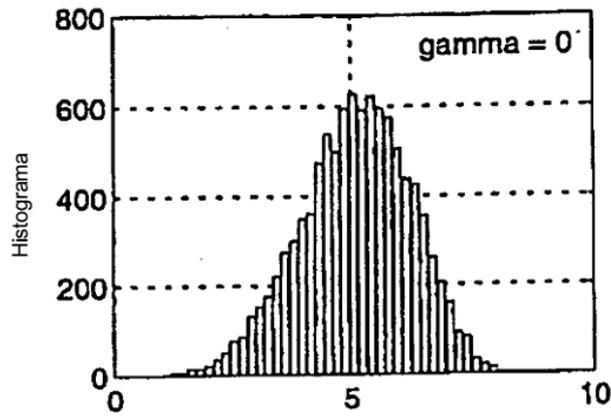


Figura 5(a)

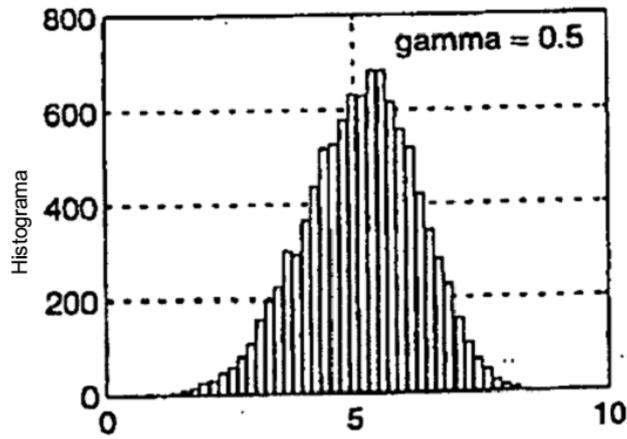


Figura 5(b)

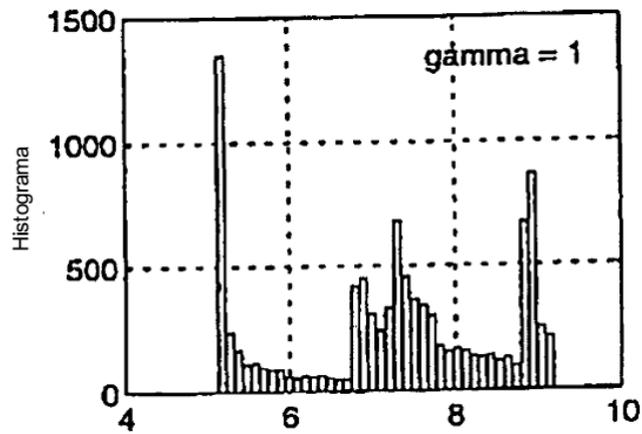


Figura 5(c)

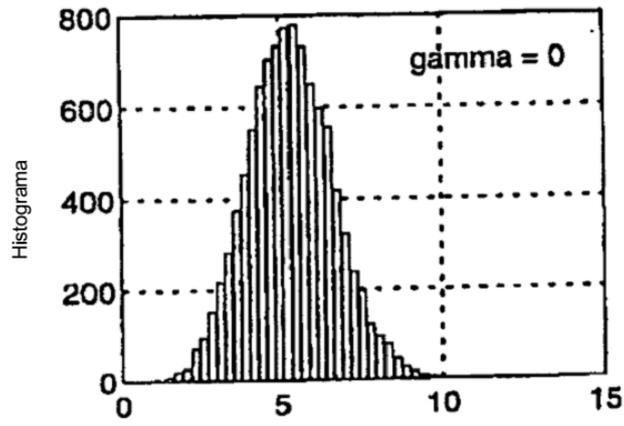


Figura 6(a)

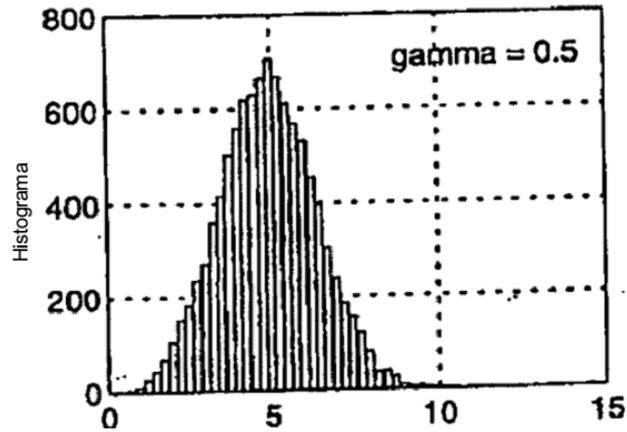


Figura 6(b)

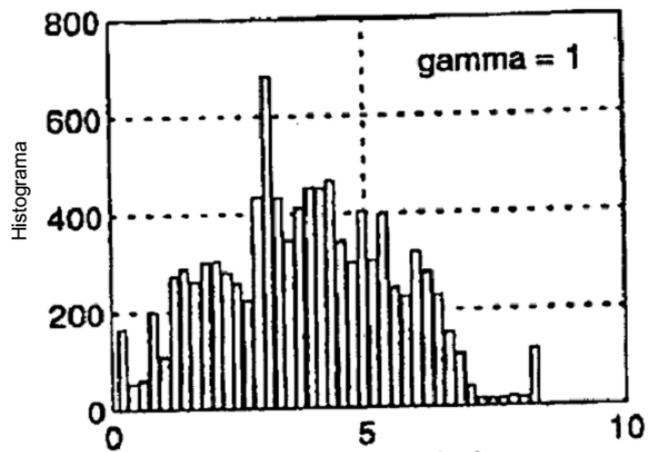


Figura 6(c)