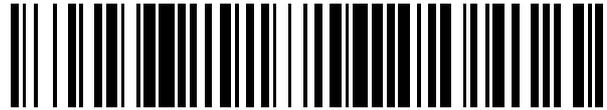


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 439 145**

51 Int. Cl.:

H04W 16/12 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.05.2007 E 07728981 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.10.2012 EP 2018780**

54 Título: **Red de radiotelefonía móvil con solapamiento de frecuencias inverso**

30 Prioridad:

18.05.2006 DE 102006023641

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

21.01.2014

73 Titular/es:

**VODAFONE HOLDING GMBH (100.0%)
Mannesmannufer 2
40213 Düsseldorf, DE**

72 Inventor/es:

**HABENDORF, RENE y
ZIMMERMANN, ERNESTO**

ES 2 439 145 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

Red de radiotelefonía móvil con solapamiento de frecuencias inverso

5 Campo técnico

La invención se refiere a una red de radiotelefonía móvil, en particular según la norma GSM y/o UMTS, para la comunicación de terminales de radiotelefonía móvil, que contiene al menos dos estaciones base con antenas para la emisión y/o recepción, formando el área de cobertura de una estación base una célula de radio, que está dividida en un área cercana y un área lejana, en las que dentro de una célula de radio en cada caso están previstos diferentes recursos de transmisión para el tráfico de radio. La invención se refiere además a un procedimiento para asignar recursos de transmisión en una red de radiotelefonía móvil, en particular según la norma GSM y/o UMTS, para terminales de radiotelefonía móvil para la comunicación en el área cercana/lejana, con las siguientes etapas de procedimiento:

15 a) formar al menos dos células de radio, que se obtienen en cada caso a partir del área de cobertura de una estación base con antenas para la emisión y/o recepción,

20 b) dividir las células de radio en un área cercana y un área lejana,

c) asignar en cada caso diferentes recursos de transmisión para el área cercana y el área lejana de una célula de radio.

25 Estado de la técnica

Una red de radiotelefonía móvil está compuesta por regla general por estaciones base, que están dispuestas en una estructura aproximadamente hexagonal. La estructura hexagonal se obtiene a partir de células de radio. La extensión espacial de en cada caso una célula de radio se forma por el área de cobertura de las estaciones base, con las que un terminal de radiotelefonía móvil establece contacto. Para ello, cada estación base da servicio con tres antenas giradas 120° en horizontal entre sí a tres células de radio. Cada una de las tres antenas de una estación base irradia por tanto un "lóbulo de emisión" de aproximadamente 120° de amplitud. Esta disposición de las células de radio de un sistema de radiotelefonía móvil se denomina "modelo en trébol". Para la transmisión de datos inalámbrica, un operador de red de una red de radiotelefonía móvil tiene a su disposición diferentes recursos, como por ejemplo bandas de frecuencia, que están divididas en diferentes canales de transmisión físicos. En dos células de radio adyacentes de una red de radiotelefonía móvil se asignan a este respecto a los terminales de radiotelefonía móvil diferentes recursos de transmisión, por ejemplo bandas de frecuencia. Los recursos de transmisión se ajustan por tanto de modo que en áreas límite no se producen solapamientos.

Los canales de transmisión se dividen a su vez a través de ranuras de frecuencia dentro de una banda de frecuencia, ranuras de tiempo dentro de una trama de transmisión, códigos según UMTS, para poder soportar al mismo tiempo la mayor cantidad de conexiones posible. Por ejemplo, en un sistema de radiotelefonía móvil GSM (= *Global System for Mobile communication*) un canal físico se forma por una ranura de frecuencia y una ranura de tiempo dentro de una trama de transmisión de ocho ranuras de tiempo sucesivas.

Un operador de red debe reutilizar sus recursos de transmisión con la mayor frecuencia posible dentro de su red. Por lo general esto se soluciona porque la cantidad total de los recursos de transmisión se divide en subgrupos ortogonales, que entonces en cada caso se asignan a las células de radio. Para ello se requiere una cuidadosa planificación de recursos. Para la comunicación en cada célula de radio se emplean sólo recursos del subgrupo asignado a esta célula de radio. De este modo se aumenta la distancia entre células de radio que emplean los mismos recursos y que se ven afectadas por señales de radiotelefonía móvil que se perturban mutuamente, por ejemplo debido a interferencia. Una medida de una transmisión afectada por interferencia es la relación de potencia de señal útil y potencia de perturbación, abreviado SIR (= *Signal to Interference Ratio*). Sólo a partir de un valor SIR determinado puede tener lugar una comunicación aceptable. Este umbral depende de ruidos térmicos adicionales en los componentes y de los requisitos de la respectiva aplicación, es decir de un parámetro de calidad QoS (= *Quality of Service*).

Otra medida importante en la planificación de recursos, como por ejemplo en el caso de la planificación de frecuencias, es el factor de reutilización, también llamado "reuse factor". El factor de reutilización del respectivo recurso describe por ejemplo el factor de reutilización de frecuencias, es decir el número de subgrupos ortogonales. Un factor de reutilización de uno corresponde al caso en el que cada célula de radio utiliza los mismos recursos, ya que en ese caso sólo hay un grupo. Si bien un factor de reutilización más elevado reduce considerablemente la potencia de perturbación en la red de radiotelefonía móvil, sin embargo también limita la eficacia espectral de la red, dado que en cada célula de radio sólo se emplea una pequeña parte de los recursos totales del operador de red.

Muy a menudo se emplean en redes de radiotelefonía móvil los factores de reutilización “3” y “7”. Para lograr el valor SIR necesario para un servicio determinado en toda el área de la célula, el sistema se diseña básicamente para el peor de los casos. Por tanto, las regiones de borde de una célula de radio, en las que aparecen las mayores interferencias debido a usuarios que envían en las proximidades en células de radio adyacentes, determinan el factor de reutilización que debe emplearse del recurso que va a planificarse. De este modo aparecen áreas de un valor SIR innecesariamente elevado en el área central alrededor de la estación base, con lo cual se reduce la eficacia espectral del sistema de radiotelefonía móvil.

Para alcanzar una distribución espacial lo más homogénea posible de la SIR en una célula de radio, en la literatura bajo el término clave “Overlay Concept” se describen sistemas con planificación de recursos solapada. Así, pueden adjudicarse por ejemplo los recursos con un factor de reutilización bajo en el área interior de la célula de radio y con un factor de reutilización alto en las áreas exteriores. La desventaja de este enfoque radica en que no es posible una reducción adicional de la potencia de perturbación por procedimientos de cancelación de interferencia, ya que debido a la planificación de recursos no aparecen elementos perturbadores fuertes y por tanto detectables.

Una publicación de Zhang y Zhuang en “Wireless Personal Communication 9, 149-163” describe un esquema para el uso conjunto de canales de radio en la red de radiotelefonía móvil. El denominado NCCS (Neighbor Cell Channel Sharing) se basa en una división de las células de radio en una región interna y una externa, estando los canales de radio divididos igualmente en dos grupos: un canal principal, que se usa exclusivamente en la célula de radio tanto en la región interna como en la externa y un canal dividido, que se emplea por un lado por la región interna de la célula de radio y por otro lado por las seis células de radio adyacentes. Por tanto se obtiene para cada célula de radio un conjunto de canales de radio, que se utilizan conjuntamente por la respectiva célula de radio y las células de radio adyacentes y por tanto llevan a un mejor aprovechamiento de la red de radiotelefonía móvil. En este caso no es posible una reducción adicional de la potencia de perturbación por procedimientos de cancelación de interferencia, ya que debido a la planificación de recursos no aparecen elementos perturbadores fuertes y por tanto detectables.

Descripción de la invención

Es un objetivo de la invención evitar las desventajas del estado de la técnica y, en particular, incrementar la eficacia de una red de radiotelefonía móvil y aumentar su capacidad.

Según la invención, el objetivo se soluciona porque en una red de radiotelefonía móvil, en particular según la norma GSM y/o UMTS, para la comunicación de terminales de radiotelefonía móvil del tipo mencionado al inicio, los recursos de transmisión del área lejana de dos células de radio adyacentes están previstos en cada caso de manera coincidente.

El objetivo se soluciona además por un procedimiento para asignar recursos de transmisión en una red de radiotelefonía móvil del tipo mencionado al inicio, en el que

d) en el área lejana de dos células de radio adyacentes se asignan en cada caso recursos de transmisión coincidentes a los terminales de radiotelefonía móvil para la comunicación.

En contra del estado de la técnica, la red de radiotelefonía móvil o el procedimiento propuestos no tratan de minimizar, básicamente, la potencia de perturbación, provocada por interferencia desde células de radio adyacentes. Más bien se permiten a propósito pocos elementos perturbadores fuertes. El terminal de radiotelefonía móvil de un usuario debe adaptarse a tales magnitudes de perturbación conocidas y, dado el caso, eliminarlas. De esta manera los usuarios de células de radio adyacentes pueden emplear el mismo recurso de transmisión, como por ejemplo ranura de frecuencia, ranura de tiempo o código multiusuario.

Esto puede lograrse empleando un factor de reutilización de recursos bajo en el borde de la célula, es decir en el límite entre células de radio adyacentes, ya que de este modo se aumenta la probabilidad de un usuario con el mismo recurso de transmisión en una célula de radio adyacente, es decir en la proximidad inmediata del usuario en cuestión. Estos pocos elementos perturbadores de potencia intensa pueden alejarse de la señal del usuario empleando procedimientos de procesamiento de señales de cancelación de interferencia y por tanto puede posibilitarse una transmisión. Mediante el factor de reutilización bajo se aumenta la eficacia espectral del sistema de radiotelefonía móvil.

En regiones de célula en las que no es probable la aparición de elementos perturbadores menos fuertes y significativos, por ejemplo en el centro de una célula de radio, donde no tiene lugar ninguna adyacencia directa de una célula de radio adyacente, el empleo de procedimientos de cancelación de interferencia tiene poco sentido debido a la mala detectabilidad de los elementos perturbadores débiles. En este caso tiene lugar una reducción de la interferencia mediante el empleo de un factor de reutilización elevado.

De este modo se obtiene un solapamiento inverso. En el estado de la técnica, una asignación coincidente de los recursos de transmisión sólo se realiza en el área cercana, pero no en el borde de la célula, el área lejana. A diferencia de esto, en la presente invención existe una asignación inversa. En el área lejana se toman recursos de transmisión coincidentes y en el área cercana recursos de transmisión diferentes, es decir al revés que en el estado de la técnica.

Como configuración ventajosa de la red de radiotelefonía móvil según la invención ha demostrado ser eficaz que los terminales de radiotelefonía móvil presenten en cada caso medios de filtrado para eliminar señales perturbadoras con intensidad más alta, igual o ligeramente inferior que la señal útil. Una intensidad ligeramente inferior corresponde, en una forma de realización preferida de la invención, a una diferencia de 10 dB entre la señal perturbadora y la señal útil. En una forma de realización alternativa la diferencia también puede ascender a 3 dB o 6 dB. Mediante esta medida se consigue que las señales perturbadoras, provocadas en particular por interferencia de células de radio adyacentes, se eliminen de la señal útil mediante filtrado directamente en el terminal de radiotelefonía móvil de un usuario o se sustraigan tras una detección satisfactoria. Un objeto de la invención es, por tanto, también un terminal de radiotelefonía móvil con medios de filtrado, que están previstos para eliminar señales perturbadoras en una red de radiotelefonía móvil de este tipo.

Ventajas adicionales se deducen a partir del objeto de las reivindicaciones dependientes así como de los dibujos con las descripciones correspondientes.

Breve descripción del dibujo

La figura 1 muestra en un esquema básico, esquemático, un ejemplo de realización de una red de radiotelefonía móvil con un factor de reutilización (*reuse*) "3" en el que tiene lugar el empleo de un intervalo de frecuencia determinado de las tres células de radio.

La figura 2 muestra en un esquema básico, esquemático, un ejemplo de realización de una red de radiotelefonía móvil con un factor de reutilización (*reuse*) "7" en el que tiene lugar el empleo de un intervalo de frecuencia determinado de las "7" células de radio.

La figura 3 muestra un ejemplo de realización de una red de radiotelefonía móvil con "lóbulos de emisión" con el factor de reutilización "1" en el centro de la célula y el factor de reutilización "3" en el borde de la célula.

La figura 4 muestra un ejemplo de realización de una red de radiotelefonía móvil como "lóbulos de emisión" con el factor de reutilización "3" en el centro de la célula y el factor de reutilización "1" en el borde de la célula.

La figura 5 muestra un ejemplo de realización de una red de radiotelefonía móvil con terminales de radiotelefonía móvil para la cancelación de señales perturbadoras.

Ejemplo de realización preferido

En la figura 1 se representa en un esquema básico, esquemático, una red 10 de radiotelefonía móvil. La red 10 de radiotelefonía móvil está compuesta por regla general por estaciones 12 base, que están dispuestas en una estructura 14 aproximadamente hexagonal. La estructura 14 hexagonal se obtiene a partir de células 16 de radio. Las estaciones 12 base están representadas como puntos negros. Cada estación 12 base da servicio con tres antenas giradas 120° en horizontal entre sí a tres de las células 16 de radio. Cada una de las tres antenas de una estación 12 base irradia por tanto un lóbulo 18, 20, 22 de emisión de aproximadamente 120° de amplitud, que está representado a modo de ejemplo junto a una estación 12a base. Esta disposición de las células 16 de radio de una red 10 de radiotelefonía móvil se denomina "modelo en trébol" y sirve en esta descripción únicamente para ilustración. El procedimiento descrito puede aplicarse a cualquier red 10 de radiotelefonía móvil celular. Como recurso de transmisión que ha de dividirse entre las células se emplean en este caso a modo de ejemplo bandas de frecuencia.

Cada uno de los lóbulos 18, 20, 22 de emisión de cada una de las estaciones 12 base irradia en una banda de frecuencia distinta. Las diferentes bandas de frecuencia se denominan en cada caso A, B, C. Una medida importante en la planificación de frecuencias es el factor de reutilización (*reuse*) del respectivo recurso, que describe el número de subgrupos ortogonales. Un factor de reutilización de "1" corresponde al caso en el que cada célula 16 de radio utiliza la misma banda de frecuencia A, dado que sólo hay un grupo. Si bien un factor de reutilización alto reduce la potencia de perturbación en la red 10 de radiotelefonía móvil, sin embargo también limita la eficacia espectral de la red 10 de radiotelefonía móvil, ya que en cada célula 16 de radio sólo se emplea una pequeña parte de los recursos totales. La figura 1 muestra una red 10 de radiotelefonía móvil con un factor de reutilización "3".

La figura 2 muestra una red 10 de radiotelefonía móvil correspondiente, pero con un factor de reutilización "7". Las bandas de frecuencia se denominan en este caso A, B, C, D, E, F y G.

La figura 3 muestra una red 10 de radiotelefonía móvil, tal como es el estado de la técnica en la actualidad. En lugar de la estructura 14 hexagonal previamente mostrada ahora se representan únicamente lóbulos 18, 20, 22, 24 de emisión. A cada estación 12 base se le asigna un área 26 cercana y un área 28 lejana. El área 26 cercana se encuentra en el área inmediata de cada una de las estaciones 12 base. El área 28 lejana se extiende más allá hacia el

borde de las células 16 de radio. En el área 26 cercana está previsto un factor de reutilización "1". Todos los lóbulos 24 de emisión en el área 26 cercana disponen de la misma banda de frecuencia A. En el área 28 lejana de cada una de las estaciones 12 base está previsto el factor de reutilización "tres". Todos los lóbulos 18, 20, 22 de emisión disponen de diferentes bandas de frecuencia B, C, D.

La figura 4 muestra una red 10 de radiotelefonía móvil según la invención con solapamiento de bandas de frecuencia inverso. A cada estación 12 base se le asigna de manera correspondiente a la figura 3 un área 26 cercana y un área 28 lejana. El área 26 cercana se encuentra en el área inmediata de cada una de las estaciones 12 base. El área 28 lejana se extiende más allá hacia el borde de las células 16 de radio. Se da servicio al área 26 cercana con lóbulos 30, 32, 34 de emisión. El área 28 lejana se cubre en cada caso con lóbulos 36 de emisión. A este respecto, los lóbulos 30, 32, 34 de emisión tienen en cada caso diferentes bandas de frecuencia B, C, D. Los lóbulos 36 de emisión del área lejana emplean todos una banda de frecuencia A coincidente. La presente red 10 de radiotelefonía móvil dispone por tanto en el área 26 cercana de un factor de reutilización "3" y en el área 28 lejana de un factor de reutilización "1" con respecto a las bandas de frecuencia A, B, C, D. De este modo se emplean en las áreas 28 lejanas de dos células de radio adyacentes siempre bandas de frecuencia A coincidentes.

A continuación se explica un ejemplo de realización para procedimientos de cancelación de interferencia. En la figura 5 se representan cuatro terminales 38 de radiotelefonía móvil, que se comunican desde el borde 40 de la célula con la estación 12 base de la respectiva célula 16 de radio. Estas conexiones se identifican mediante flechas 42. En la red 10 de radiotelefonía móvil con solapamiento de bandas de frecuencia inverso, los terminales 38 de radiotelefonía móvil emplean un factor de reutilización de bandas de frecuencia reducido. En el caso del factor de reutilización de "1" empleado en el ejemplo, todos los terminales 38 de radiotelefonía móvil emplean en el área 28 lejana de las células 16 de radio la misma banda de frecuencia A y generan por tanto mutuamente por interferencia una potencia de perturbación.

En el trayecto ascendente desde los terminales 38 de radiotelefonía móvil a las estaciones 12 base, designado como "enlace ascendente (*uplink*)", cada estación 12 base recibe por tanto el solapamiento de la señal de un abonado asignado a la misma con las señales de los abonados de células 16 de radio adyacentes. Estaciones 12 base adyacentes pueden asociarse ahora a un grupo 44 activo, de tal manera que transmiten sus señales recibidas por ejemplo a través de la red fija o conexiones de radiotransmisión a un nodo central, que por ejemplo puede formarse por una estación 46 base del grupo 44 activo, y por tanto forman un sistema multipunto a punto MIMO virtual. El concepto MIMO (= *Multiple Input Multiple Output*) designa en general sistemas con varias antenas de emisión y recepción para incrementar la tasa de transmisión de datos o para mejorar la calidad de la transmisión.

En sistemas multipunto a punto MIMO puede tener lugar un procesamiento de señales conjunto sólo en el receptor, ya que los emisores no cooperan entre sí, lo que es el caso en el enlace ascendente de un sistema de radiotelefonía móvil. En este nodo central pueden usarse ahora procedimientos de detección MIMO conocidos, como por ejemplo receptor "VBLAST", ecualización con realimentación de decisión, cancelación de interferencia sucesiva o paralela o ecualización lineal, para separar los flujos de datos en enlace ascendente individuales del grupo 44 activo y transferirlos a la red 10 de radiotelefonía móvil para su retransmisión o procesamiento adicional. Un procesamiento conjunto de este tipo de la señal de recepción también se resume en la literatura bajo el término "*Joint Detection*". Mediante la detección MIMO se elimina de manera inherente la interferencia intensa, que habría excluido una detección satisfactoria en una estación 12 base individual.

La formación del grupo 44 activo y la asignación de un nodo central puede realizarse en la operación en curso de la red de manera dinámica mediante medición de la situación de interferencia. Para ello puede emplearse la medición de la intensidad del canal de transmisión entre un terminal 38 de radiotelefonía móvil y la estación 12 base adyacente con ayuda de secuencias piloto, que se presenta en el marco de los procedimientos de traspaso.

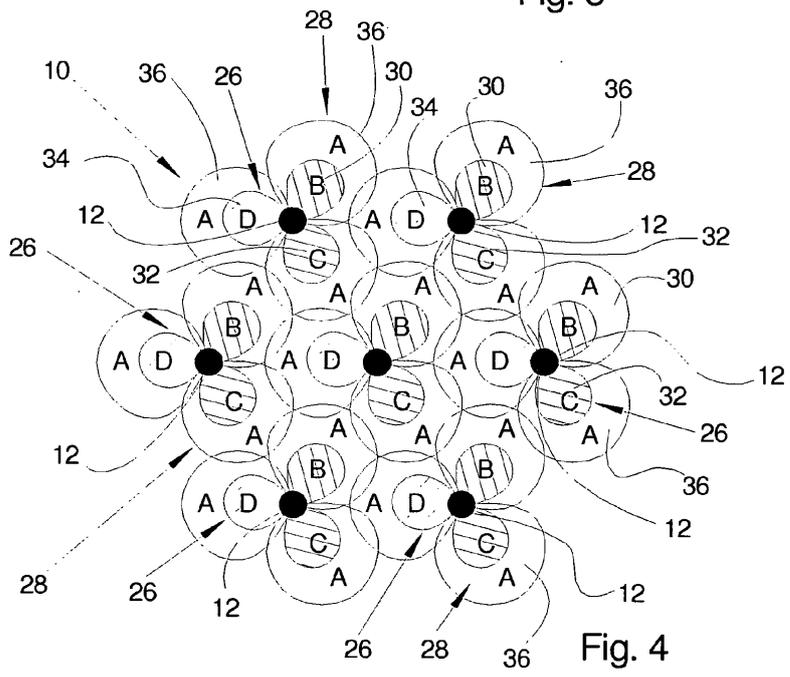
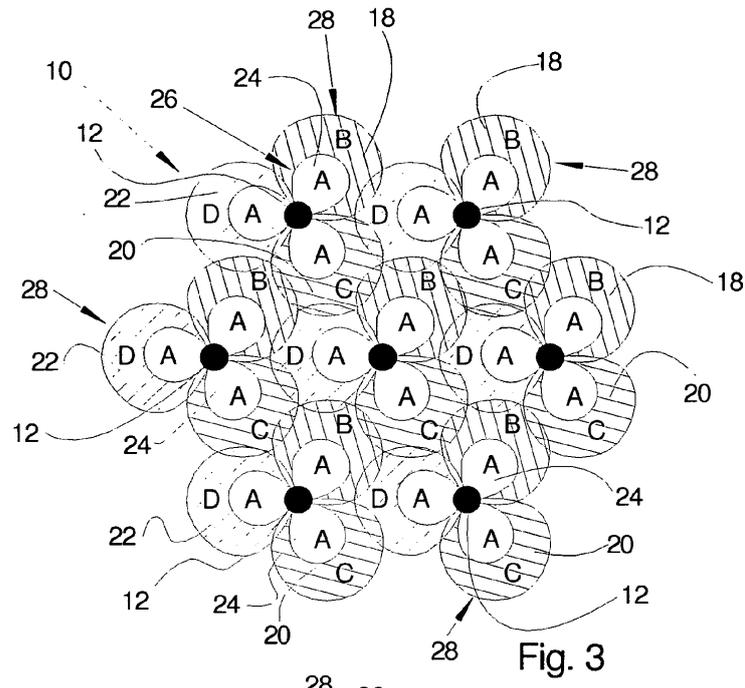
Además, para una detección MIMO satisfactoria es necesario conocer los canales de transmisión con un porcentaje de potencia significativo entre el terminal 38 de radiotelefonía móvil y la estación 12 base del grupo 44 activo. Para ello debe preverse una posibilidad de medición de canal sin perturbación, lo que puede realizarse mediante secuencias piloto ortogonales o la emisión de secuencias piloto en un procedimiento de multiplexación en el tiempo.

En el trayecto descendente desde las estaciones 12 base hasta los terminales 38 de radiotelefonía móvil, denominado "enlace descendente (*downlink*)", mediante la cooperación descrita entre las estaciones 12 base puede formarse un sistema punto a multipunto MIMO, en el que en un nodo central tiene lugar un procesamiento previo de las señales de emisión de cada estación 12 base, de tal manera que la señal solapada recibida por los terminales 12 de radiotelefonía móvil presenta un valor "SIR" elevado. Como procedimientos de distorsión previa pueden utilizarse por ejemplo distorsión previa lineal o "precodificación de Tomlinson-Harashima" (THP). El conocimiento en el lado del

5 emisor necesario para este procedimiento del canal de transmisión puede obtenerse en sistemas TDD (= *Time Division Duplex*) mediante medición del canal de transmisión en el enlace ascendente, ya que el canal de transmisión es recíproco con respecto al enlace ascendente y el enlace descendente. Si esta reciprocidad de canal no está presente, como por ejemplo en sistemas FDD (= *Frequency Division Duplex*), los valores estimados de canal determinados en el enlace ascendente pueden transmitirse a través de un canal de retorno al emisor.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Red (10) de radiotelefonía móvil, en particular según la norma GSM y/o UMTS, para la comunicación de terminales (38) de radiotelefonía móvil, que contiene al menos dos estaciones (12) base con antenas para la emisión y/o recepción, formando el área de cobertura de una estación (12) base una célula (16) de radio, que está dividida en un área (26) cercana y un área (28) lejana, en las que dentro de una célula (16) de radio en cada caso están previstos diferentes recursos de transmisión para el tráfico de radio, **caracterizada porque** las bandas de frecuencia (A) del área (28) lejana de dos células (16) de radio adyacentes están previstas en cada caso de manera coincidente.
- 10 2. Red (10) de radiotelefonía móvil, en particular según la norma GSM, para la comunicación de terminales (38) de radiotelefonía móvil según la reivindicación 1, **caracterizada porque** los recursos de transmisión están previstos como frecuencias.
- 15 3. Red (10) de radiotelefonía móvil, en particular según la norma GSM, para la comunicación de terminales (38) de radiotelefonía móvil según una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizada porque** los recursos de transmisión están previstos como ranuras de tiempo.
- 20 4. Red (10) de radiotelefonía móvil, en particular según la norma GSM, para la comunicación de terminales (38) de radiotelefonía móvil según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada por** medios de filtrado para eliminar señales perturbadoras, en particular las que corresponden a la intensidad de una señal útil.
- 25 5. Terminal (38) de radiotelefonía móvil para una red (10) de radiotelefonía móvil, tal como se reivindica en las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por** medios de filtrado para eliminar señales perturbadoras, en particular las que corresponden a la intensidad de una señal útil.
- 30 6. Procedimiento para asignar recursos de transmisión en una red (10) de radiotelefonía móvil, en particular según la norma GSM y/o UMTS, para terminales (38) de radiotelefonía móvil para la comunicación, con las siguientes etapas de procedimiento:
- 35 a) formar al menos dos células (16) de radio, que se obtienen en cada caso a partir del área de cobertura de una estación (12) base con antenas para la emisión y/o recepción,
- b) dividir las células (16) de radio en un área (26) cercana y un área (28) lejana,
- c) asignar en cada caso diferentes recursos de transmisión para el área (26) cercana y el área (28) lejana de una célula (16) de radio,
- 40 **caracterizado porque**
- d) en el área (28) lejana de dos células (16) de radio adyacentes se asignan en cada caso recursos de transmisión (A) coincidentes a los terminales (38) de radiotelefonía móvil para la comunicación.
- 45 7. Procedimiento para asignar recursos de transmisión en una red (10) de radiotelefonía móvil según la reivindicación 6, **caracterizado porque** se asignan frecuencias como recursos de transmisión.
8. Procedimiento para asignar recursos de transmisión en una red (10) de radiotelefonía móvil según una de las reivindicaciones 6 ó 7, **caracterizado porque** se asignan ranuras de tiempo como recursos de transmisión.



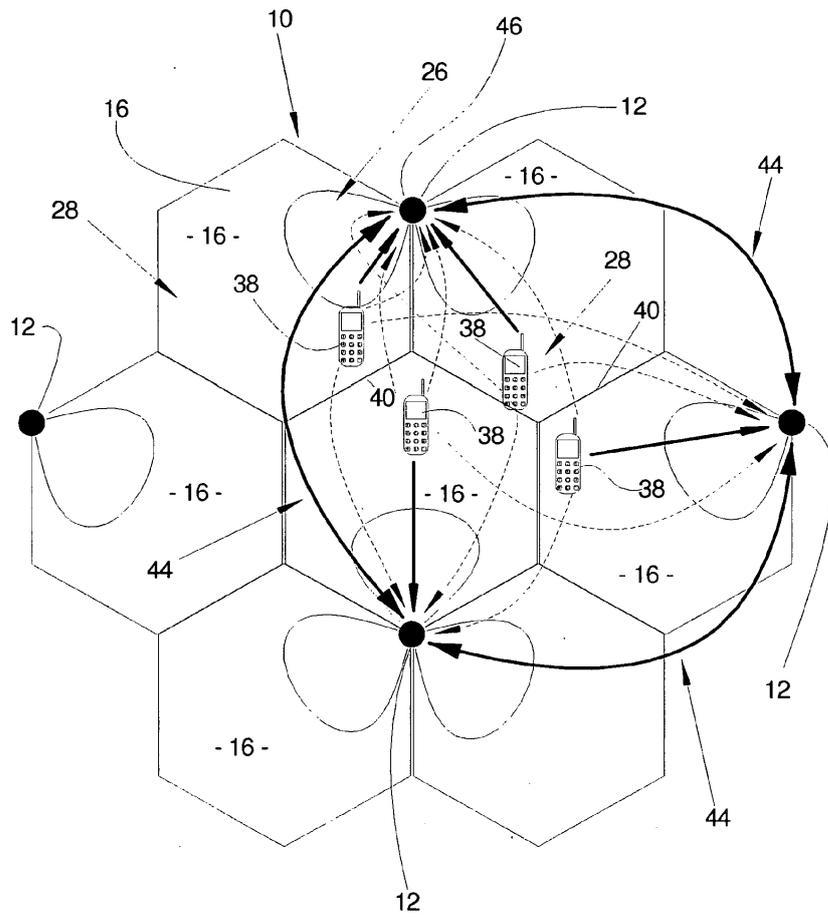


Fig. 5