



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 361 615**

51 Int. Cl.:  
**H04W 52/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06388035 .5**

96 Fecha de presentación : **18.05.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1732244**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.12.2006**

54

Título: **Control de potencia y asignación de subportadoras, dependientes de efecto Doppler, en sistemas de acceso múltiple por OFDM.**

30

Prioridad: **09.06.2005 EP 05388047**  
**09.06.2005 US 688718 P**

73

Titular/es: **Telefonaktiebolaget LM Ericsson (publ)**  
**164 83 Stockholm, SE**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**20.06.2011**

72

Inventor/es: **Wilhelmsson, Leif**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**20.06.2011**

74

Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 361 615 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**

Control de potencia y asignación de subportadoras, dependientes de efecto Doppler, en sistemas de acceso múltiple por OFDM.

5 Campo técnico de la invención

La invención se refiere a un procedimiento de transmisión de símbolos de datos digitales desde un transceptor hasta al menos dos transceptores remotos en un sistema de comunicaciones inalámbricas, empleando dicha transmisión multiplexación por división ortogonal en frecuencia, en el que cierto número de subportadoras disponibles son compartidas entre dichos transceptores remotos. La invención se refiere además a un transceptor destinado a transmitir símbolos de datos digitales a al menos dos transceptores remotos en un sistema de comunicaciones inalámbricas, y a un programa informático y soporte legible por ordenador correspondientes.

10 Descripción de la técnica relacionada

15 Diversas aplicaciones inalámbricas, tales como aplicaciones multimedia, vídeo y radiodifusión, comunicación móvil, etc. están siendo cada vez más requeridas para procedimientos de comunicación de banda ancha. La multiplexación por división ortogonal en frecuencia (OFDM) es una prometedora técnica de acceso para varias de estas aplicaciones inalámbricas de alto caudal de transferencia. Ésta permite la transmisión de elevados caudales de transferencia de datos sobre canales altamente dispersivos en el tiempo con una comparable baja complejidad y ha sido elegida como procedimiento de transmisión para diferentes concepciones de redes de área local inalámbricas (WLAN), diferentes estándares para radiodifusión digital de vídeo, como DVB-T y DVB-H, y radiodifusión digital de audio, tal como DAB. Además, el proyecto de consorcio para la tercera generación o Third Generation Partnership Project (3GPP) está considerando la OFDM como una prometedora tecnología de acceso radio para la evolución a largo plazo de sistemas móviles de tercera generación (3G), que está proyectada para garantizar la competitividad a largo plazo del estándar 3G. Esta evolución a largo plazo también es denominada en ocasiones Súper 3G. OFDM se puede considerar como una tecnología de acceso radio para sistemas móviles de cuarta generación (4G).

Una ventaja de usar OFDM comparado con otras técnicas es obtenida cuando el canal es altamente selectivo en frecuencia. Para técnicas con monoportadora, un canal altamente selectivo en frecuencia suele implicar que es necesario un ecualizador de canales muy complejo para conseguir comunicaciones fiables. Para un sistema basado en OFDM, que es un sistema multiportadora, esto se evita transmitiendo la información sobre muchas subportadoras ortogonales. En un sistema multiportadora, la velocidad de símbolo sobre cada subportadora puede ser inferior y la más larga duración de símbolo resultante hace más fácil ofrecer una inmunidad más elevada contra la dispersión multitrayecto. Además, para facilitar la compensación de los efectos de un canal multitrayecto, los símbolos OFDM son prologados artificialmente mediante adición, a cada símbolo, de lo que se denomina un prefijo cíclico (CP), también conocido como intervalo de guarda (GI). Cuando la longitud de este intervalo de guarda es más larga que la máxima dispersión por retardo del canal, todas las reflexiones de anteriores símbolos pueden ser eliminadas.

Es crítico para que un sistema OFDM funcione convenientemente que se conserve la ortogonalidad entre las subportadoras.

40 Si no se logra esto, entonces el rendimiento se degrada considerablemente. Existen diferentes motivos por los que podría perderse la ortogonalidad entre las subportadoras, por ejemplo, error en frecuencia, deriva de tiempo, ruido de fase y, quizá el más importante, dispersión Doppler. La dispersión Doppler se experimenta, por ejemplo, cuando el receptor está en movimiento y la señal recibida consta de varios trayectos, llegando cada uno de ellos con diferentes ángulos.

El número de subportadoras en un sistema OFDM es un compromiso entre capacidad de tratar una gran dispersión por retardo y capacidad de trabajar bien a elevados niveles de Doppler. Cuando se emplea un gran número de subportadoras, la duración de la parte útil del símbolo OFDM será grande y, por lo tanto, se puede usar un gran intervalo de guarda sin causar demasiada tara (overhead). Por otra parte, en este caso se disminuye el espaciado entre subportadoras y, por ello, el sistema se vuelve más sensible a, especialmente, el efecto Doppler.

55 El problema con el efecto Doppler se debe principalmente a la interferencia entre portadoras (ICI). Esto significa que información procedente de una subportadora se filtra en las subportadoras vecinas. El efecto de la ICI es fundamentalmente que la interferencia causará un ruido de fondo. Por lo tanto, si el nivel de Doppler es elevado, se debe usar un esquema de modulación más robusto de modo que se disminuya el caudal efectivo, o se debe implementar algún tipo de cancelación de ICI en el receptor, lo que implica que la complejidad del receptor se incrementa sustancialmente.

60 Si se conserva la ortogonalidad entre las subportadoras y el canal cambia lo suficientemente despacio de modo que el conocimiento del canal está disponible en el transmisor, es posible usar un alfabeto de modulación más grande sobre aquellas subportadoras en las que la relación señal a ruido (SNR) es grande y un alfabeto de modulación más robusto (más pequeño) sobre aquellas subportadoras en las que la SNR es pequeña. Esta manera de usar el canal suele denominarse water-filling o bit-loading. Cuando se usa OFDM para acceso múltiple, es decir, cuando las

señales transmitidas están destinadas a cierto número de diferentes receptores, también se puede aplicar una idea similar al bit-loading, a saber, asignando las diferentes subportadoras a los usuarios dependiendo de la apariencia que tiene el canal para los diferentes usuarios en diferentes subportadoras. Si bien este planteamiento podría dar buenos resultados, resulta bastante complejo e implica que debe conocerse el canal con precisión. De manera especial, este último podría suponer un problema en caso de que el canal cambie rápidamente. Igualmente, el efecto Doppler no sólo es un problema porque resulte más difícil estimar la apariencia que tiene el canal, también es un problema que incide en el rendimiento por la infiltración anteriormente mencionada desde una subportadora a las subportadoras vecinas.

Un problema con la solución descrita es que el número de subportadoras según se ha mencionado es un compromiso entre capacidad de tratar la dispersión por retardo y elevados niveles de Doppler. Este compromiso no se puede hacer usuario a usuario, sino que debe hacerse para la situación del "caso más desfavorable" cuando están presentes muchos usuarios. Esto implica que si los usuarios se ven afectados de muy diferente manera por el efecto Doppler, ésta no se puede explotar de forma eficaz. Asimismo, parece que como los algoritmos de tipo bit-loading para acceso múltiple están basados en la apariencia que tiene el canal, no tomar en cuenta estos varios usuarios debido a elevados niveles de Doppler podría tener un rendimiento mediocre a pesar de un canal muy bueno.

El documento EP-A-1538802 desvela un sistema de comunicaciones móviles por OFDM que atribuye subportadoras a estaciones móviles tomando en cuenta la dispersión Doppler.

"A New Transmission and Multiple Access Scheme based on Multicarrier CDMA for Future Highly Mobile Networks", Luis Loyola y col., 14th IEEE 2003 International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceedings, ISBN 0-7803-7822-9, desvela un sistema DS-SS (Direct Sequence Code Division Multiple Access o acceso múltiple por división de código de secuencia directa) multiportadora, en el que los usuarios móviles son divididos en tres clases de movilidad para usuarios de baja, media y alta velocidad.

A los usuarios de media y alta velocidad se les asignan subportadoras que no son consecutivas y, para reducir más aún la interferencia entre portadoras, se asignan a diferentes usuarios diferentes códigos de ensanchamiento. Sin embargo, este procedimiento no es adecuado para un sistema OFDM plano.

Por lo tanto, es un objeto de la invención proporcionar un procedimiento que mejore la recepción de señales OFDM para transceptores que se mueven a alta velocidad y experimentan así un elevado efecto Doppler, sin degradar la calidad de recepción para transceptores con bajo o ningún efecto Doppler.

#### Compendio

De acuerdo con la invención, el objeto se logra porque el procedimiento comprende las etapas de proporcionar información acerca de magnitudes de efecto Doppler experimentado por dichos transceptores remotos; asignar subportadoras a cada transceptor remoto en función de dicha información acerca de magnitudes de efecto Doppler; y controlar un nivel de potencia transmitido a cada uno de dichos transceptores remotos en función de dicha información acerca de magnitudes de efecto Doppler.

Cuando las subportadoras son asignadas a los transceptores remotos en función del efecto Doppler experimentado por los transceptores individuales, es posible asignar las subportadoras de tal manera que se puede reducir la autointerferencia causada por el efecto Doppler experimentado entre subportadoras pertenecientes al mismo transceptor. Cuando además se controla el nivel de potencia para cada transceptor en función del efecto Doppler experimentado por los transceptores, un nivel de potencia más elevado puede ser transmitido a transceptores con elevados niveles de Doppler. Esto mejora la relación señal a interferencia para aquellos transceptores sin correspondientes efectos negativos para transceptores que experimentan niveles de Doppler más bajos.

Se mejora así el rendimiento de un sistema basado en OFDM y acceso múltiple.

Cuando la etapa de asignar subportadoras comprende la etapa de separar al menos subportadoras asignadas a un transceptor remoto para el que se experimenta una magnitud relativamente elevada de efecto Doppler en al menos una subportadora asignada a un transceptor remoto para el que se experimenta una magnitud más baja de efecto Doppler, se garantiza que se reduce la interferencia entre portadoras entre las subportadoras de un transceptor con elevados niveles de Doppler, puesto que están separadas en frecuencia.

En algunas formas de realización, la etapa de asignar subportadoras comprende las etapas de asignar subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la más elevada magnitud de efecto Doppler; asignar subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la segunda magnitud de efecto Doppler más elevada; y asignar reiteradamente subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la siguiente magnitud de efecto Doppler más elevada, hasta que hayan sido asignadas todas las subportadoras. Ésta es una manera eficaz de asignar las subportadoras, puesto que a los transceptores que tienen las peores condiciones de Doppler se les asignan subportadoras en primer lugar.

5 En algunas formas de realización, la etapa de asignar subportadoras comprende la etapa de separar subportadoras para cada transceptor remoto tanto como sea posible, de modo que se minimiza la autointerferencia. Como alternativa, la etapa de asignar subportadoras puede comprender la etapa de separar subportadoras para cada transceptor remoto en una medida en que una cantidad de autointerferencia para ese receptor se mantiene por debajo de un límite predefinido. De este modo, la autointerferencia se atenúa lo suficiente, pero no más. En otras formas de realización, la etapa de asignar subportadoras comprende las etapas de dividir transceptores remotos en un primer grupo de transceptores remotos que experimentan magnitudes relativamente elevadas de efecto Doppler y un segundo grupo de transceptores remotos que experimentan magnitudes relativamente bajas de efecto Doppler; y entrelazar subportadoras asignadas a transceptores remotos de dicho primer grupo con subportadoras asignadas a transceptores remotos de dicho segundo grupo.

15 La etapa de controlar niveles de potencia puede comprender las etapas de estimar, a partir de dicha información acerca de magnitudes de efecto Doppler, un nivel de interferencia entre portadoras experimentada por cada transceptor remoto; estimar, a partir de dichos niveles estimados de interferencia entre portadoras, una relación señal a ruido para cada transceptor remoto; y actualizar dicho nivel de potencia transmitido a cada transceptor remoto en función de dichas relaciones señal a ruido estimadas. En este caso, la etapa de actualizar niveles de potencia puede comprender la etapa de incrementar el nivel de potencia transmitido a transceptores remotos para los que dicha relación señal a ruido estimada está por debajo de un valor de referencia predefinido.

20 En algunas formas de realización, la etapa de proporcionar información acerca de magnitudes de efecto Doppler comprende la etapa de estimar en el transceptor dichas magnitudes a partir de símbolos de datos digitales recibidos desde dichos transceptores remotos.

25 Cuando las magnitudes de Doppler son estimadas en el transceptor que transmite los símbolos de datos digitales, no existe la necesidad de que esta información sea transmitida desde los transceptores remotos. Este principio se vale del hecho de que la velocidad relativa entre los dos transceptores es recíproca, si bien el canal podría no serlo, ya que las transmisiones por los enlaces ascendente y descendente podrían hallarse a diferentes frecuencias. Como alternativa, la etapa de proporcionar información acerca de magnitudes de efecto Doppler comprende la etapa de recibir dicha información desde dichos transceptores remotos.

35 Según se ha mencionado, la invención también se refiere a un transceptor para transmitir símbolos de datos digitales a al menos dos transceptores remotos en un sistema de comunicaciones inalámbricas, empleando dicho transceptor multiplexación por división ortogonal en frecuencia, en el que cierto número de subportadoras disponibles son compartidas entre dichos transceptores remotos. Cuando el transceptor comprende circuitos para proporcionar información acerca de magnitudes de efecto Doppler experimentado por dichos transceptores remotos; una unidad de asignación para asignar subportadoras a cada transceptor remoto en función de dicha información acerca de magnitudes de efecto Doppler; y un controlador de potencia para controlar un nivel de potencia transmitido a cada uno de dichos transceptores remotos en función de dicha información acerca de magnitudes de efecto Doppler, se logra un transceptor que mejora el rendimiento de un sistema basado en OFDM y acceso múltiple.

45 Cuando la unidad de asignación se dispone para separar al menos subportadoras asignadas a un transceptor remoto para el que se experimenta una magnitud relativamente elevada de efecto Doppler en al menos una subportadora asignada a un transceptor remoto para el que se experimenta una magnitud más baja de efecto Doppler, se garantiza que se reduce la interferencia entre portadoras entre las subportadoras de un transceptor con elevados niveles de Doppler, puesto que están separadas en frecuencia.

50 En algunas formas de realización, la unidad de asignación se dispone para asignar subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la más elevada magnitud de efecto Doppler; asignar subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la segunda magnitud de efecto Doppler más elevada; y asignar reiteradamente subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la siguiente magnitud de efecto Doppler más elevada, hasta que hayan sido asignadas todas las subportadoras. Ésta es una manera eficaz de asignar las subportadoras, puesto que a los transceptores que tienen las peores condiciones de Doppler se les asignan subportadoras en primer lugar.

60 En algunas formas de realización, la unidad de asignación se dispone para separar subportadoras para cada transceptor remoto tanto como sea posible, de modo que se reduce al mínimo la autointerferencia. Como alternativa, la unidad de asignación se puede disponer para separar subportadoras para cada transceptor remoto en una medida en que una cantidad de autointerferencia para ese receptor se mantiene por debajo de un límite predefinido. De este modo, la autointerferencia se atenúa lo suficiente, pero no más. En otras formas de realización, la unidad de asignación se dispone para dividir transceptores remotos en un primer grupo de transceptores remotos que experimentan magnitudes relativamente elevadas de efecto Doppler y un segundo grupo de transceptores remotos que experimentan magnitudes relativamente bajas de efecto Doppler; y entrelazar subportadoras asignadas a transceptores remotos de dicho primer grupo con subportadoras asignadas a transceptores remotos de dicho

segundo grupo.

El controlador de potencia se puede disponer para estimar, a partir de dicha información acerca de magnitudes de efecto Doppler, un nivel de interferencia entre portadoras experimentada por cada transceptor remoto; estimar, a partir de dichos niveles estimados de interferencia entre portadoras, una relación señal a ruido para cada transceptor remoto; y actualizar dicho nivel de potencia transmitido a cada transceptor remoto en función de dichas relaciones señal a ruido estimadas. En este caso, el controlador de potencia se puede disponer para actualizar niveles de potencia incrementando el nivel de potencia transmitido a transceptores remotos para los que dicha relación señal a ruido estimada está por debajo de un valor de referencia predefinido.

En algunas formas de realización, los circuitos destinados a proporcionar información acerca de magnitudes de efecto Doppler se disponen para estimar dichas magnitudes a partir de símbolos de datos digitales recibidos desde dichos transceptores remotos. Cuando las magnitudes de Doppler son estimadas en el transceptor que transmite los símbolos de datos digitales, no existe la necesidad de que esta información sea transmitida desde los transceptores remotos. Este principio se vale del hecho de que la velocidad relativa entre los dos transceptores es recíproca, si bien el canal podría no serlo, ya que las transmisiones por los enlaces ascendente y descendente podrían hallarse a diferentes frecuencias. Como alternativa, los circuitos destinados a proporcionar información acerca de magnitudes de efecto Doppler se pueden disponer para recibir dicha información desde dichos transceptores remotos.

La invención también se refiere a un programa informático y un soporte legible por ordenador con medios de código de programa para realizar el procedimiento anteriormente descrito.

#### Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá ahora de forma más completa con referencia a los dibujos, en los que

La Figura 1 muestra un ejemplo de trayectos múltiples entre una estación base y una estación móvil, la Figura 2 muestra un ejemplo de un perfil de potencia y retardo para un canal que tiene múltiples trayectos, la Figura 3 ilustra el uso de bloques de transformada inversa rápida de Fourier (IFFT) y transformada rápida de Fourier (FFT) en un transmisor y un receptor de un sistema OFDM, la Figura 4 muestra una transformada de Fourier para una subportadora única, la Figura 5 muestra el espectro de amplitud de la transformada de Fourier de la Figura 4, la Figura 6 muestra el espectro de amplitudes combinadas para ocho subportadoras ortogonales, la Figura 7 muestra la inserción de un intervalo de guarda en cada símbolo OFDM, la Figura 8 muestra un ejemplo del modo en que el espectro de la Figura 5 puede verse afectado por la dispersión Doppler, la Figura 9 muestra un ejemplo del modo en que el espectro de la Figura 6 puede verse afectado por el desplazamiento Doppler y la dispersión Doppler, la Figura 10 muestra un ejemplo de asignación de subportadoras a dos usuarios según la técnica anterior, la Figura 11 muestra el uso de control de potencia para subportadoras asignadas según la Figura 10, la Figura 12 muestra espectros recibidos correspondientes a la Figura 11, la Figura 13 muestra un ejemplo diferente de asignación de subportadoras a dos usuarios, la Figura 14 muestra el uso de control de potencia para subportadoras asignadas según la Figura 13, la Figura 15 muestra espectros recibidos correspondientes a la Figura 14, la Figura 16 muestra una relación efectiva señal a ruido en función de la frecuencia Doppler normalizada, la Figura 17 muestra la autointerferencia en función de la distancia entre intervalos (bins) asignados, la Figura 18 muestra un diagrama de flujo de un procedimiento de asignación de portadoras y control de potencia en función del efecto Doppler estimado, la Figura 19 muestra el modo en que son asignadas y controladas en potencia señales de datos procedentes de dos usuarios en función del efecto Doppler estimado, la Figura 20 muestra el modo en que puede estimarse el efecto Doppler en la estación base, y la Figura 21 muestra el modo en que puede estimarse el efecto Doppler en las estaciones móviles.

#### Descripción detallada de formas de realización

La Figura 1 muestra una situación en la que una estación base 1 y una estación móvil 2 de un sistema de comunicaciones inalámbricas se comunican entre sí. A modo de ejemplo, una señal transmitida desde la estación base 1 es recibida por la estación móvil 2. Sin embargo, la señal transmitida viaja por múltiples trayectos desde la estación base hasta la estación móvil. En este caso, existe un trayecto de propagación directo y sin obstrucciones 3, pero, además de este trayecto directo, reflexiones procedentes de objetos circundantes hacen que exista cierto número de trayectos indirectos. Dos trayectos de este tipo se muestran en la figura. Un trayecto indirecto 4 es reflejado desde una casa 5, en tanto que otro trayecto 6 es causado por reflexión desde otro edificio 7. Estos trayectos definen conjuntamente el canal desde la estación base 1 hasta la estación móvil 2.

Puesto que la parte de una señal transmitida a través de uno de los trayectos indirectos 4 y 6 tiene que recorrer una distancia más larga para llegar a la estación móvil 2, comparado con la parte de la señal que viaja a través del trayecto directo 3, múltiples casos de la misma señal serán recibidos por la estación móvil 2 en diferentes tiempos,

es decir, con diferentes retardos.

Así, si una señal es transmitida desde la estación base 1, la potencia  $P$  recibida en la estación móvil 2 en función del tiempo  $t$  puede tener la apariencia ilustrada en la Figura 2, que muestra un ejemplo de un perfil de potencia y retardo correspondiente a la respuesta al impulso del canal (cir) del canal multitrayecto desde la estación base hasta la estación móvil. En la Figura 2,  $\tau_{\max}$  designa la dispersión por retardo entre el trayecto más largo y el trayecto más corto del canal. Esta dispersión por retardo causa problemas a la transmisión si es demasiado grande comparado con la velocidad de símbolo de los datos transmitidos, ya que diferentes símbolos interferirán entre sí, de modo que tiene lugar una interferencia entre símbolos (ISI). Con elevados caudales de transferencia de datos, pueden interferir entre sí varios cientos de símbolos y será tremenda la complejidad de eliminación de esta interferencia en el receptor.

Una manera de reducir la velocidad de símbolo sin reducir el caudal de transferencia de datos es usar un planteamiento multiportadora, en el que el flujo de datos original es multiplexado en cierto número de flujos de datos paralelos con una velocidad de símbolo correspondientemente inferior.

Cada uno de estos flujos de datos paralelos es modulado con una frecuencia de subportadora diferente y las señales resultantes son transmitidas conjuntamente en la misma banda. Típicamente, será necesario un número elevado de diferentes frecuencias de subportadora, es decir, varios cientos o incluso miles y, puesto que estas frecuencias necesitan estar muy próximas entre sí, la tarea de separarlas en el receptor será bastante compleja, a menos que se tomen especiales precauciones, lo que conduce así al concepto de multiplexación por división ortogonal en frecuencia (OFDM).

En OFDM, la tarea de modulación se puede realizar mediante una simple transformada inversa discreta de Fourier que se puede implementar eficazmente como una transformada inversa rápida de Fourier (IFFT). En el receptor, sólo es necesaria entonces una transformada rápida de Fourier (FFT) para invertir la operación. Esto está ilustrado en la Figura 3, en la que el flujo de datos de usuario es multiplexado en primer lugar en un número  $N$  de flujos de datos paralelos en el convertidor de serie a paralelo 11 y los  $N$  flujos de datos son modulados entonces sobre  $N$  subportadoras usando la transformada inversa rápida de Fourier en el bloque de IFFT 12.  $N$  también es denominado el tamaño de la IFFT.

La modulación puede ser acorde a cierto número de técnicas bien conocidas, tales como modulación de amplitud en cuadratura (QAM) o modulación por desplazamiento de fase  $n$ -aria ( $n$ -PSK). La señal resultante que comprende todas las subportadoras moduladas es la señal en banda base en el sistema OFDM, que es entonces usada para modular una señal principal de radiofrecuencia. Esta señal es transmitida a través del canal 13 hasta el lado del receptor, en el que los  $N$  flujos de datos son recuperados usando la transformada rápida de Fourier en el bloque de FFT 14 y demultiplexados en el flujo de datos original en el convertidor de paralelo a serie 15.

La FFT y la IFFT son definidas esencialmente de la misma manera. Se multiplica una secuencia de entrada  $\{X(k)\} = X(0), X(1), \dots, X(N-1)$  por una frecuencia compleja  $e^{j2\pi kn/N}$  para  $n = 0, 1, \dots, N-1$ . Habrá  $N$  salidas procedentes de la IFFT/FFT, correspondiendo cada una de ellas a un  $n$  diferente. Así, la IFFT, que representa las  $N$  salidas  $x(n)$  como una suma de sinusoides, vendrá definida por la fórmula

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j\frac{2\pi}{N}nk} .$$

De acuerdo con los teoremas de la transformada de Fourier, la forma del impulso rectangular que, según se ha mencionado anteriormente, se elige para transmisión en OFDM, conducirá a un tipo de espectro  $\sin(x)/x$  de las subportadoras. La transformada de Fourier para una subportadora única será así según se muestra en la Figura 4 o, si sólo se considera el espectro de amplitud de la transformada de Fourier, según se muestra en la Figura 5. Obviamente, puesto que las diferentes subportadoras van ubicadas próximas entre sí, sus espectros no están separados. Estos se solapan entre sí. El hecho de que la información transmitida en las subportadoras pueda seguir siendo recuperada en el receptor se debe a la denominada relación de ortogonalidad. Al usar una IFFT para la modulación, el espaciado de las subportadoras es elegido implícitamente de tal modo que, a la frecuencia en la que una subportadora es evaluada en el receptor, todas las demás señales son cero, siempre y cuando se haya preservado la ortogonalidad durante la transmisión. Esto queda ilustrado en la Figura 6, que muestra los espectros en solape para ocho subportadoras. Las flechas designan las frecuencias a las que es evaluada cada subportadora en el receptor y se ve que, a estas frecuencias, los espectros de las demás subportadoras son todos cero.

El motivo de que las señales moduladas mediante la IFFT sean ortogonales es que los vectores  $\exp(j2\pi kn/N)$  forman una base ortogonal sobre el conjunto de vectores complejos  $N$ -dimensionales. Para dos valores diferentes de  $n$ , por ejemplo  $n'$  y  $n''$ , la frecuencia compleja diferirá en un número entero de períodos. Esto se puede expresar como:

$$\sum_{k=0}^{N-1} \left( e^{j \frac{2\pi}{N} kn'} \right) \left( e^{j \frac{2\pi}{N} kn''} \right) = \sum_{k=0}^{N-1} \left( e^{j \frac{2\pi}{N} k(n'-n'')} \right) = 0.$$

La última igualdad se puede derivar de varias maneras. Los distintos términos pueden verse como puntos sobre el círculo unidad y la suma como un centro de gravedad, que será el origen. Como alternativa, sólo tienen que realizarse los cálculos.

En las Figuras 3 y 6, la IFFT está mostrada con ocho subportadoras con fines ilustrativos. Sin embargo, en un sistema práctico, el número será mucho mayor. Así, en sistemas conocidos hoy en día, el tamaño de la IFFT, es decir, el número de subportadoras, estará normalmente entre 64 y 8192.

Para reducir más aún la interferencia entre símbolos, los símbolos OFDM son prolongados artificialmente añadiendo lo que se denomina un prefijo cíclico (CP), también conocido como intervalo de guarda (GI), que viene dado copiando de forma periódica la última parte (es decir, la "cola") de cada símbolo de datos y dejando entonces que preceda al símbolo como prefijo. Esto está ilustrado en la Figura 7, en la que  $T_u$  es la longitud de la parte útil del símbolo, mientras que  $T_G$  es la longitud del intervalo de guarda. Siempre que  $T_G$  sea más larga que el máximo retardo del canal  $\tau_{\max}$ , todas las reflexiones de símbolos previos pueden ser eliminadas en el receptor obviando el intervalo de guarda y, así, se puede evitar la interferencia entre símbolos.

Según se ha mencionado anteriormente, la idea del sistema OFDM es que, debido a la ortogonalidad entre las subportadoras, todas las demás subportadoras serán cero a la frecuencia a la que se evalúa en el receptor una subportadora específica. Es crítico por tanto, para que un sistema OFDM funcione convenientemente, que se conserve la ortogonalidad entre las subportadoras durante la transmisión. Si no se logra esto, entonces el rendimiento se degrada considerablemente. Existen diferentes motivos por los que podría perderse la ortogonalidad entre las subportadoras, por ejemplo, error en frecuencia, deriva de tiempo, ruido de fase y, quizá el más importante, dispersión Doppler.

Cuando un receptor se está moviendo respecto al transmisor, tendrá lugar un desplazamiento Doppler correspondiente al error en frecuencia. Para un canal de trayecto único, el efecto Doppler será un error en frecuencia por desplazamiento Doppler puro, que no se puede distinguir de un error en frecuencia que es causado por un transmisor y un receptor que no estén usando exactamente la misma frecuencia.

En la Figura 6, un error en frecuencia por desplazamiento Doppler puro tendría como resultado el desplazamiento de frecuencia de los ocho espectros de frecuencia respecto a las flechas indicativas de las frecuencias a las que son evaluadas las subportadoras. Entonces, las subportadoras dejarían de ser evaluadas a su valor máximo y, de manera más importante, las demás subportadoras dejarían de ser cero a las frecuencias de evaluación, es decir, no se conserva la ortogonalidad. Sin embargo, un desplazamiento Doppler puro es relativamente fácil de estimar y de eliminar, lo que no es el caso para la dispersión Doppler.

Cuando un canal de comunicaciones se caracteriza por una propagación multitrayecto, diferentes trayectos llegarán con diferentes ángulos y tendrán por ello diferentes desplazamientos Doppler. El máximo desplazamiento Doppler se obtiene cuando el ángulo de llegada es  $0$  y  $\pi$ , es decir, cuando el receptor se está moviendo directamente hacia o en alejamiento del transmisor. El desplazamiento Doppler tendrá un signo diferente para estos dos ángulos y todas las frecuencias Doppler intermedias son posibles. Esto implica que diferentes partes de la señal, es decir, porciones que viajan a través de trayectos diferentes, experimentarán diferentes desplazamientos Doppler. El resultado es que los espectros mostrados en la Figura 6 no sólo estarán desplazados en frecuencia respecto a las flechas de evaluación, según se ha mencionado anteriormente, también estarán "difuminados". Esto queda ilustrado en la Figura 8 para el espectro de una subportadora única y en la Figura 9 para el espectro de las ocho subportadoras correspondientes a la Figura 6, en la que puede verse que la ortogonalidad ya no está totalmente conservada. La Figura 9 muestra los efectos de un desplazamiento Doppler (los espectros están desplazados en frecuencia respecto a las flechas indicadoras de las frecuencias a las que son evaluadas las subportadoras) así como de una dispersión Doppler (los espectros están "difuminados", como acaba de mencionarse).

Según se ha mencionado, el tamaño de la FFT/IFFT, es decir, el número de subportadoras, se basa en un compromiso entre capacidad de tratar una gran dispersión por retardo y capacidad de trabajar bien a elevados niveles de Doppler. Cuando se emplea una gran FFT, la duración de la parte útil del símbolo OFDM,  $T_u$ , será grande y, por lo tanto, se puede usar un prefijo cíclico grande sin causar demasiada tara. Por otra parte, puesto que el espaciado entre subportadoras es igual a  $1/T_u$ , este espaciado disminuye para grandes tamaños de FFT y, por lo tanto, el sistema se vuelve más sensible a, especialmente, el efecto Doppler. El problema con el efecto Doppler se debe principalmente a la interferencia entre portadoras (ICI). Esto implica que información procedente de una subportadora se infiltra en las subportadoras vecinas, como también queda ilustrado en la Figura 9. El efecto de la ICI es fundamentalmente que la interferencia causará un ruido de fondo.

5 Cuando se usa OFDM para acceso múltiple, es decir, las subportadoras son compartidas entre cierto número de usuarios, como será el caso, por ejemplo, en un sistema de teléfonos móviles cuando se transmiten señales entre una estación base y cierto número de terminales móviles, los canales para los diferentes usuarios pueden tener muy distintas características, atendiendo a respuesta al impulso del canal, efecto Doppler, etc. Así, los usuarios pueden resultar afectados de muy distinto modo por el efecto Doppler, de modo que algunos usuarios podrían tener un rendimiento mediocre debido a elevados niveles de Doppler a pesar de una gran relación señal a ruido (SNR). Sin embargo, el compromiso antes mencionado entre la capacidad de tratar la dispersión por retardo y el efecto Doppler no puede hacerse usuario a usuario, ya que el tamaño de la IFFT/FFT es, naturalmente, común a todos los usuarios y debe ser seleccionado para la situación del "caso más desfavorable" cuando están presentes muchos usuarios.

10 A continuación se describe una solución que reduce el efecto de la dispersión Doppler en un sistema OFDM. La solución se basa en el hecho de que diferentes usuarios se moverán típicamente a muy diferentes velocidades y de que, por lo tanto, también variará considerablemente el modo en que padecen la ICI. Puesto que la ICI está causada por el hecho de que un usuario se mueve de manera relativamente rápida, es fácil determinar qué usuarios padecen la ICI y cuáles no. Mediante el uso de este conocimiento al asignar las subportadoras a los diferentes usuarios, es posible aprovechar el control de potencia de manera mucho más eficaz de lo que lo habría sido si se hubieran asignado a los diferentes usuarios conjuntos continuos de subportadoras.

15 La solución descrita se refiere a la situación en la que se emplea OFDM y las subportadoras usadas son compartidas entre dos o más usuarios. De manera especial, la solución sugiere tomar en consideración el hecho de que, cuando la señal es enviada desde la estación base hasta los diferentes usuarios, los usuarios podrían experimentar efectos Doppler muy diferentes. Efectivamente, ello tiene el efecto que usuarios que se mueven rápidamente experimentarán más ICI que usuarios que viajan a velocidades inferiores. Puesto que la ICI experimentada sobre un intervalo de frecuencia concreto está causada por infiltración desde las subportadoras más próximas, esto implica que, si se asigna a los usuarios subportadoras consecutivas (intervalos en la FFT), el incremento de la potencia de salida carece prácticamente de efecto sobre la ICI.

20 En la presente explicación, se sugiere por tanto asignar las subportadoras a los diferentes usuarios de manera tal que también se consideren los diferentes niveles de efecto Doppler experimentados por los diferentes usuarios. Específicamente, se desvela un procedimiento en el que subportadoras que transportan información para usuarios con elevados niveles de Doppler son entrelazadas con subportadoras que transportan información para usuarios con bajos niveles de Doppler. Puesto que la causa fundamental de ICI para una subportadora específica proviene de las subportadoras más próximas, éste permite el uso de control de potencia como medio eficaz para contrarrestar la ICI. Este procedimiento desvelado puede verse como un medio flexible para distribuir entre usuarios toda la ICI generada, de tal manera que se mejora el rendimiento del sistema.

25 Para facilitar la descripción del procedimiento desvelado, se supone inicialmente que por el canal sólo están transmitiendo dos usuarios, donde uno de los usuarios se está moviendo a alta velocidad en tanto que el otro permanece fundamentalmente inmóvil.

30 Un planteamiento para dividir las subportadoras disponibles entre los usuarios sería atribuir la mitad superior de las frecuencias al usuario 1 y la mitad inferior al usuario 2, tal como se ilustra en la Figura 10. El espectro recibido a nivel de usuario 1, que se está moviendo a alta velocidad, se asemejaría entonces al de la Figura 9, siendo evaluadas no obstante solamente las cuatro frecuencias de subportadora más a la izquierda, en tanto que el espectro recibido a nivel del usuario 2, que permanece inmóvil, se asemejaría al de la Figura 6, siendo evaluadas no obstante solamente las cuatro frecuencias de subportadora más a la derecha. Se ve así que la ortogonalidad se conserva para el usuario 2, pero no para el usuario 1. Esta manera de dividir el espectro disponible entre los usuarios se considera la técnica anterior.

35 En la actual explicación, se sugiere, por el contrario, dividir las subportadoras de modo que cada segunda subportadora sea usada por el usuario 1 y las subportadoras restantes sean usadas por el usuario 2, tal como se ilustra en la Figura 13. De nuevo, los espectros recibidos serán como los de las Figuras 9 y 6, respectivamente, pero ahora, cada segunda frecuencia de subportadora será evaluada en los receptores. Es evidente que, para el caso en el que se conserva la ortogonalidad entre las subportadoras, como es el caso para el usuario 2, el rendimiento para las dos soluciones sería semejante. Sin embargo, como se describirá a continuación, éste no es el caso para el usuario 1, donde la ortogonalidad no es conservada, ya que el control de potencia puede marcar una diferencia.

40 El nivel de ICI y, así, la relación señal a ruido pueden calcularse de la siguiente manera. Por motivos de sencillez, se presupone que a ambos usuarios les gustaría usar 64-QAM como técnica de modulación y que ésta requiere, por ejemplo, 25 dB de SNR efectiva, es decir, la SNR que es experimentada por el receptor. Para simplificar las cosas, se presupone que puede desprejarse el ruido térmico, de modo que el rendimiento para los dos usuarios sólo está limitado por la ICI. Puede mostrarse que, con las condiciones que suelen cumplirse, la SNR efectiva es igual a



$$SNR = \frac{6}{\pi^2 f_D^2}, \quad (1)$$

5 donde  $f_D$  es la frecuencia Doppler normalizada, es decir, la frecuencia Doppler dividida por el espaciamento entre subportadoras. La Figura 16 muestra la SNR efectiva en función de la frecuencia Doppler normalizada. La fórmula anterior para la SNR es consecuencia inmediata del hecho de que si la potencia de la señal deseada es normalizada a la unidad, el nivel de ICI es igual a

$$I = \frac{\pi^2}{6} f_D^2. \quad (2)$$

10 Puede suponerse además que el usuario 1 está desplazándose a una velocidad bastante elevada, por ejemplo correspondiente a una frecuencia Doppler normalizada de  $f_D = 0,06$ , en tanto que el segundo usuario permanece inmóvil, es decir  $f_D = 0$ .

15 En caso de dividirse entonces el ancho de banda total según la técnica anterior, es decir, se dividen las subportadoras entre los dos usuarios según se muestra en la Figura 10, esto implica que el usuario 1 experimentará una SNR de aproximadamente 22 dB y, como consecuencia, no será apto para recibir 64-QAM, puesto que la presuposición era que se requerían 25 dB. El usuario 2, por otra parte, fácilmente será apto para recibir 64-QAM, puesto que no hay efecto Doppler que limite el rendimiento. Se puede observar que la baja SNR para el usuario 1 se debe casi enteramente a la ICI por él mismo causada (sólo un número muy pequeño de subportadoras próximas a las subportadoras usadas por el usuario 2 resultan afectadas por el usuario 2). En lo sucesivo, la interferencia que el usuario causa a sí mismo se designa autointerferencia, y el problema con la autointerferencia es que es proporcional a la potencia de la señal deseada, haciendo con ello inutilizable el control de potencia. La Figura 11 ilustra que el nivel de potencia de las subportadoras atribuidas al usuario 1 se ajusta a un nivel más elevado que el nivel de potencia de las subportadoras atribuidas al usuario 2 y la Figura 12 muestra los espectros recibidos a nivel del usuario 1, donde se ve con facilidad que, debido a la autointerferencia, el control de potencia no incrementa la SNR experimentada a nivel del usuario 1.

25 Seguidamente, se considera el planteamiento propuesto, en el que cada segunda subportadora es usada por los dos usuarios. En caso de ser enviados los datos a los dos usuarios con el mismo nivel de potencia, la situación es la misma que anteriormente en el sentido de que el usuario 1 no será apto para recibir 64-QAM, en tanto que el usuario 2 lo será. La diferencia aquí es que la fuente principal de ICI para el usuario 1 es causada por el usuario 2, sugiriendo así que, de hecho, el control de potencia podría ser una solución factible. Puede mostrarse que la interferencia en el usuario 1 para el esquema de acceso propuesto se estima con precisión mediante

$$35 \quad I_1 = f_D^2 \pi^2 \left( \frac{P_1}{24} + \frac{P_2}{8} \right), \quad (3)$$

40 donde  $P_1$  y  $P_2$  son las potencias para el usuario 1 y el usuario 2, respectivamente. Haciendo referencia a la ecuación (3), se ve fácilmente que, en caso de que los usuarios estén transmitiendo a igual potencia, el nivel de interferencia será el mismo que en la ecuación (2). Sin embargo, puesto que la SNR para el usuario 1 puede escribirse

$$40 \quad SNR_1 = \frac{P_1}{I_1} = \frac{1}{f_D^2 \pi^2} \cdot \frac{P_1}{\frac{P_1}{24} + \frac{P_2}{8}} = \frac{1}{f_D^2 \pi^2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{24} + \frac{P_2}{8P_1}}, \quad (4)$$

45 también se ve que, haciendo  $P_1 \gg P_2$ , es posible reducir la interferencia experimentada por el usuario 2 en un factor de 4 (6 dB). Específicamente, si  $P_2 = P_1/3$ , entonces  $I_1$  disminuye en 3 dB, de modo que el usuario 1 tendrá de hecho una SNR de 25 dB, haciendo con ello factible la 64-QAM. Con toda evidencia, la posibilidad de resolver el problema de la ICI se debe a que los dos usuarios no usan subportadoras adyacentes.

50 La Figura 14 ilustra que cada otra subportadora es usada por los dos usuarios y que el nivel de potencia de las subportadoras atribuidas al usuario 1 es ajustado a un nivel más elevado que el nivel de potencia de las subportadoras atribuidas al usuario 2. La Figura 15 muestra los espectros recibidos a nivel del usuario 1, donde se ve fácilmente que el control de potencia puede incrementar la SNR experimentada a nivel del usuario 1, puesto que el nivel de potencia de las subportadoras más próximas a cada una de las subportadoras usadas por el usuario 1 es ajustado a un nivel más bajo.

En la anterior descripción se ha supuesto que las señales eran transmitidas por el canal a dos usuarios solamente, es decir, uno que se mueve a alta velocidad y uno que permanece fundamentalmente inmóvil. Se considerará ahora un caso más general, para el que se introducen las siguientes definiciones:

- 5 •  $N_{\text{FFT}}$  es el número de subportadoras usadas (que normalmente es algo más pequeño que el tamaño de FFT).
- $N_u$  es el número de usuarios que acceden simultáneamente al canal (usando en total  $\leq N_{\text{FFT}}$  subportadoras).
- $SNR_n = \frac{S_n}{N_n + I_n}$  es la relación señal a ruido experimentada para el usuario  $n$ , donde  $S_n$  es la potencia de la señal deseada,  $N_n$  es la potencia del ruido térmico e  $I_n$  es la interferencia causada por la dispersión Doppler.

Puesto que, en el caso ideal, el sistema OFDM garantizará que las diferentes frecuencias son ortogonales, se podría elegir usar control de potencia sólo para compensar las diferentes pérdidas en el trayecto, o se podría hacer transmitir a todos los usuarios con la misma potencia y, de esta manera, hacer el sistema más robusto a imperfecciones que conducen a pérdida de ortogonalidad entre las subportadoras.

A menudo, al considerar el efecto de la ICI, se examina la ICI total causada por todas las subportadoras. Ésta es hallada efectuando la suma de todas las subportadoras y el resultado es (suponiendo de nuevo una potencia unidad):

$$I^{(1)} = f_D^2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} = \frac{\pi^2}{6} f_D^2, \quad (5)$$

donde el índice del sumatorio  $k$  corresponde a la distancia (en número de intervalos de frecuencia) y  $f_D$  es la frecuencia Doppler normalizada. El superíndice (1) se usa para designar la distancia en intervalos entre las subportadoras usadas.

En caso de que un usuario sólo transmita sobre cada segundo intervalo de frecuencia, esto significa que la autointerferencia puede escribirse:

$$I^{(2)} = f_D^2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k)^2} = \frac{1}{4} f_D^2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} = \frac{1}{4} I^{(1)}. \quad (6)$$

De una manera similar, para un usuario al que se asigna cada intervalo  $m$ 'ésimo, se deduce que

$$I^{(m)} = \frac{1}{m^2} I^{(1)}. \quad (7)$$

La autointerferencia en función de la distancia entre los intervalos usados se muestra en la Figura 17, de donde se ve el modo en que la autointerferencia es reducida asignando intervalos más separados. Así, haciendo referencia a las anteriores ecuaciones (o a la Figura 17), es posible mejorar el rendimiento para un usuario aislado no asignando subportadoras adyacentes sino, en lugar de ello, asignando subportadoras con una cierta distancia unas de otras.

Atendiendo a la interferencia (media) de un usuario a otro, en el caso general, podría no ser fácilmente descrita como anteriormente, es decir, como un factor tiempos  $I^{(1)}$ . A pesar de ello, resulta sencilla de determinar considerando simplemente la interferencia total (a partir de todos los intervalos usados) causada por un usuario  $n$  sobre todos los intervalos en un usuario  $k$ . A continuación,  $I^{(k;n)}$  designa esta interferencia en caso de haber transmitido ambos usuarios con la misma potencia.  $I^{(k;n)}$  puede verse como un "coeficiente de infiltración" y el efecto que la infiltración tiene sobre el rendimiento también dependerá de la potencia (relativa) de los dos usuarios.)

Puesto que debería usarse, de ser posible, el número total de frecuencias disponibles, es importante que las subportadoras intermedias puedan ser usadas por los demás usuarios sin destruir la eficacia total del sistema.

Un algoritmo para lograr esto (que, por motivos de sencillez, obvia el término ruido) está descrito a continuación e ilustrado en el diagrama de flujo 100 de la Figura 18.

1. Habiendo estimado, en la etapa 101, el efecto Doppler experimentado por cada usuario, se asignan subportadoras a los diferentes usuarios en la etapa 102, empezando por el que tiene el más elevado nivel de Doppler, tomando después el usuario con el segundo nivel de Doppler más elevado y así sucesivamente,

hasta que se hayan asignado todas las subportadoras a todos los usuarios. Para permitir un uso eficiente del control de potencia, la autointerferencia, según se ha descrito anteriormente, debería hacerse suficientemente pequeña usando subportadoras suficientemente distanciadas para cada usuario.

5 2. Para cada uno de los usuarios, la ICI experimentada es estimada en la etapa 103 como

$$I_k = f_{D,k}^2 \sum_{n=1}^N P_n I^{(k;n)},$$

10 donde  $I^{(k;n)}$  designa el coeficiente de infiltración tal como se ha definido anteriormente de un usuario n a un usuario k.

3. Para cada uno de los usuarios, se obtiene, en la etapa 104, una estimación de la SNR experimentada como

15 
$$SNR_k = \frac{P_k}{I_k}.$$

20 4. Sobre la base de  $SNR_k$  e  $I_k$  para los diferentes usuarios,  $P_k$  es actualizada en la etapa 105 para los diferentes usuarios a fin de dar el mejor rendimiento posible. Los criterios podrían ser, por ejemplo, el caudal de transferencia total de datos para los  $N_u$  usuarios que acceden al canal, o podría ser que tuvieran acceso al canal tantos usuarios como fuera posible.

25 La Figura 19 muestra el modo en que las señales de datos procedentes del usuario 1 y el usuario 2, respectivamente, son asignadas a las subportadoras y la potencia de las señales ajustada en función de la frecuencia Doppler estimada  $f_{D,1}$  y  $f_{D,2}$  para los dos usuarios en la unidad de asignación 20 y el controlador de potencia 21, en la situación en la que sólo se transmiten datos desde dos usuarios.

30 Sobre la base del efecto Doppler estimado para diferentes usuarios, se calcula cuánta ICI experimenta cada usuario procedente de (los) otro(s) usuario(s). Para usuarios que experimentan demasiada ICI, debido a elevados niveles de Doppler o porque los otros usuarios son demasiado fuertes, se incrementa la distancia entre subportadoras para reducir ICI procedente de otros usuarios o, como alternativa, se incrementa la potencia. Para usuarios que se están moviendo despacio, se comprueba si se podría incrementar el nivel de ICI para ayudar a los demás usuarios. De ser así, se podría incrementar la potencia para los demás usuarios sin destruir el rendimiento para el usuario que se mueve despacio. El algoritmo se realiza para obtener el mejor rendimiento posible, por ejemplo, en términos de caudal total o retardo mínimo para los usuarios. El efecto Doppler experimentado por los usuarios se puede estimar en transmisión y suministrar directamente a la unidad de asignación 20, o se puede estimar en los receptores remotos y retransmitir la correspondiente información al transmisor, donde es suministrada a la unidad de asignación 20.

40 Atendiendo al algoritmo anterior, se pueden hacer las siguientes observaciones. Se podrían adoptar varios planteamientos atendiendo al modo en que se asignan las subportadoras. Por ejemplo:

- Las subportadoras para cada usuario se pueden separar tanto como sea posible, es decir, las subportadoras del usuario son dispersadas por todo el ancho de banda para minimizar la autointerferencia.
- Las subportadoras para cada usuario se pueden separar tanto como sea necesario para garantizar que la autointerferencia es atenuada suficientemente, pero no más.
- Los usuarios pueden ser divididos en "Usuarios con elevado efecto Doppler" y "Usuarios con bajo efecto Doppler" y, entonces, se pueden entrelazar las dos categorías para garantizar que se puede hacer eficaz el algoritmo de control de potencia.
- Podría ser que no todos los usuarios puedan obtener acceso al canal, por ejemplo, debido a que demasiados usuarios experimenten niveles de Doppler demasiado elevados. Entonces, la asignación de subportadoras podría cambiar de un símbolo OFDM al siguiente, de modo que no todos los usuarios estén transmitiendo información en cada símbolo, sino que se emplee efectivamente división en el tiempo entre los usuarios.

55 Atendiendo al modo en que se estima la SNR para los diferentes usuarios, éste se podría extender fácilmente para incluir también el efecto de otras perturbaciones, por ejemplo ruido. El efecto de las demás perturbaciones se puede incluir entonces efectivamente en el término de ruido  $N_k$  para un usuario k de la siguiente manera:

$$SNR_k = \frac{P_k}{I_k + N_k}.$$

5 Según se ha mencionado anteriormente, el efecto Doppler experimentado por los diferentes usuarios se puede  
 10 estimar en la estación base basándose en la transmisión por el enlace ascendente proveniente de los usuarios. Esto  
 15 queda ilustrado en la Figura 20, en la que las señales de enlace descendente proporcionadas por la IFFT 12 son  
 transmitidas desde el transmisor 22 de la estación base a los receptores 25 y 27 del usuario 1 y el usuario 2,  
 respectivamente, en tanto que las señales de enlace ascendente procedentes de los transmisores 26 y 28 del  
 usuario 1 y el usuario 2 son recibidas en el receptor 23 de la estación base. En el estimador de Doppler 24, los  
 niveles de Doppler para los dos usuarios son estimados sobre la base de las señales de enlace ascendente  
 recibidas y usados entonces en la unidad de asignación 20 y el controlador de potencia 21 como representativos de  
 los niveles de Doppler experimentados por los usuarios para la transmisión por el enlace descendente. De esta  
 manera, no es necesario que se transmita información acerca de los niveles de Doppler experimentados desde las  
 estaciones móviles hasta la estación base. Esto se vale del hecho de que la velocidad relativa entre los dos  
 transceptores es recíproca, si bien el canal podría no ser recíproco, ya que las transmisiones por los enlaces  
 ascendente y descendente podrían hallarse a diferentes frecuencias.

20 Como alternativa, se podría disponer un estimador de Doppler en cada una de las estaciones móviles para estimar  
 los niveles de Doppler experimentados en la transmisión por el enlace descendente. Esto queda ilustrado en la  
 Figura 21, en la que los estimadores de Doppler 32 y 33 estiman los niveles de Doppler respectivamente  
 experimentados por el usuario 1 y el usuario 2. Puede ser transmitida entonces información acerca de los niveles de  
 Doppler estimados a la estación base a través de los transmisores 26 y 28 y el receptor 23. La información acerca  
 de los niveles de Doppler para los diferentes usuarios puede ser almacenada entonces en un registro 34 y usada en  
 la unidad de asignación 20 y el controlador de potencia 21.

25 La dispersión Doppler se podría estimar de varias maneras. Un planteamiento que es de uso corriente consiste en  
 considerar con qué frecuencia la señal recibida pasa por un cierto nivel. Esto puede hacerse, por ejemplo, estimando  
 en primer lugar la potencia media recibida y contando después con qué frecuencia la potencia recibida cae por  
 debajo de este promedio. El número de veces por segundo que esto ocurre está en relación con la dispersión  
 30 Doppler. Una manera alternativa consiste en considerar, por ejemplo, la parte real del canal (el canal es de valor  
 complejo) y estimar cuántas veces por segundo la parte real pasa de ser positiva a ser negativa, es decir, cruza el  
 eje imaginario en el plano complejo. Para un sistema OFDM, esto se podría hacer usando los símbolos piloto que  
 son transmitidos sobre algunas de las subportadoras.

35 La solución descrita proporciona flexibilidad en la asignación de subportadoras en el enlace descendente. Las  
 subportadoras asignadas para un determinado usuario están más separadas cuanto más elevado sea el efecto  
 Doppler estimado para ese usuario concreto. Sobre la base del espaciamiento requerido entre subportadoras,  
 también se puede incluir división en el tiempo para los usuarios, a fin de garantizar que puede obtenerse un  
 espaciamiento suficiente entre subportadoras (para los usuarios con elevados niveles de Doppler). Las diferentes  
 40 subportadoras en un sistema de acceso múltiple por OFDM son asignadas, al menos en parte, basándose en el  
 efecto Doppler para los diferentes usuarios. Esto permite un medio efectivo de usar control de potencia para atenuar  
 la ICI. Los procedimientos desvelados se pueden ver como un medio para distribuir la ICI de manera un tanto  
 uniforme entre los usuarios, pese al hecho de que los usuarios estén experimentando muy diferentes niveles de  
 Doppler.

45 Si bien se han descrito y mostrado varias formas de realización de la presente invención, la invención no queda  
 restringida a las mismas, sino que se puede llevar a la práctica de otras maneras dentro del campo de aplicación de  
 cuanto queda definido en las reivindicaciones que siguen.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento de transmisión de símbolos de datos digitales desde un transceptor hasta al menos dos transceptores remotos en un sistema de comunicaciones inalámbricas, empleando dicha transmisión multiplexación por división ortogonal en frecuencia, en el que cierto número de subportadoras disponibles son compartidas entre dichos transceptores remotos, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- 10 • proporcionar (101) información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler experimentado por dichos transceptores remotos;
  - asignar (102) subportadoras a cada transceptor remoto en función de dicha información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler; y
  - controlar (103, 104, 105) un nivel de potencia transmitido a cada uno de dichos transceptores remotos en función de dicha información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler.
- 15 2. Un procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la etapa de asignar subportadoras comprende la etapa de separar al menos subportadoras asignadas a un transceptor remoto para el que se experimenta una magnitud relativamente elevada ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler en al menos una subportadora asignada a un transceptor remoto para el que se experimenta una magnitud ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) más baja de efecto Doppler.
- 20 3. Un procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** la etapa de asignar subportadoras comprende las etapas de:
- 25 • asignar subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la más elevada magnitud de efecto Doppler;
  - asignar subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la segunda magnitud de efecto Doppler más elevada; y
  - asignar reiteradamente subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la siguiente magnitud de efecto Doppler más elevada, hasta que hayan sido asignadas todas las subportadoras.
- 30 4. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la etapa de asignar subportadoras comprende la etapa de separar subportadoras para cada transceptor remoto tanto como sea posible.
5. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la etapa de asignar subportadoras comprende la etapa de separar subportadoras para cada transceptor remoto en una medida en que una cantidad de autointerferencia para ese receptor se mantiene por debajo de un límite predefinido.
- 35 6. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la etapa de asignar subportadoras comprende las etapas de:
- 40 • dividir transceptores remotos en un primer grupo de transceptores remotos que experimentan magnitudes relativamente elevadas de efecto Doppler y un segundo grupo de transceptores remotos que experimentan magnitudes relativamente bajas de efecto Doppler; y
  - entrelazar subportadoras asignadas a transceptores remotos de dicho primer grupo con subportadoras
- 45 7. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** la etapa de controlar niveles de potencia comprende las etapas de:
- 50 • estimar (103), a partir de dicha información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler, un nivel de interferencia entre portadoras experimentada por cada transceptor remoto;
  - estimar (104), a partir de dichos niveles estimados de interferencia entre portadoras, una relación señal a ruido para cada transceptor remoto; y
  - actualizar (105) dicho nivel de potencia transmitido a cada transceptor remoto en función de dichas relaciones señal a ruido estimadas.
- 55 8. Un procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado porque** la etapa de actualizar niveles de potencia comprende la etapa de incrementar el nivel de potencia transmitido a transceptores remotos para los que
- 60 9. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** la etapa de proporcionar información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler comprende la etapa de estimar en el transceptor dichas magnitudes a partir de símbolos de datos digitales recibidos desde dichos transceptores remotos.
- 65 10. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** la etapa de proporcionar información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler comprende la etapa de recibir dicha información desde dichos transceptores remotos.

11. Un transceptor para transmitir símbolos de datos digitales a al menos dos transceptores remotos en un sistema de comunicaciones inalámbricas, empleando dicho transceptor multiplexación por división ortogonal en frecuencia, en el que cierto número de subportadoras disponibles son compartidas entre dichos transceptores remotos, el transceptor comprende:

- circuitos (24; 34) para proporcionar información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler experimentado por dichos transceptores remotos;
- una unidad de asignación (120) para asignar subportadoras a cada transceptor remoto en función de dicha información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler; y
- un controlador de potencia (21) para controlar un nivel de potencia transmitido a cada uno de dichos transceptores remotos en función de dicha información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler.

12. Un transceptor según la reivindicación 11, **caracterizado porque** la unidad de asignación (20) se dispone para separar al menos subportadoras asignadas a un transceptor remoto para el que se experimenta una magnitud ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) relativamente elevada de efecto Doppler en al menos una subportadora asignada a un transceptor remoto para el que se experimenta una magnitud ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) más baja de efecto Doppler.

13. Un transceptor según la reivindicación 11 ó 12, **caracterizado porque** la unidad de asignación (20) se dispone para:

- asignar subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la más elevada magnitud de efecto Doppler;
- asignar subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la segunda magnitud de efecto Doppler más elevada; y
- asignar reiteradamente subportadoras al transceptor remoto para el que se experimenta la siguiente magnitud de efecto Doppler más elevada, hasta que hayan sido asignadas todas las subportadoras.

14. Un transceptor según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizado porque** la unidad de asignación (20) se dispone para separar subportadoras para cada transceptor remoto tanto como sea posible.

15. Un transceptor según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizado porque** la unidad de asignación (20) se dispone para separar subportadoras para cada transceptor remoto en una medida en que una cantidad de autointerferencia para ese receptor se mantiene por debajo de un límite predefinido.

16. Un transceptor según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizado porque** la unidad de asignación (20) se dispone para:

- dividir transceptores remotos en un primer grupo de transceptores remotos que experimentan magnitudes relativamente elevadas de efecto Doppler y un segundo grupo de transceptores remotos que experimentan magnitudes relativamente bajas de efecto Doppler; y
- entrelazar subportadoras asignadas a transceptores remotos de dicho primer grupo con subportadoras asignadas a transceptores remotos de dicho segundo grupo.

17. Un transceptor según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, **caracterizado porque** el controlador de potencia (21) se dispone para:

- estimar, a partir de dicha información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler, un nivel de interferencia entre portadoras experimentada por cada transceptor remoto;
- estimar, a partir de dichos niveles estimados de interferencia entre portadoras, una relación señal a ruido para cada transceptor remoto; y
- actualizar dicho nivel de potencia transmitido a cada transceptor remoto en función de dichas relaciones señal a ruido estimadas.

18. Un transceptor según la reivindicación 17, **caracterizado porque** el controlador de potencia (21) se dispone para actualizar niveles de potencia incrementando el nivel de potencia transmitido a transceptores remotos para los que dicha relación señal a ruido estimada está por debajo de un valor de referencia predefinido.

19. Un transceptor según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 18, **caracterizado porque** los circuitos (24) para proporcionar información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler se disponen para estimar dichas magnitudes a partir de símbolos de datos digitales recibidos desde dichos transceptores remotos.

20. Un transceptor según una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 18, **caracterizado porque** los circuitos (34) para proporcionar información acerca de magnitudes ( $f_{D,1}$ ,  $f_{D,2}$ ) de efecto Doppler se disponen para recibir dicha información desde dichos transceptores remotos.

21. Un programa informático que comprende medios de código de programa para realizar las etapas de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 cuando dicho programa informático es ejecutado en un ordenador.

5 22. Un soporte legible por ordenador que lleva almacenados medios de código de programa para realizar el procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 cuando dichos medios de código de programa son ejecutados en un ordenador.

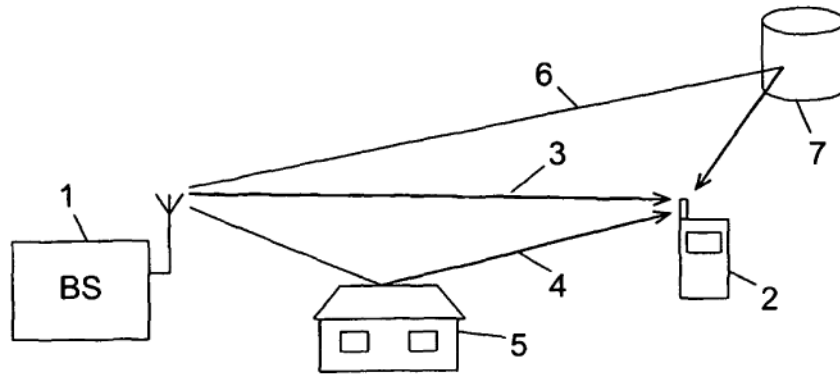


Fig. 1

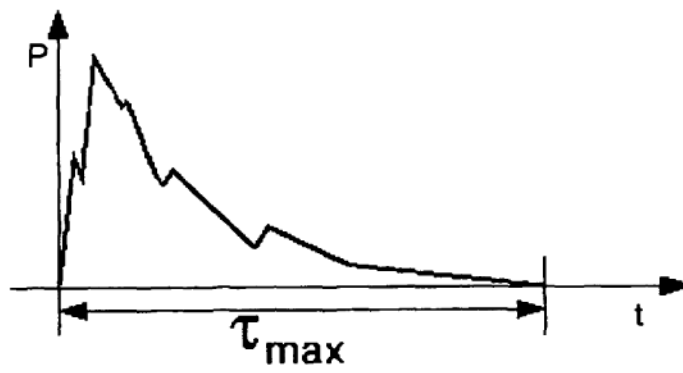


Fig. 2

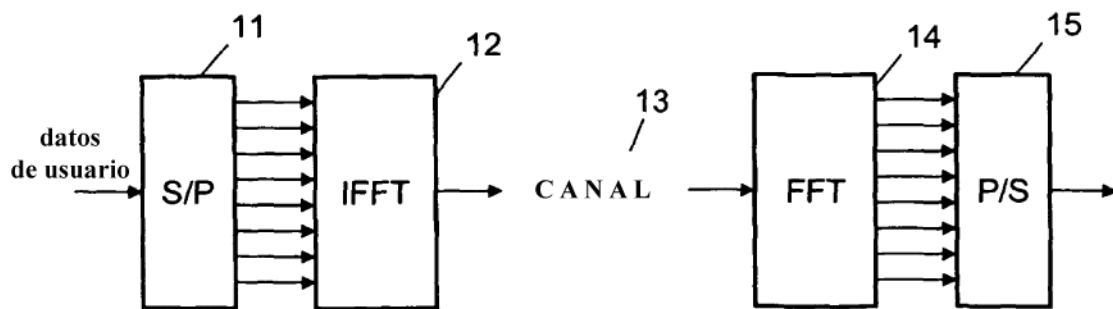


Fig. 3



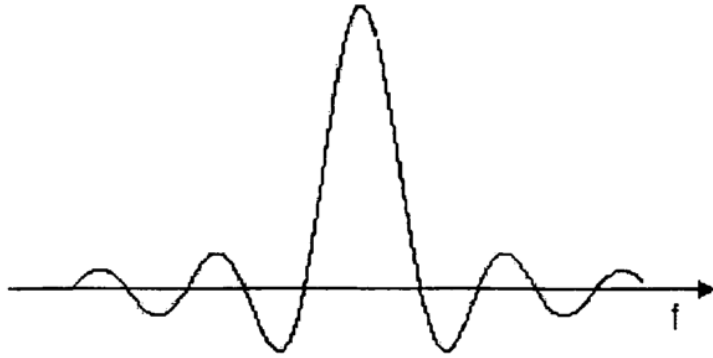


Fig. 4



Fig. 5

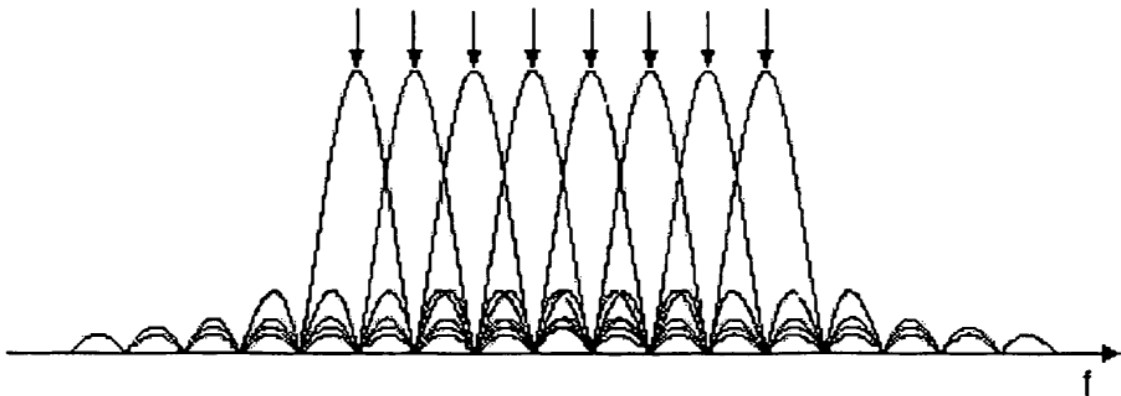


Fig. 6

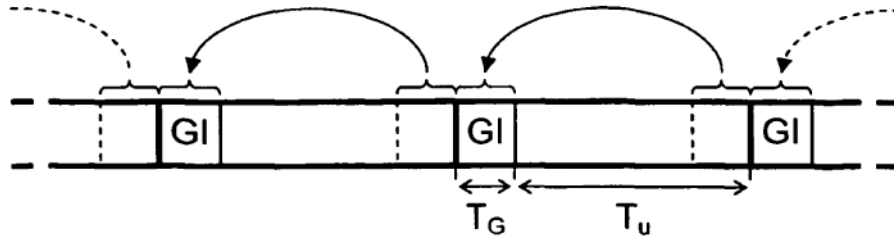


Fig. 7

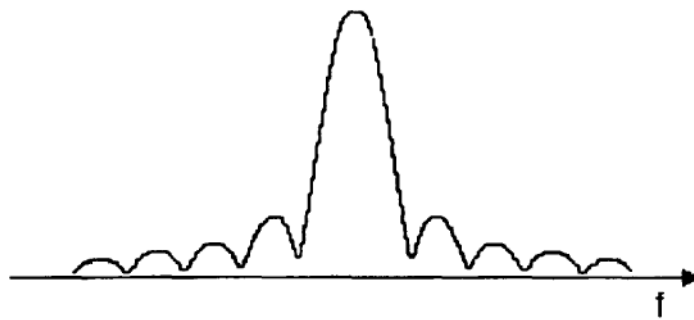


Fig. 8

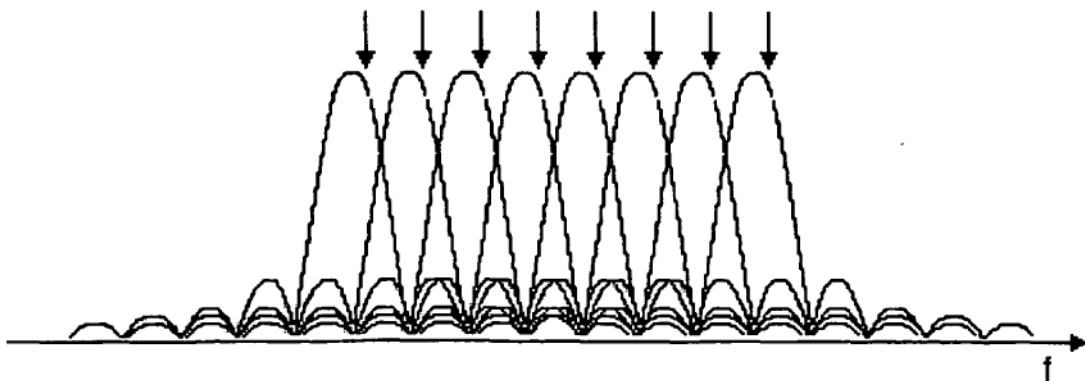


Fig. 9

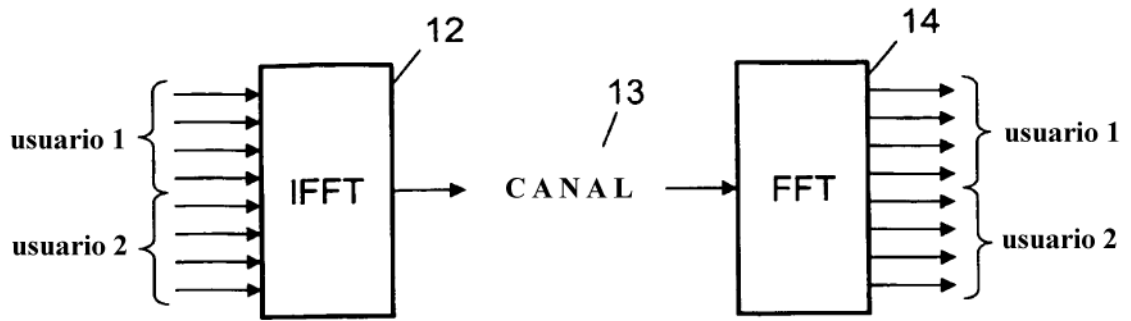


Fig. 10

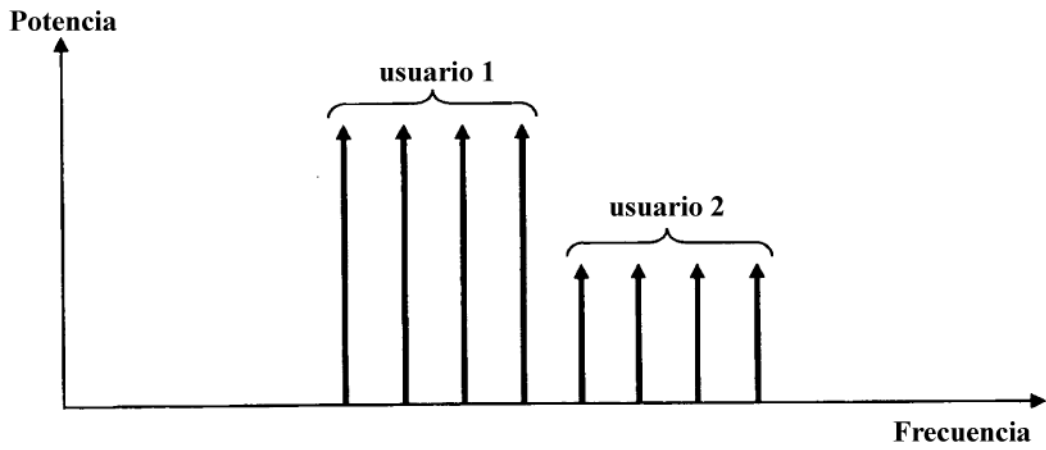


Fig. 11

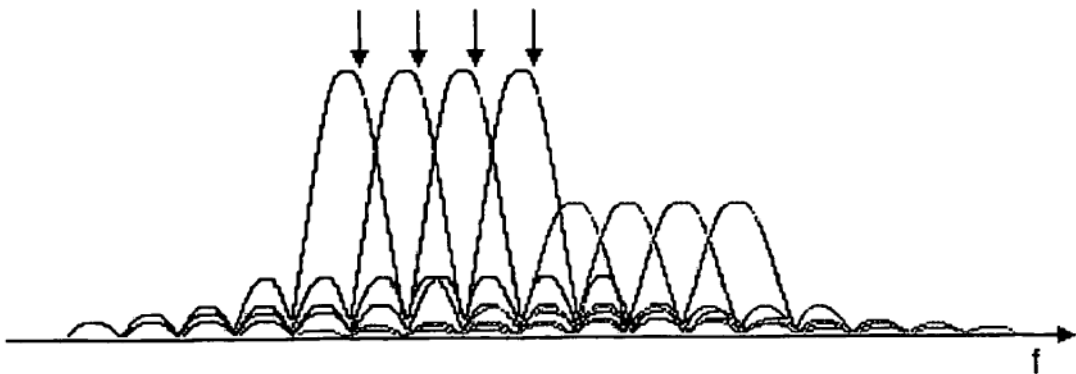


Fig. 12

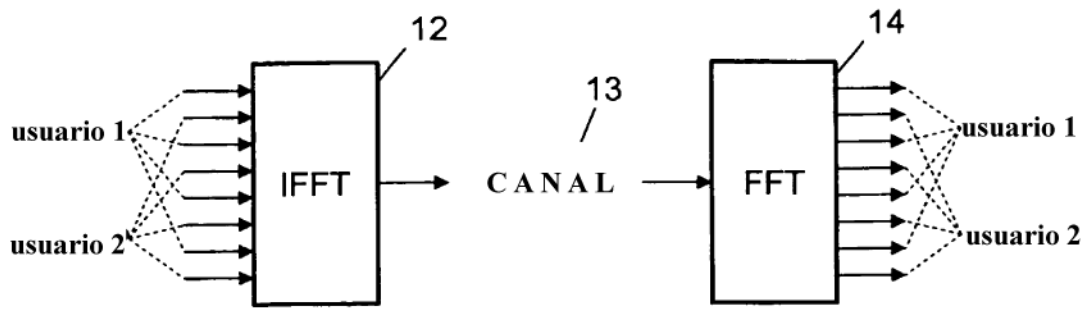


Fig. 13

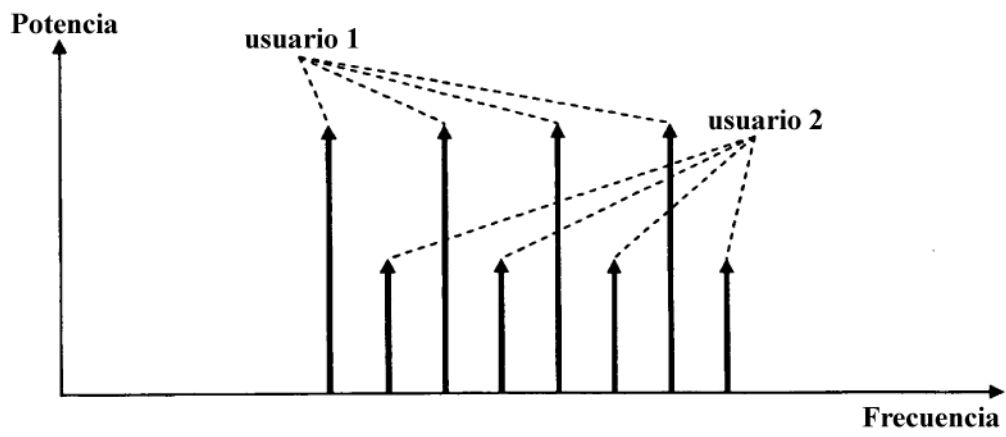


Fig. 14

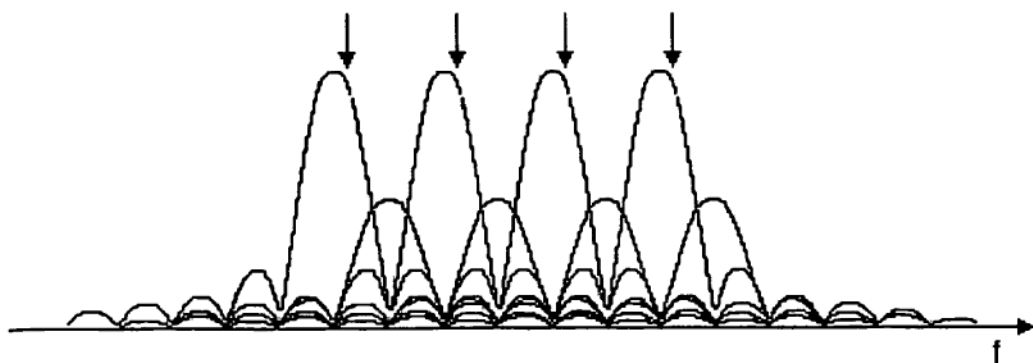


Fig. 15

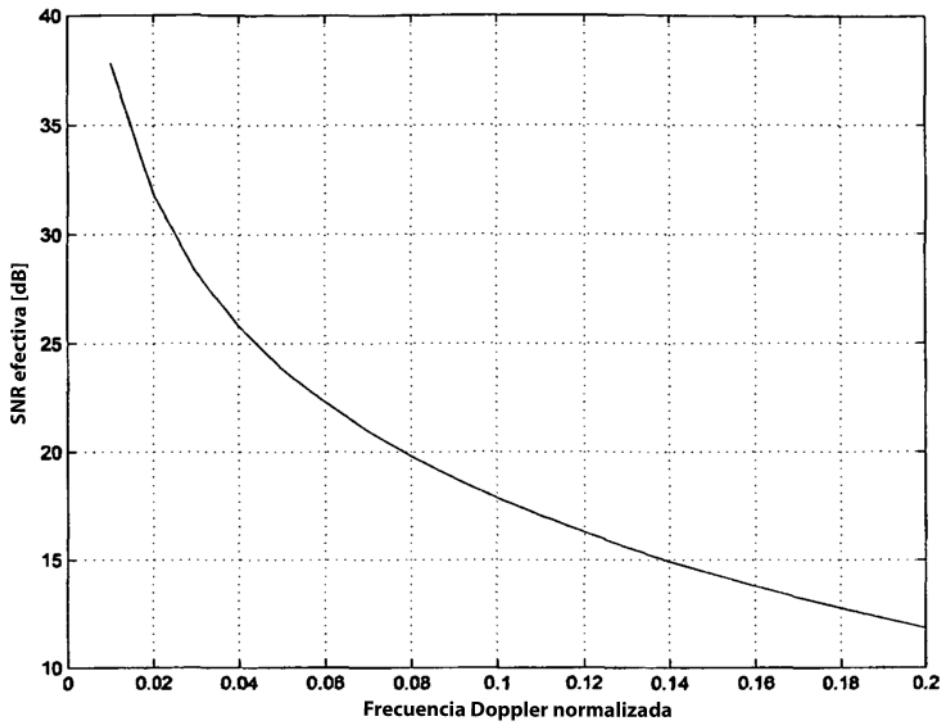


Fig. 16

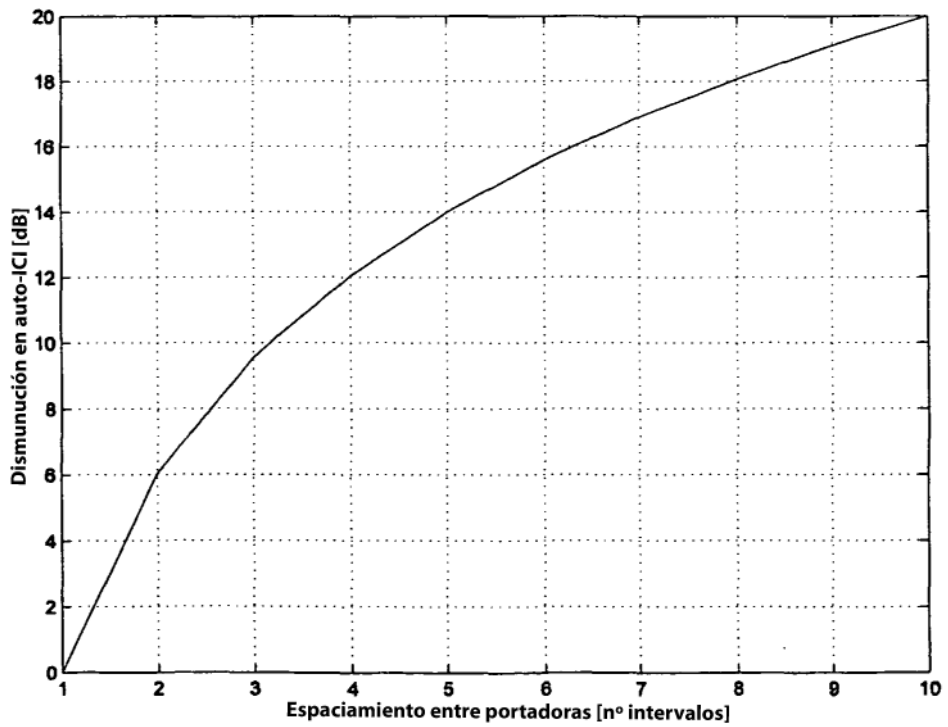


Fig. 17

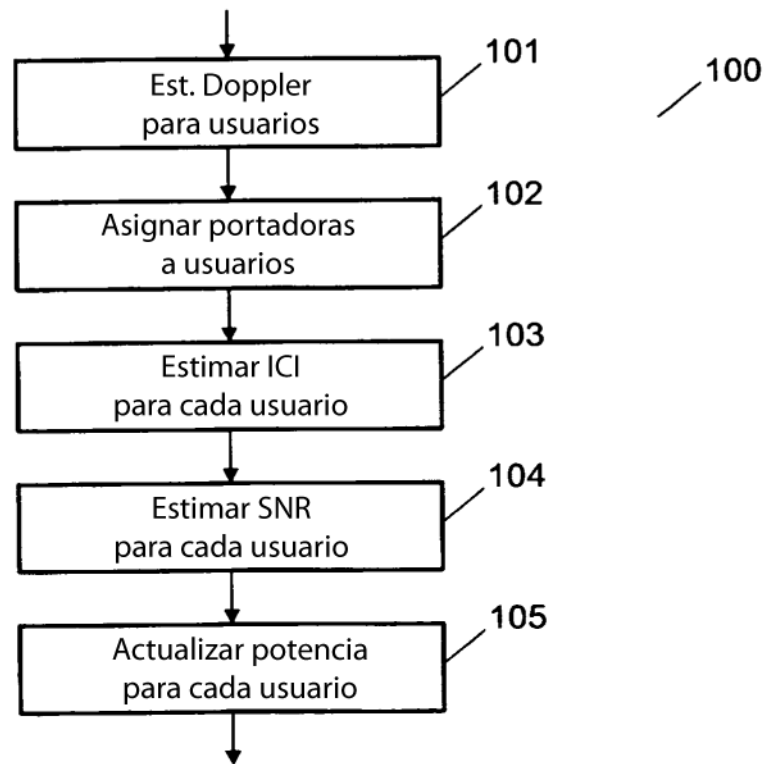


Fig. 18

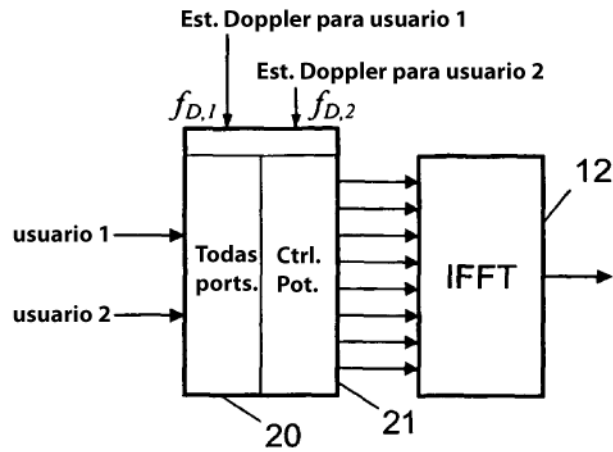


Fig. 19

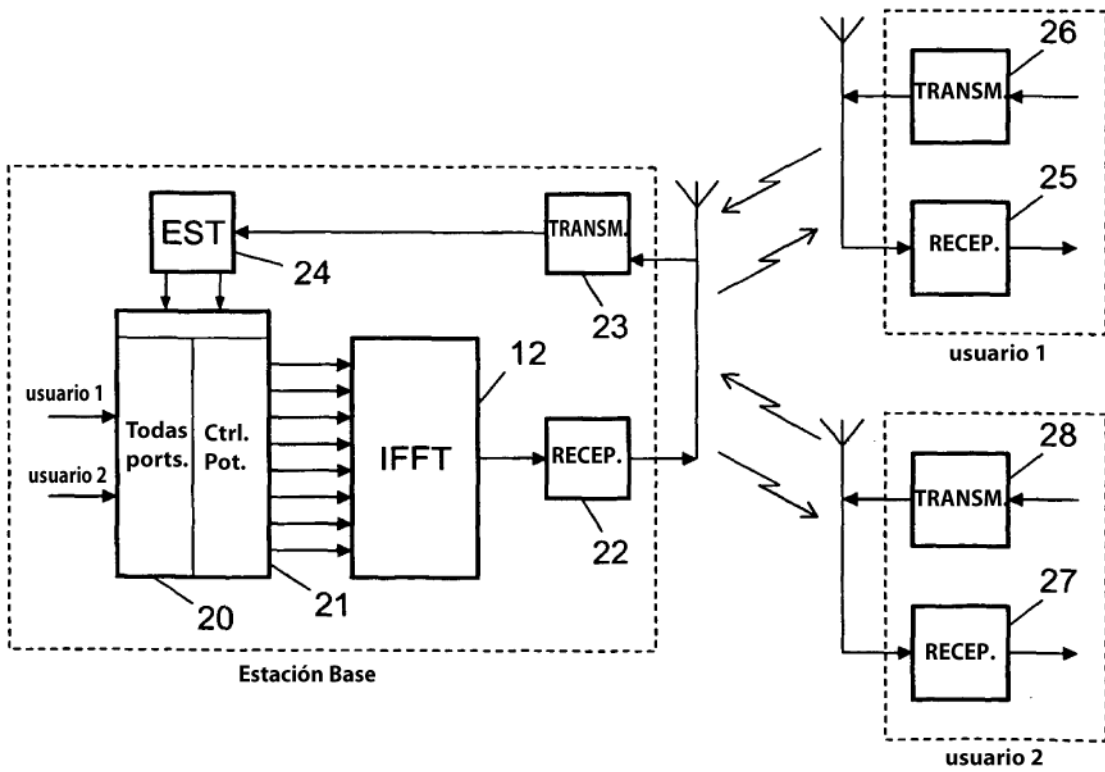


Fig. 20

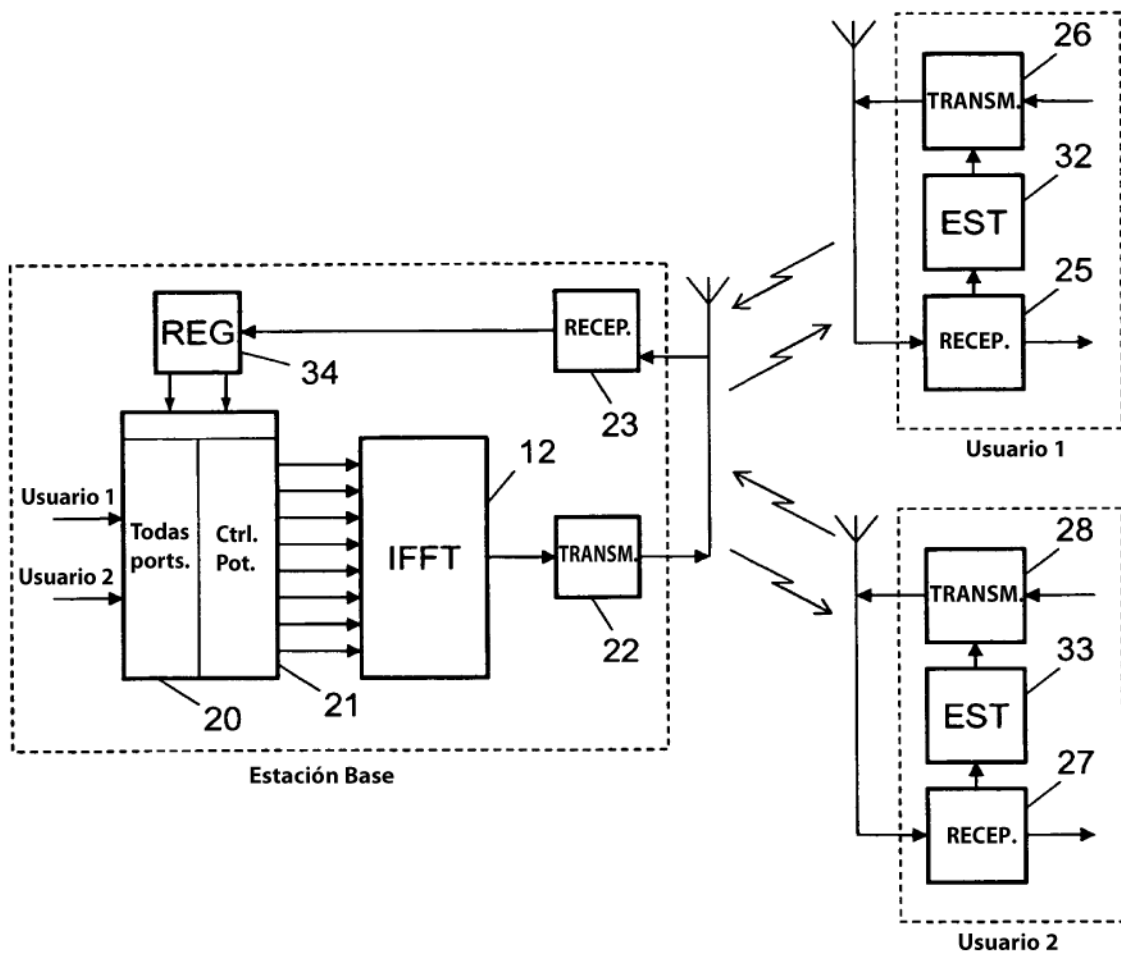


Fig. 21