

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 370 514**

51 Int. Cl.:
H04L 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06725487 .0**
96 Fecha de presentación: **31.03.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1878185**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **16.01.2008**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE CODIFICACIÓN DE UNA SEÑAL MULTIPORTADORA DE TIPO OFDM/OQAM USANDO SÍMBOLOS DE VALORES COMPLEJOS, SEÑALES, DISPOSITIVOS Y PROGRAMAS DE ORDENADOR CORRESPONDIENTES.**

30 Prioridad:
03.05.2005 FR 0504517

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
19.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
19.12.2011

73 Titular/es:
**FRANCE TELECOM
6, PLACE D'ALLERAY
75015 PARIS, FR**

72 Inventor/es:
**JAVAUDIN, Jean-Philippe y
BOUVET, Pierre-Jean**

74 Agente: **Pérez Barquín, Eliana**

ES 2 370 514 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

Procedimiento de codificación de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM usando símbolos de valores complejos, señales, dispositivos y programas de ordenador correspondientes

5

1. Campo de la invención

El campo de la invención es el de la transmisión y de la difusión de información digital. La invención se refiere en particular, aunque no exclusivamente, a la transmisión y la difusión de información digital con gran eficiencia 10 espectral, en una banda de frecuencias limitada, por ejemplo en entorno de radio móvil.

La invención se refiere más concretamente a las técnicas de transmisión y de difusión de información por medio de señales multiportadora de tipo OFDM ("Orthogonal Frequency Division Multiplexing").

15 2. Soluciones de la técnica anterior

A esta fecha son conocidos varios tipos de modulaciones multiportadora de tipo OFDM.

Entre ellas, la técnica de modulación más tradicional incorpora un sistema de ecualización particularmente simple, 20 basado en la inserción de un intervalo de guarda. Este intervalo de guarda, también denominado prefijo cíclico, asegura un buen comportamiento frente a los ecos, a costa de una pérdida de eficiencia espectral.

En efecto, en el transcurso de este intervalo de guarda, no se transmite información útil, en orden a garantizar que toda la información recibida provenga de un mismo símbolo. Se combaten así eficazmente los diferentes fenómenos 25 de ecos debidos a la IES ("Interferencia Entre Símbolos" o, en inglés, ISI) y al efecto Doppler.

La modulación OFDM/OQAM ("Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Offset Quadrature Amplitude Modulation") es una alternativa a esta modulación OFDM tradicional y está concebida para evitar esa pérdida de 30 eficiencia espectral debida a la introducción de un intervalo de guarda.

30

Más concretamente, la modulación OFDM/OQAM no precisa de la presencia de un intervalo de guarda, o de un prefijo cíclico, en virtud de una cuidadosa elección de la función prototipo que modula cada una de las portadoras de la señal, que tiene que ser bien localizada en el espacio tiempo-frecuencia.

35 Se recuerda que, en efecto, el conjunto de las portadoras de una modulación multiportadora forma un múltiplex y que cada una de las portadoras de este múltiplex se conforma con la ayuda de una misma función prototipo, denotada como $g(t)$, que caracteriza la modulación multiportadora. Denotando como v_0 el espaciamiento entre dos portadoras adyacentes del múltiplex y como τ_0 el espaciamiento temporal entre dos símbolos multiportadora emitidos, la señal emitida, en cada instante $n\tau_0$, en la sub-banda m -ésima de frecuencia central v_m , es 40 $a_{m,n} e^{i\varphi_{m,n}} e^{2i\pi v_m t} g(t - n\tau_0)$, donde los $a_{m,n}$ representan los datos digitales que se van a transmitir. La expresión de la señal emitida en banda base (centrada alrededor de la frecuencia Mv_0) es entonces:

$$s(t) = \sum_n \sum_{m=0}^{2M-1} a_{m,n} e^{i\varphi_{m,n}} e^{2i\pi m v_0 t} g(t - n\tau_0) \quad (1)$$

45 Se hace notar que, en el presente caso, se ha contemplado, en interés de la simplificación, el caso de una señal que presenta un número par de sub-bandas de frecuencia. Por supuesto, la señal se puede escribir de manera más general de la forma:

$$s(t) = \sum_n \sum_{m=0}^{M-1} a_{m,n} e^{i\varphi_{m,n}} e^{2i\pi m v_0 t} g(t - n\tau_0) \quad (2)$$

50

Se recuerda que, en efecto, según una técnica tradicional, en los bordes del espectro se introducen datos digitales $a_{m,n}$ de valor nulo, lo cual modifica el número de términos que efectivamente intervienen en la anterior suma y permite, por ejemplo, reducir a un número par de portadoras.

Las funciones $g_{m,n}(t) = e^{i\varphi_{m,n}} e^{2i\pi m v_0 t} g(t - n\tau_0)$ se denominan las trasladadas «tiempo-frecuencia» de $g(t)$. Para 55 recuperar la información transmitida por cada una de las portadoras, hay que elegir $g(t)$ y las fases $\varphi_{m,n}$ de modo que las anteriores trasladadas «tiempo-frecuencia» sean separables. Una condición suficiente para comprobar esta propiedad de separabilidad es que estas trasladadas sean ortogonales, en el sentido de un producto escalar definido sobre el conjunto de las funciones de energía finita (que es un espacio de Hilbert en sentido matemático).

El espacio de las funciones de energía finita admite los dos productos escalares que siguen:

- el producto escalar complejo

$$\langle x|y \rangle = \int_{\mathbb{R}} x(t)y^*(t)dt$$

5

- el producto escalar real

$$\langle x|y \rangle_{\mathbb{R}} = \Re \int_{\mathbb{R}} x(t)y^*(t)dt$$

10 Se definen así dos tipos de modulación multiportadora:

- una modulación multiportadora de tipo complejo, para la cual la función $g(t)$ elegida garantiza una ortogonalidad en el sentido complejo de sus trasladadas. Tal es el caso, por ejemplo, de la modulación OFDM tradicional, también llamada OFDM/QAM (en inglés "Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Quadrature

15 Amplitude Modulation"). Para una modulación de este tipo, $\varphi_{m,n} = 0$ y los datos $a_{m,n}$ son complejos.

- una modulación multiportadora de tipo real, para la cual la función $g(t)$ elegida garantiza una ortogonalidad en el sentido real de sus trasladadas. Tal es el caso, por ejemplo, de las modulaciones OFDM/OQAM. Para tal tipo de modulación, $\varphi_{m,n} = (\pi/2)^*(m+n)$ y los datos $a_{m,n}$ son reales.

20

Así, una señal OFDM/OQAM transmitida puede escribirse:

$$s(t) = \sum_n \sum_{m=0}^{M-1} a_{m,n} \underbrace{i^{m+n} e^{2i\pi m \nu_0 t}}_{g_{m,n}(t)} g(t - n\tau_0) \quad (3)$$

25 donde $a_{m,n}$ es el símbolo real enviado sobre la subportadora m -ésima en el tiempo de símbolo n -ésimo, M es el número de portadoras, ν_0 es el espaciado entre portadoras, τ_0 representa la duración de un símbolo OFDM/OQAM y g es la función prototipo.

30 Esta función prototipo g que modula cada portadora en OFDM/OQAM tiene que estar bien localizada en el dominio del tiempo para limitar la interferencia entre símbolos. Además, se tiene que elegir ésta muy bien localizada en el dominio de la frecuencia, para limitar la interferencia entre portadoras (debida al efecto Doppler, al ruido de fase...). Esta función también tiene que garantizar la ortogonalidad entre subportadoras.

35 Existen las funciones matemáticas que presentan estas características, pero las mejor localizadas de entre ellas únicamente aseguran la ortogonalidad sobre valores reales. Por este motivo, los símbolos transmitidos mediante modulación OFDM/OQAM tienen que hallarse en valores reales, para ser recuperados sin interferencias en recepción.

40 La ortogonalidad entre las trasladadas tiempo-frecuencia de la función prototipo queda garantizada si:

$$\Re \left(\int_{\mathbb{R}} g_{m,n}(t) \cdot g_{m',n'}^*(t) dt \right) = \delta_{m,m'} \delta_{n,n'} \quad (4)$$

Una de las funciones prototipo que verifican estas condiciones es la función prototipo IOTA, descrita por ejemplo en el documento de patente n.º FR2733869, que tiene la característica de ser idéntica a su transformada de Fourier.

La figura 1 presenta una representación tiempo-frecuencia de los símbolos con valores reales transmitidos mediante modulación OFDM/OQAM y de los símbolos con valores complejos transmitidos mediante modulación OFDM tradicional, sin intervalo de guarda.

45

En esta figura, los triángulos representan los símbolos OFDM/QAM con valores complejos. Por su parte, los círculos y las estrellas representan símbolos OFDM/OQAM con valores reales. Por ejemplo, los círculos corresponden a la parte real y las estrellas a la parte imaginaria de un símbolo complejo procedente de una constelación QAM que se desea transmitir utilizando una modulación OFDM/OQAM.

50

En efecto, para una modulación OFDM tradicional de tipo complejo, las partes real e imaginaria de un complejo

procedente de la constelación QAM son transmitidas simultáneamente, cada tiempo de símbolo T_u ; en cambio, en el caso de una modulación OFDM/Offset QAM de tipo real, las partes real e imaginaria son transmitidas con una diferencia temporal de un semi-tiempo de símbolo ($T_u/2$).

5 Se comprueba en esta figura 1 que la eficiencia espectral de la OFDM/OQAM es idéntica a aquella de la OFDM tradicional sin intervalo de guarda. Efectivamente, para un mismo espaciado entre portadoras ν_0 , se transmite:

- en OFDM/OQAM, un valor real por portadora cada intervalo de tiempo τ_0
- en OFDM tradicional sin intervalo de guarda, un valor complejo (es decir, dos valores reales) cada $2^*\tau_0=\tau_u$.

10

La cantidad de información transmitida mediante estas dos modulaciones es, pues, idéntica. Sin embargo, la necesidad de introducir un intervalo de guarda de duración T_g en OFDM tradicional tiene el efecto de reducir la eficiencia espectral de la OFDM tradicional respecto a la OFDM/OQAM, que resulta ser $(T_g+2\tau_0)/2\tau_0$ más eficiente.

15 En la solicitud de patente WO02/25884, se describe en particular una técnica de construcción de una señal multiportadora de pilotos distribuidos de tipo OFDM/OQAM, que permite limitar la interferencia entre símbolos al imponer una o varias condiciones al valor de uno o varios elementos de datos informativos que se desea transmitir.

Asimismo, se ha propuesto, en la solicitud de patente US2003/0063680, una técnica de modulación OFDM/OQAM
20 que permite la transmisión de símbolos con valores reales, combinada con una técnica de equalización de decisión realimentada por sub-banda.

Por otro lado, Hartmann y col. han propuesto, en el documento «Theory and design of multipulse multicarrier systems for wireless communications» (IEEE, vol. 1 de 2, conf. 37, 9 de noviembre de 2003), una técnica de
25 modulación multiportadora «multipulse» (MPMC), según la cual se transmiten simultáneamente varios impulsos, correspondientes cada uno de ellos a una función prototipo $g^{(r)}(t)$, $r=1, R$. De acuerdo con este documento, una señal OFDM/OQAM puede ser considerada como procedente de una modulación MPMC, con R igual a 4.

3. Inconvenientes de la técnica anterior

30

Un inconveniente de estas técnicas de la técnica anterior, ya se trate de la modulación OFDM tradicional con intervalo de guarda o de la modulación OFDM/OQAM, es que, para aumentar su eficiencia espectral, es necesario utilizar modulaciones QAM cuyas constelaciones poseen un gran número de estados. Ahora bien, tales modulaciones QAM con gran número de estados son muy sensibles al ruido y a los errores de estimación del canal
35 de propagación.

En efecto, como se indica anteriormente, la eficiencia espectral de la modulación OFDM tradicional queda limitada por la necesidad de introducir un intervalo de guarda destinado a reducir la interferencia entre símbolos, en cuyo transcurso no se puede transmitir ninguna información útil. Si bien mediante esta modulación OFDM se pueden
40 transmitir símbolos complejos, no es menos cierto que el tiempo de símbolo asociado es dos veces más largo que para una modulación OFDM/OQAM.

La modulación OFDM/OQAM, tal y como está descrita en la solicitud de patente WO02/25884, en la solicitud de patente US2003/0063680, así como en el documento «*Theory and design of multipulse multicarrier systems for*
45 *wireless communications*» precitado en particular, aun con eficiencia espectral más elevada que la modulación OFDM tradicional, queda limitada, por su parte, por la condición de ortogonalidad de las portadoras en el dominio real, lo cual obliga a elegir filtros de modulación de los símbolos que estén bien localizados en el espacio tiempo-frecuencia y, por tanto, no permite transmitir más que símbolos con valores reales.

50 Así, al ser de valores reales los datos transmitidos, solo el subcanal real es portador de información «útil». Por lo tanto, el número de símbolos enviados en un canal de transmisión que pone en práctica tal modulación OFDM/OQAM no está optimizado.

En el lado de recepción, el tratamiento del subcanal imaginario tiene entonces la única finalidad de analizar las
55 interferencias.

4. Objetivos de la invención

60

La invención tiene como objetivo principal subsanar estos inconvenientes de la técnica anterior.

Más concretamente, es un objetivo de la invención proporcionar una técnica de codificación de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM que permita mejorar las prestaciones de un enlace radio que utiliza una señal de este tipo.

65 Así, un primer objetivo de la invención está en proponer una técnica de este tipo que permita mejorar la velocidad de

transmisión de información transmitida mediante una modulación de este tipo, con relación a las modulaciones OFDM/OQAM de la técnica anterior o a las modulaciones OFDM tradicionales con intervalo de guarda. En particular, la invención tiene como objetivo duplicar, o como mínimo aumentar de manera significativa, el número de símbolos enviados en un canal de transmisión que pone en práctica una modulación de este tipo.

5

Un segundo objetivo de la invención está en proponer una técnica de este tipo que permita mejorar la tasa de error de bit asociada a las modulaciones OFDM/OQAM con relación a las técnicas de modulación OFDM/QAM u OFDM/OQAM de la técnica anterior. En particular, la invención tiene como objetivo proponer una técnica de este tipo que presenta una importante eficiencia espectral, incluso utilizando constelaciones de modulación QAM que presentan un reducido número de estados.

10

La invención tiene todavía como objetivo proporcionar una técnica de este tipo que haga el mejor uso de la diversidad del canal de transmisión que pone en práctica una modulación OFDM/OQAM de este tipo.

15 La invención también tiene como objetivo proponer una técnica de este tipo que esté especialmente bien adaptada a las transmisiones de tipo multiantenas (o MIMO).

Es otro objetivo de la invención proporcionar una técnica de codificación de este tipo de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM que permita una recepción de buena calidad de la señal, incluso en presencia de interferencia intrínseca entre los símbolos o entre las portadoras.

20

5. Explicación de la invención

Estos, así como otros objetivos que en adelante se pondrán de manifiesto, se logran con la ayuda de un procedimiento de codificación de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM formada por una sucesión temporal de símbolos constituidos mediante un conjunto de elementos de datos, modulando cada uno de dichos elementos de datos una frecuencia portadora de dicha señal.

25

Según la invención, cada uno de dichos elementos de datos se forma mediante suma de dos valores reales en cuadratura correspondientes cada uno de ellos a una palabra binaria de una señal fuente, modulada según una constelación de modulación predeterminada, de manera que se transmite información en un subcanal real y en un subcanal imaginario de dichos símbolos OFDM/OQAM.

30

Así, la invención se fundamenta en un planteamiento totalmente novedoso e inventivo de la modulación multiportadora de tipo OFDM/OQAM. En efecto, mientras que las técnicas de la técnica anterior imponían todas ellas que los símbolos transmitidos en una señal OFDM/OQAM fueran de valores reales, con el fin de garantizar la ortogonalidad entre las portadoras en el dominio real, la técnica de la invención consiste en transmitir símbolos con valores complejos en OFDM/OQAM. Así, con referencia a la figura 1, la técnica de la invención permite transmitir en OFDM/OQAM un valor complejo cada τ_0 , lo cual incrementa considerablemente la eficiencia espectral de la modulación con relación a las modulaciones OFDM tradicionales, con o sin intervalo de guarda, y a las modulaciones OFDM/OQAM de la técnica anterior.

35

40

Se hace notar que, por símbolos con valores reales, se entiende en el presente caso y en este documento en su conjunto, símbolos que transportan información en una sola dimensión, por oposición a los símbolos con valores complejos de la señal OFDM/OQAM de la presente invención, que utiliza dos subcanales en cuadratura. La dimensión única de los símbolos con valores reales de la técnica anterior corresponde al subcanal llamado real de la señal OFDM/OQAM de la invención.

45

La técnica de la invención se opone a los prejuicios del Experto en la materia, quien siempre ha considerado que tal transmisión de símbolos con valores complejos en OFDM/OQAM no era posible, a causa de la interferencia intrínseca generada entre las partes real e imaginaria de los símbolos que de este modo se enviaran, incluso en ausencia de canal de transmisión.

50

Sin embargo, los inventores de la presente técnica de codificación han elegido aceptar tal aumento de las interferencias entre símbolos, relacionado con la transmisión de datos sobre las partes imaginarias de los símbolos OFDM/OQAM, con el fin de aumentar también el número de símbolos transmitidos.

55

Así, la técnica de codificación OFDM/OQAM de la invención permite mejorar el régimen de transmisión con relación a las anteriores modulaciones OFDM/OQAM, duplicando el número de símbolos enviados en el canal de transmisión (sin embargo, la velocidad de transmisión efectiva transmitida no es duplicada, a causa del aumento de la tasa de error de bit relacionado con la aparición de interferencia intrínseca entre símbolos).

60

La técnica de codificación de la invención también puede permitir, a un idéntico régimen de transmisión al de las anteriores modulaciones OFDM/OQAM, mejorar la tasa de error de bit utilizando una relación de codificación menor y aprovechando mejor la diversidad del canal.

65

Ventajosamente, dicha suma es una suma ponderada, de forma tal que uno de dichos subcanales presente un nivel de potencia más elevado. Se puede ajustar así la potencia de las fuentes, por ejemplo de forma que se tome en cuenta una diferencia de calidad de los canales de transmisión asociados a dos usuarios que reciben uno el subcanal real y el otro, el subcanal imaginario.

En una primera variante de puesta en práctica de la invención, dichas señales fuente son correlacionadas. Se puede incrementar así la calidad de recepción de la información útil que éstas transportan.

10 Por ejemplo, una de dichas señales fuente transporta información de redundancia relacionada con la información transportada por la otra señal fuente.

Se puede contemplar asimismo que dichas señales fuente sean idénticas, pero sufran una codificación de canal y/o un entrelazado diferente en cada uno de dichos subcanales.

15 En una segunda variante de puesta en práctica de la invención, dichas señales fuente son señales independientes entre sí.

Se puede transmitir así, mediante la misma señal OFDM/OQAM, diferente información útil, destinada por ejemplo a dos usuarios distintos.

Según una característica ventajosa de la invención, la información transmitida en cada uno de dichos subcanales comprende, por una parte, información fuente y, por otra parte, información de redundancia calculada a partir de dicha información fuente. Una codificación de canal de este tipo permite, efectivamente, incrementar la robustez y mejorar la calidad de recuperación de la información fuente en recepción.

En una forma de realización ventajosa de la invención, dichos elementos de datos se conforman mediante la función prototipo IOTA, que presenta la particularidad de ser idéntica a su transformada de Fourier y está especialmente bien localizada en el espacio tiempo-frecuencia. Cualquier otra función prototipo puede ser utilizada asimismo dentro del ámbito de la invención.

Con preferencia, se asigna un nivel de protección diferente a la información transmitida en cada uno de dichos subcanales.

En particular, este nivel de protección puede depender de una codificación de canal y/o de un orden de dicha constelación de modulación predeterminedada. Así, se pueden aplicar, por ejemplo, dos códigos correctores de errores distintos en cada uno de los subcanales, que difieren en términos de tasa y/o de estructura (por ejemplo, se utiliza un código convolucional en un subcanal y un turbo-código en el otro subcanal).

La invención también se refiere a una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM formada por una sucesión temporal de símbolos constituidos mediante un conjunto de elementos de datos, modulando cada uno de dichos elementos de datos una frecuencia portadora de dicha señal. Cada uno de dichos elementos de datos se forma mediante suma de dos valores reales en cuadratura correspondientes cada uno de ellos a una palabra binaria de una señal fuente, modulada según una constelación de modulación predeterminedada, de manera que se transmite información en un subcanal real y en un subcanal imaginario de dichos símbolos OFDM/OQAM.

La invención se refiere asimismo a un dispositivo de codificación de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM formada por una sucesión temporal de símbolos constituidos mediante un conjunto de elementos de datos, modulando cada uno de dichos elementos de datos una frecuencia portadora de dicha señal. Un dispositivo de codificación de este tipo comprende medios de formación de cada uno de dichos elementos de datos mediante suma de dos valores reales en cuadratura correspondientes cada uno de ellos a una palabra binaria de una señal fuente modulada según una constelación de modulación predeterminedada, de manera que se transmite información en un subcanal real y en un subcanal imaginario de dichos símbolos OFDM/OQAM.

La invención aún se refiere a un procedimiento de decodificación de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM recibida, tal como se revela en la reivindicación 11.

La invención también se refiere a un producto de programa de ordenador descargable desde una red de comunicaciones y/o almacenado en un soporte legible por ordenador y/o ejecutable por un microprocesador, que comprende instrucciones de código de programa para la puesta en práctica del procedimiento de codificación de una señal multiportadora tal como se ha descrito anteriormente.

Todavía, ésta se refiere a un producto de programa de ordenador descargable desde una red de comunicaciones y/o almacenado en un soporte legible por ordenador y/o ejecutable por un microprocesador, que comprende instrucciones de código de programa para la puesta en práctica de las etapas del procedimiento de decodificación de una señal multiportadora tal como se ha descrito anteriormente.

La invención se refiere finalmente a un dispositivo de decodificación de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM recibida, tal como se revela en la reivindicación 14.

6. Lista de figuras

- 5 Otras características y ventajas de la invención se pondrán más claramente de manifiesto con la lectura de la descripción que sigue de una forma de realización preferente, dada a título de mero ejemplo ilustrativo y no limitativo, y de los dibujos que se adjuntan, en los que:
- 10 la figura 1 ya comentada en relación con la técnica anterior, es una representación tiempo-frecuencia de los símbolos con valores complejos transmitidos según una modulación OFDM tradicional y de los símbolos con valores reales transmitidos según una modulación OFDM/OQAM de la técnica anterior;
- la figura 2 ilustra un diagrama de la cadena de emisión de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM de la
15 técnica anterior;
- la figura 3 presenta un diagrama de la cadena de emisión de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM según la invención;
- 20 la figura 4 presenta un ejemplo de puesta en práctica de la invención en el contexto de un turbo-código de relación 1/3;
- las figuras 5 y 6 presentan respectivamente sendos esquemas simplificados de la estructura de dispositivos de codificación y de decodificación de la invención;
- 25 la figura 7 ilustra las prestaciones de la técnica de codificación de la invención con relación a la técnica anterior.

7. Descripción de una forma de realización de la invención

- 30 El principio general de la invención consiste en añadir a los símbolos reales transmitidos en OFDM/OQAM información suplementaria sobre su parte imaginaria para hacer de ellos símbolos complejos. Contrariamente a los prejuicios del Experto en la materia, quien siempre ha considerado que la transmisión de símbolos con valores complejos en OFDM/OQAM no era posible, a causa de la interferencia intrínseca entre símbolos que entonces se generaría en transmisión, la invención consiste, por tanto, en transmitir información tanto en el subcanal real como
35 en el subcanal imaginario de símbolos OFDM/OQAM.

En el contexto de una modulación OFDM/OQAM de símbolos con valores complejos, la parte imaginaria de la proyección de la señal recibida sobre la base de las trasladadas de la función prototipo no es nula. Aparece, por tanto, un término imaginario perturbador, que pasa a añadirse a la señal real desmodulada y que hay que corregir
40 antes de proceder a la estimación del canal.

La proyección compleja de la señal, incluso perfectamente transmitida, queda, en efecto, viciada por una IES (interferencia entre símbolos) intrínseca, relacionada con la utilización, en transmisión, de símbolos con valores complejos. Por IES se entiende una interferencia entre símbolos temporales y/o entre portadoras.
45

Dejando a un lado esta interferencia intrínseca perturbadora, la técnica de codificación de la invención reside en la transmisión de información útil sobre la parte imaginaria de símbolos OFDM/OQAM, que son, por tanto, de valores complejos.

- 50 Se presenta, en relación con las figuras 2 y 3, una forma de realización de tal técnica de codificación de la invención, en forma de una comparación de las cadenas de emisión de señales OFDM/OQAM de la técnica anterior y de la invención.

En adelante, a lo largo de este documento, se describe una forma particular de realización de la invención en la que
55 la función prototipo utilizada para conformar los símbolos OFDM/OQAM es la función IOTA. Por supuesto, también se puede utilizar cualquier otra función prototipo OFDM/OQAM.

La figura 2 presenta un diagrama de una cadena de codificación y de emisión de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM de símbolos con valores reales de la técnica anterior.
60

Considérese una fuente de información útil 20 que se va a transmitir en forma de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM. Esta información útil son elementos binarios, organizados en forma de palabras, que alimentan a un modulador QAM (modulación de amplitud en cuadratura) real 21. Se obtiene así, a la salida del modulador 21, una sucesión de símbolos de una constelación de tipo QPSK, 16-QAM, 64-QAM, etc., también denominada señal M-aria.

Una conversión serie-paralelo 22 de la señal M-aria permite obtener N flujos de símbolos con valores reales 23, que presentan cada uno de ellos una velocidad de transmisión de $1/\tau_0$ símbolos por segundo. Mediante transformación rápida inversa de Fourier IFFT 24 y filtrado polifase 25 (en el presente caso, partiendo de la función prototipo IOTA), se obtienen en paralelo N símbolos OFDM/OQAM 26, con una velocidad de transmisión de $1/\tau_0$ símbolos por segundo.

Previa conversión paralelo/serie 27, se puede emitir la señal multiportadora 28 constituida mediante símbolos OFDM/OQAM con valores reales por una o varias antenas (que no se han representado).

10 Como se ha indicado anteriormente, la técnica de codificación de la invención consiste en agregar a los símbolos reales 26 transmitidos en OFDM/OQAM información suplementaria sobre su parte imaginaria, para hacer de ellos símbolos complejos. La información transportada sobre esta parte imaginaria puede ser bien información independiente de la transportada sobre la parte real, o bien la misma información, o incluso redundancia relacionada con la información transportada sobre la parte real.

15 La figura 3 ilustra las modificaciones que se han de introducir en la cadena de emisión de la figura 2 para realizar este nuevo tipo de modulación OFDM/OQAM.

Se consideran en adelante dos fuentes de información útil 30_1 y 30_2 , que pueden ser independientes o no entre sí.

20 Así, estas dos fuentes 30_1 y 30_2 pueden entregar las mismas palabras binarias. Pueden asimismo ser totalmente no correlacionadas entre sí, de modo que no exista relación alguna entre las palabras binarias procedentes de cada una de estas dos fuentes 30_1 y 30_2 . Finalmente, las palabras binarias procedentes de una de estas dos fuentes pueden corresponder a información de redundancia de la otra fuente.

25 Al igual que en la figura 2, las palabras binarias procedentes de cada una de las dos fuentes 30_1 y 30_2 pasan por una modulación QAM real 31_1 y 31_2 , de manera que son transformadas en símbolos con valores reales de una constelación de tipo QPSK, 16-QAM, etc.

Las señales M-aria procedentes de cada uno de los dos moduladores 31_1 y 31_2 son ponderadas entonces, respectivamente por un coeficiente real λ_1 y por un coeficiente complejo $i\lambda_1$ (donde λ_1 y λ_1 son escalares) y seguidamente sumadas 32, con el fin de formar una sucesión de símbolos OQAM con valores complejos, que presentan una velocidad de transmisión de N/τ_0 símbolos por segundo.

Al igual que en la figura 2, se procede entonces a una conversión serie-paralelo 22 que permite obtener N flujos de símbolos OQAM con valores complejos 23, que presentan cada uno de ellos una velocidad de transmisión de $1/\tau_0$ símbolos por segundo. Estos N flujos 23 pasan entonces por una transformada rápida inversa de Fourier o IFFT 24 y seguidamente se conforman por filtrado polifase IOTA 25, de manera que se generan símbolos OFDM/OQAM 26, con una velocidad de transmisión de $1/\tau_0$ símbolos por segundo. Previa conversión paralelo-serie 27, se obtiene entonces la señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM de símbolos con valores complejos 38 de la invención.

40 Atendiendo a la ecuación (3), la invención consiste, pues, en transmitir símbolos $a_{m,n}$ con valores complejos y en modularlos con las funciones prototipo de la OFDM/OQAM.

Tal como se ilustra mediante la figura 3, las potencias de las fuentes 30_1 y 30_2 se pueden ajustar manejando el valor de los coeficientes escalares reales λ_i . Por ejemplo, se puede elegir emitir el subcanal real de los símbolos OFDM/OQAM con una potencia más elevada que el subcanal imaginario, y entonces se elige $\lambda_1 > \lambda_2$. El subcanal llamado real corresponde en el presente caso a los símbolos reales desfasados representados en forma de círculos y de estrellas en la figura 1.

50 Por otro lado, se hace notar que, en la cadena de emisión de la figura 2 al igual que en aquella de la figura 3, las fuentes 20, 30_1 y 30_2 pueden ser datos codificados por un codificador de canal (no representado) destinado a introducir redundancia en la señal que se va a emitir. Estos datos también pueden sufrir un entrelazado II.

En la forma de realización de la figura 3, en caso de ser idénticas las fuentes 30_1 y 30_2 , preferentemente se les hace pasar por una codificación de canal y/o un entrelazado diferentes, de manera que se evita emitir exactamente los mismos datos en los dos subcanales real e imaginario de la señal.

La invención encuentra aplicaciones en el contexto de las transmisiones multiantena. Así, cuando se tiene que enviar la señal OFDM/OQAM de símbolos con valores complejos 38 mediante un transmisor que comprende varias antenas, las partes reales e imaginarias de los símbolos OFDM/OQAM se pueden transmitir por separado por dos conjuntos de antenas distintos. De esta forma, se promedia la interferencia entre los símbolos de manera que se mejoran las prestaciones de una transmisión MIMO-OFDM ("Multiple Input Multiple Output", por "múltiples entradas y múltiples salidas").

65 Igualmente, cuando el transmisor comprende varias antenas, se puede poner asimismo en práctica la técnica de

codificación STBC (por "Space-Time Block Codes", "códigos en bloques espacio-tiempo") (tal como se utiliza en OFDM tradicional) dentro del ámbito de la invención.

Como se indica anteriormente, los datos procedentes de las dos fuentes 30₁ y 30₂ pueden ser bien independientes, o bien correlados. A continuación se describe, en relación con la figura 4, un ejemplo más particular de realización de la invención en el caso en que estas dos fuentes son correlacionadas.

La figura 4 ilustra un turbo-codificador 40 de relación 1/3, que recibe como entrada una sucesión de símbolos X_i y entrega en cada una de sus tres salidas unas secuencias X_i, Y_{1,i} e Y_{2,i} calculadas a partir de la secuencia X_i de entrada.

Se elige, por ejemplo, transmitir las tres salidas del codificador 40 en las dos fuentes 30₁ y 30₂ de la figura 3, construyendo las siguientes secuencias:

- 15 • se transmite, por ejemplo, en la primera fuente referenciada con 30₁, la secuencia [X_i Y_{1,i} X_{i+1} Y_{2,i+1} X_{i+2} Y_{1,i+2} X_{i+3}...];
- se transmite, por ejemplo, en la segunda fuente referenciada con 30₂, la secuencia [X_i Y_{2,i} X_{i+1} Y_{1,i+1} X_{i+2} Y_{2,i+2}X_{i+3} ...].

20 De manera ventajosa, a continuación se entrelazan los datos antes de la modulación, y los entrelazados de las dos fuentes son independientes.

A continuación se describe un ejemplo detallado de realización de la invención, para una modulación OFDM/OQAM que utiliza la forma de onda IOTA. Se ha realizado una simulación a partir de los siguientes parámetros:

- 25 • Tamaño de la FFT: 512;
- Número de portadoras moduladas: 345;
- 30 • Canal: AWGN;
- Codificación de corrección de errores: código convolucional de longitud de restricción K = 7 de relación 1/2.

Los flujos en los 2 subcanales (real e imaginario) son independientes. Los coeficientes de ajuste de las potencias valen: $\lambda_1 = 1$ y $\lambda_2 = 0,6$. Con semejante diferencia, la proporción en potencia entre los 2 subcanales es de 4,4 dB.

En recepción, se utiliza un algoritmo de decodificación iterativa tal y como está descrito en la conjunta solicitud de patente WO2006/117268, presentada el mismo día que la presente solicitud de patente, a nombre de los mismos titulares y titulada "Procédé de décodage itératif d'un signal OFDM/OQAM utilisant des symboles à valeurs complexes, dispositif et programme d'ordinateur correspondants" (Procedimiento de decodificación iterativa de una señal OFDM/OQAM que utiliza símbolos con valores complejos, dispositivo y programa de ordenador correspondientes).

En este contexto, el principio general de la invención reside en la decodificación alternativa e iterativa de los subcanales real e imaginario de la señal recibida, restando a la señal obtenida a la salida de un demodulador OFDM/OQAM una interferencia calculada a partir de uno de los subcanales. A partir de la señal obtenida, se calcula la interferencia generada por el otro subcanal y se pasa a retirarla de la señal saliente del demodulador OFDM/OQAM.

50 Cabe recordar que la transmisión en OFDM/OQAM de datos complejos y no reales provoca una interferencia intrínseca en emisión entre los símbolos. La naturaleza de esta interferencia es conocida por el receptor y, por lo tanto, puede ser eliminada en todo o en parte en recepción. El receptor de la invención comprende dos módulos. El primer módulo realiza una demodulación OFDM/OQAM tradicional de la señal multiportadora recibida en la antena. Sin embargo, a diferencia de un demodulador OFDM/OQAM de la técnica anterior, que tan sólo considera la parte real de la señal recibida, se conserva, a la salida del primer módulo de demodulación, el conjunto de la señal desmodulada r, a saber, la parte real y la parte imaginaria de los símbolos recibidos.

Por su parte, el segundo módulo pone en práctica un proceso iterativo de recuperación, a partir de la señal compleja desmodulada r, de una estimación d₁(p) y d₂(p) de la información transmitida en los subcanales real e imaginario de la señal OFDM/OQAM, donde el índice p designa el rango de la iteración en cuestión.

Más concretamente, el primer módulo de demodulación OFDM/OQAM realiza las siguientes operaciones:

- Conversión serie-paralelo;

- FFT;
- Filtrado polifase;
- 5 • Ecuación;
- Conversión paralelo-serie.

Según se indica anteriormente, a la salida del primer módulo se conserva a la vez, sin embargo, la parte real y la parte imaginaria de la señal.

En adelante se presenta con mayor detalle el funcionamiento del segundo módulo de tratamiento iterativo. Su principio consiste en restar a la señal obtenida a la salida del demodulador OFDM/OQAM una interferencia calculada a partir de uno de los dos subcanales, preferentemente el subcanal más potente. A partir de la señal obtenida, se calcula la interferencia generada por el otro subcanal menos potente y se pasa a retirarla de la señal saliente del demodulador OFDM/OQAM. Se recomienda así sucesivamente hasta que el proceso converja, cosa que interviene al cabo de solamente tres o cuatro iteraciones. La selección de cada uno de los subcanales se hace tomando la parte real o imaginaria de la señal. Se hace notar que el receptor sabe cuál ha sido el subcanal emitido con la potencia más elevada.

Las diferentes etapas que de manera sucesiva pone en práctica el segundo módulo son, por tanto, las siguientes:

- selección de uno de los dos subcanales sobre la señal ecualizada r . Con carácter preferente, se trata del subcanal más potente (por ejemplo, se ha elegido el subcanal real, reteniendo la parte real de la señal $\text{Re}(r)$);
- conversión de la señal M-aria en señal binaria flexible (es decir, representativa de al menos un valor binario y de al menos una información de confianza asociada) que incorpora una confianza calculada por ejemplo a partir de la estimación de canal;
- desentrelazado Π^{-1} de la señal binaria flexible;
- decodificación de canal CC^{-1} , que permite calcular, a partir de la señal binaria flexible (es decir, representativa de un valor binario y de una información de confianza asociada) desentrelazada, incorporando asimismo una señal binaria mejorada x_1 una medida de confianza, así como una señal binaria decodificada d_1 . La señal binaria decodificada d_1 constituye la información que al final entregará el receptor;
- entrelazado Π de la señal binaria mejorada x_1 ;
- conversión de la señal binaria mejorada entrelazada en señal M-aria mejorada flexible (es decir, asociada a una confianza) $x_1^{(1)}$ mediante modulación QAM real;
- cálculo del término interferente intrínseco generado por el subcanal seleccionado (en el presente caso, el subcanal real) que entrega una señal interferente $y(x_1^{(1)})$;
- resta de la señal interferente $i * y(x_1^{(1)})$, que afecta al segundo subcanal, a la señal ecualizada r para entregar una señal recibida mejorada. Se hace notar que el segundo subcanal es en el presente caso el subcanal imaginario, por cuya razón se multiplica por i la señal interferente $y(x_1^{(1)})$ antes de descontar este término interferente de la señal desmodulada r ;
- selección del otro subcanal de esta señal mejorada obtenida después de la resta. En el ejemplo, se trata del subcanal imaginario, que se selecciona tomando la parte imaginaria de la señal mejorada;
- conversión M-aria-binaria de la señal del subcanal imaginario mediante demodulación QAM real para obtener una señal binaria flexible (es decir, una señal representativa de un valor binario y de una información de confianza asociada, "soft bits") que puede incorporar asimismo una confianza calculada por ejemplo a partir de la estimación de canal;
- desentrelazado Π^{-1} de la señal binaria flexible;
- decodificación de canal CC^{-1} , que permite calcular, a partir de la señal binaria flexible desentrelazada, una señal binaria mejorada x_2 que incorpora asimismo una medida de confianza, así como una señal binaria decodificada d_2 . La señal binaria decodificada d_2 constituye la otra parte de la información que al final entregará el receptor;

- entrelazado Π de la señal binaria mejorada X_2 ;
- conversión de la señal binaria mejorada entrelazada en señal M-aria mejorada flexible (es decir, asociada a una confianza) $x_2^{(1)}$ mediante modulación QAM real;
- 5 • cálculo del término interferente intrínseco generado por el subcanal seleccionado (en el presente caso, el subcanal imaginario) que entrega una señal interferente $y(x_2^{(1)})$;
- resta de la señal interferente $y(x_2^{(1)})$ que afecta al primer subcanal a la señal ecualizada r para entregar una
10 señal mejorada.

El conjunto de las anteriores etapas sucesivas forma la primera iteración del proceso iterativo puesto en práctica por el segundo módulo de tratamiento. Al término de esta primera iteración, se puede ejecutar entonces un bucle a la primera etapa y seleccionar nuevamente el subcanal complementario del último subcanal tratado (a saber,
15 seleccionar el subcanal real en el caso en cuestión), de manera que comience una segunda iteración de estimación.

Se utilizan dos constelaciones Offset-QPSK ("Offset Quadrature Phase Shift Keying") con relaciones de código 1/2 en los dos subcanales real e imaginario. Con fines de comparación, se simula una constelación Offset-16-QAM (únicamente en el subcanal real) codificada por el mismo código convolucional y con la mismo relación de
20 codificación que, por lo tanto, representa la técnica de la técnica anterior donde los símbolos OFDM/OQAM son de valores reales.

Las curvas de la figura 7 ilustran las prestaciones de la técnica de codificación de la invención, en forma de tasa de error de bit, expresada en decibelios (dB), en función de la relación C/N ("Carrier To Noise Ratio", relación portadora
25 a ruido).

Incluso en el más simple caso posible donde no se puede sacar provecho de la diversidad en tiempo-frecuencia del canal, cuando los dos subcanales tienen la misma codificación y son independientes entre sí, se observa una mejora de las prestaciones. En efecto, la desviación entre la tasa de error de bit entre la Offset-QPSK en el subcanal real
30 (curva referenciada con 70) y la Offset-16QAM (curva referenciada con 72) es de aproximadamente 0,9 dB, en tanto que la desviación entre esta misma Offset-16QAM y la Offset-QPSK en el subcanal imaginario (curva referenciada con 71) es de aproximadamente 0,6 dB.

Estos resultados son especialmente interesantes, por ejemplo, para transmitir, en los dos subcanales (real e
35 imaginario), flujos de datos que no precisan la misma tasa de error en recepción. También lo son en el caso en el que los dos subcanales (real e imaginario) son transmitidos a dos usuarios asociados a canales de transmisión que presentan diferentes relaciones señal a ruido. La potencia relativa de los dos subcanales se puede ajustar entonces para tener en cuenta la diferencia de calidad de los canales de esos dos usuarios.

40 En adelante se presenta sumariamente, en relación con las figuras 5 y 6, la estructura simplificada de los dispositivos de codificación y de decodificación de la invención.

El dispositivo de codificación de la figura 5 comprende una memoria M 51 y una unidad de tratamiento 50 equipada con un procesador μP , que es dirigido por el programa de ordenador Pg 52.
45

La unidad de tratamiento 50 recibe como entrada palabras binarias procedentes de dos fuentes 30₁ y 30₂, que pueden ser independientes o correlacionadas. A partir de estas sucesiones de palabras binarias, el microprocesador μP construye, según las instrucciones del programa Pg 52, una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM cuyos símbolos con valores complejos se obtienen mediante suma ponderada de dos símbolos de constelación con valores
50 reales en cuadratura obtenidos por modulación QAM real de las palabras binarias. Semejante construcción por parte del microprocesador μP comprende asimismo operaciones de IFFT, de filtrado polifase y de conversión S/P y P/S.

A la salida de la unidad de tratamiento 50, se obtiene una señal multiportadora 38 de tipo OFDM/OQAM cuyos símbolos son de valores complejos.
55

Por su parte, el dispositivo de decodificación de la figura 6 comprende una memoria M 61 y una unidad de tratamiento 60 equipada con un procesador μP , que es dirigido por el programa de ordenador Pg 62.

La unidad de tratamiento 60 recibe como entrada una señal multiportadora 63 de tipo OFDM/OQAM cuyos símbolos son de valores complejos, que ha sido transportada por un canal de transmisión después de haber sido emitida a la salida del dispositivo de codificación de la figura 5.
60

A la recepción de la señal multiportadora 63, el microprocesador μP selecciona, según las instrucciones del programa Pg 52, la información asociada a uno de los dos subcanales real o imaginario de los símbolos
65 OFDM/OQAM y, seguidamente, realiza un tratamiento selectivo de la información seleccionada, de manera que

entrega una estimación 64 de la señal fuente asociada a ese subcanal. Estas operaciones se pueden realizar sucesivamente para cada uno de los dos subcanales, o sistemáticamente para uno de los subcanales y, ocasionalmente, para el otro subcanal si la calidad de recepción de la señal cumple un criterio predeterminado.

- 5 Estas operaciones se pueden realizar asimismo de manera iterativa, seleccionando sucesivamente el microprocesador μP cada uno de los dos subcanales y determinando la interferencia intrínseca generada por el otro subcanal para descontarla de la señal recibida y, así, afinar la estimación de la señal fuente asociada a cada uno de los dos subcanales.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de codificación de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM formada por una sucesión temporal de símbolos constituidos mediante un conjunto de elementos de datos, modulando cada uno de dichos elementos de datos una frecuencia portadora de dicha señal,
5
caracterizado porque cada uno de dichos elementos de datos se forma mediante suma (32) de dos valores reales en cuadratura correspondientes cada uno de ellos a una palabra binaria de una señal fuente (30₁, 30₂), modulada según una constelación de modulación predeterminada (31₁, 31₂), de manera que se transmite información en un subcanal real y en un subcanal imaginario de dichos símbolos OFDM/OQAM.
- 10 2. Procedimiento de codificación según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha suma es una suma ponderada, de forma tal que uno de dichos subcanales presente un nivel de potencia más elevado.
3. Procedimiento de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado
15 porque dichas señales fuente (30₁, 30₂) son correlacionadas.
4. Procedimiento de codificación según la reivindicación 3, caracterizado porque una de dichas señales fuente transporta información de redundancia relacionada con la información transportada por la otra señal fuente.
- 20 5. Procedimiento de codificación según la reivindicación 3, caracterizado porque dichas señales fuente (30₁, 30₂) son idénticas y sufren una codificación de canal y/o un entrelazado diferente en cada uno de dichos subcanales.
6. Procedimiento de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado
25 porque dichas señales fuente (30₁, 30₂) son señales independientes entre sí.
7. Procedimiento de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la información transmitida en cada uno de dichos subcanales comprende, por una parte, información fuente y, por otra parte, información de redundancia calculada a partir de dicha información fuente.
- 30 8. Procedimiento de codificación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque se asigna un nivel de protección diferente a la información transmitida en cada uno de dichos subcanales, dependiendo dicho nivel de protección de una codificación de canal y/o de un orden de dicha constelación de modulación predeterminada.
- 35 9. Señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM formada por una sucesión temporal de símbolos constituidos mediante un conjunto de elementos de datos, modulando cada uno de dichos elementos de datos una frecuencia portadora de dicha señal, caracterizada porque cada uno de dichos elementos de datos se forma mediante suma de dos valores reales en cuadratura correspondientes cada uno de ellos a una palabra binaria de
40 una señal fuente, modulada según una constelación de modulación predeterminada, de manera que se transmite información en un subcanal real y en un subcanal imaginario de dichos símbolos OFDM/OQAM.
10. Dispositivo de codificación de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM formada por una sucesión temporal de símbolos constituidos mediante un conjunto de elementos de datos, modulando cada uno de
45 dichos elementos de datos una frecuencia portadora de dicha señal,
caracterizado por comprender medios de formación (50) de cada uno de dichos elementos de datos mediante suma de dos valores reales en cuadratura correspondientes cada uno de ellos a una palabra binaria de una señal fuente modulada según una constelación de modulación predeterminada, de manera que se transmite
50 información en un subcanal real y en un subcanal imaginario de dichos símbolos OFDM/OQAM.
11. Procedimiento de decodificación de una señal multiportadora de tipo OFDM/OQAM recibida, estando formada dicha señal por una sucesión temporal de símbolos constituidos mediante un conjunto de elementos de datos, modulando cada uno de dichos elementos de datos una frecuencia portadora de dicha señal,
55
caracterizado porque, formándose cada uno de dichos elementos de datos, en la codificación, mediante suma de dos valores reales en cuadratura correspondientes cada uno de ellos a una palabra binaria de una señal fuente modulada según una constelación de modulación predeterminada, de manera que se transmite información en un subcanal real y en un subcanal imaginario de dichos símbolos OFDM/OQAM,
60 dicho procedimiento de decodificación comprende:
- una fase de demodulación OFDM/OQAM de dicha señal recibida que entrega una señal compleja eequalizada;

- una fase de tratamiento de dicha señal compleja ecualizada que comprende al menos una iteración de las etapas de:
- selección de uno de dichos subcanales de dicha señal compleja ecualizada, denominado primer subcanal;
- tratamiento de dicho primer subcanal que permite entregar una estimación de dicha señal fuente correspondiente a dicho primer subcanal, denominada primera señal fuente estimada;
- 10 - estimación de una interferencia intrínseca que, generada por dicho primer subcanal, afecta al otro de dichos subcanales, denominado segundo subcanal, que entrega una señal interferente estimada;
- resta de dicha señal interferente estimada a dicha señal compleja ecualizada, de manera que se obtiene una señal compleja mejorada;
- 15 - selección de dicho segundo subcanal de dicha señal compleja mejorada;
- tratamiento de dicho segundo subcanal que permite entregar una estimación de dicha señal fuente correspondiente a dicho segundo subcanal, denominada segunda señal fuente estimada.
- 20
- 12. Producto de programa de ordenador descargable desde una red de comunicaciones y/o almacenado en un soporte legible por ordenador y/o ejecutable por un microprocesador, caracterizado por comprender instrucciones de código de programa para la puesta en práctica del procedimiento de codificación de una señal multiportadora según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
- 25
- 13. Producto de programa de ordenador descargable desde una red de comunicaciones y/o almacenado en un soporte legible por ordenador y/o ejecutable por un microprocesador, caracterizado por comprender instrucciones de código de programa para la puesta en práctica de las etapas del procedimiento de decodificación de una señal multiportadora según la reivindicación 11.
- 30
- 14. Dispositivo de decodificación de una señal multiportadora (63) de tipo OFDM/OQAM recibida, estando formada dicha señal por una sucesión temporal de símbolos constituidos mediante un conjunto de elementos de datos, modulando cada uno de dichos elementos de datos una frecuencia portadora de dicha señal,
- 35 caracterizado porque, formándose cada uno de dichos elementos de datos, en la codificación, mediante suma de dos valores reales en cuadratura correspondientes cada uno de ellos a una palabra binaria de una señal fuente modulada según una constelación de modulación predeterminada, de manera que se transmite información en un subcanal real y en un subcanal imaginario de dichos símbolos OFDM/OQAM, dicho procedimiento de decodificación comprende:
- 40 - medios de demodulación OFDM/OQAM de dicha señal recibida que entregan una señal compleja ecualizada;
- medios de tratamiento de dicha señal compleja ecualizada que comprenden medios de:
- 45 - selección de uno de dichos subcanales de dicha señal compleja ecualizada, denominado primer subcanal;
- tratamiento de dicho primer subcanal que permite entregar una estimación de dicha señal fuente correspondiente a dicho primer subcanal, denominada primera señal fuente estimada;
- 50 - estimación de una interferencia intrínseca que, generada por dicho primer subcanal, afecta al otro de dichos subcanales, denominado segundo subcanal, que entrega una señal interferente estimada;
- 55 - resta de dicha señal interferente estimada a dicha señal compleja ecualizada, de manera que se obtiene una señal compleja mejorada;
- selección de dicho segundo subcanal de dicha señal compleja mejorada;
- 60 - tratamiento de dicho segundo subcanal que permite entregar una estimación de dicha señal fuente correspondiente a dicho segundo subcanal, denominada segunda señal fuente estimada.



