

OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 352 128**

② Número de solicitud: 200802213

⑤ Int. Cl.:
H04B 7/04 (2006.01)
H04J 11/00 (2006.01)

⑫ PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

⑫ Fecha de presentación: **24.07.2008**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **16.02.2011**

Fecha de la concesión: **10.06.2011**

⑮ Fecha de anuncio de la concesión: **22.06.2011**

⑯ Fecha de publicación del folleto de la patente:
22.06.2011

⑰ Titular/es: **Universidad Politécnica de Madrid
c/ Ramiro de Maetzu, 7
28040 Madrid, ES**

⑱ Inventor/es: **Haro y Ariet, Leandro de;
Martínez Rodríguez-Osorio, Ramón y
Gómez Calero, Carlos**

⑳ Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

⑳ Título: **Método de codificación/decodificación y sistema de transmisión-recepción MIMO retrocompatible para sistemas MIMO.**

㉑ Resumen:

Método de codificación/decodificación y sistema de transmisión-recepción MIMO retrocompatible para sistemas MIMO.

Método de codificación/decodificación espacio-temporal para un sistema MIMO retrocompatible con cualquier sistema que no utilice técnicas espacio-temporales en el receptor que comprende, al menos, (a) un subproceso de transmisión de señal, que comprende a su vez las siguientes etapas, y (b) un subproceso de recepción de las señales, y donde este método es aplicable fundamentalmente al sistema TDT de segunda generación conocido como DVB-T2. Gracias al método así descrito, los receptores con varias antenas pueden lograr mejores prestaciones en cuanto a calidad de señal o velocidad binaria, requeridas en el futuro estándar del DVB-T2, mientras que los receptores de primera generación pueden seguir funcionando gracias a la retrocompatibilidad.

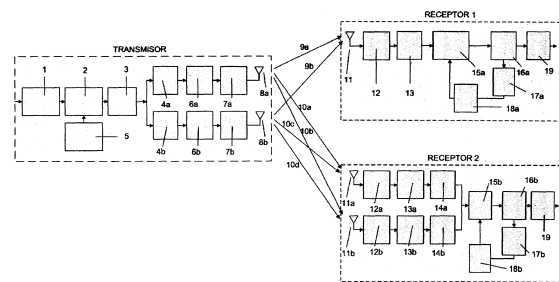


Figura 1.

ES 2 352 128 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Método de codificación/decodificación y sistema de transmisión-recepción MIMO retrocompatible para sistemas MIMO.

Objeto de la invención

El objeto de la presente invención está referido a un método de codificación que se aplica conjuntamente en el transmisor y receptor de un sistema con múltiples antenas en el transmisor que permita ser compatible con cualquier receptor de TV digital terrestre de primera generación (estándar DVB-T, difusión de vídeo digital terrestre), así como para los receptores de la segunda generación (DVB-T2).

En este método, además de mantener la compatibilidad con los actuales receptores, se mejora las prestaciones de los sistemas de DVB-T, mediante la mejora de eficiencia espectral empleando múltiples antenas en el transmisor y receptor.

Campo de la invención

La presente invención se encuadra en el campo de las telecomunicaciones, en particular, dentro del sector de las antenas inteligentes y, más particularmente, en los sistemas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*, múltiples entradas múltiples salidas). Preferentemente, se aplica a la tecnología DVB-T2 de segunda generación para televisión digital terrestre, aunque también es aplicable a otras tecnologías de radiocomunicación similares.

Antecedentes de la invención

La difusión de TV digital terrestre (TDT) se implantó para evolucionar del sistema analógico al digital. En el año 2010 no existirá ninguna emisión analógica en España, con lo que la TDT deberá estar extendida a todos los usuarios.

Las ventajas introducidas por la TDT frente al sistema tradicional donde la imagen y sonido se transmiten mediante modulación analógica son numerosas:

1º. Permite una mayor calidad de imagen y sonido. Ambos son codificados mediante una adaptación estándar MPEG-2 siendo la calidad resultante directamente proporcional a la velocidad binaria con la que se codifica cada uno de los flujos. En el estándar DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*, es decir, emisión de vídeo digital terrestre) el flujo binario resultante de codificar imagen, sonido y los datos del programa se transmite utilizando una modulación OFDM (*Orthogonal Frequency División Multiplexing* - multiplexado ortogonal por división de frecuencia).

2º. La TDT supone un mejor aprovechamiento del espectro que la TV analógica tradicional. Para la transmisión de un canal UHF analógico se requiere una canalización de 8 MHz, mientras que la transmisión digital permite que, en el ancho de banda disponible, en un solo canal UHF (unos 20 Mbps en la actual configuración en España) se puedan transmitir varios programas simultáneamente.

3º. Por último, la TDT permite mayor flexibilidad de las emisiones y servicios adicionales. En cada canal radio se emite un único flujo MPEG-2 que puede contener un número arbitrario de flujos de vídeo, audio y datos.

Para mejorar la eficiencia espectral y mejorar la recepción en móviles, es necesario imponer una serie de requisitos a la TDT de los que actualmente carece. Este es el caso de la segunda versión del DVB-T: DVB-T2. En este futuro estándar se requiere mayor eficiencia espectral para receptores fijos de servicio HDTV (*High Definition Televisión*) y usuarios móviles, un sistema eficiente de potencia y un incremento de la robustez de la señal, entre otros aspectos.

Descripción de la invención

Para paliar los problemas arriba mencionados, se presentan los sistemas MIMO como solución. Dichos sistemas se basan en situar múltiples antenas tanto en el transmisor como en el receptor. Las ventajas principales que aportan estos sistemas son la mejora frente a desvanecimientos del canal de propagación por diversidad espacial y la ganancia de capacidad por multiplexación espacial. Los sistemas MIMO combaten las pérdidas por desvanecimiento debidas al multitrayecto utilizando la ortogonalidad entre los subcanales oreados entre cada par de antenas transmisoras-receptoras. A medida que aumenta el número de antenas en ambos extremos disminuye la probabilidad de que los subcanales de propagación se desvanezcan simultáneamente mejorando, por tanto, la calidad de servicio que percibe el usuario.

En el método de la presente invención, la señal binaria llega a los medios de modulación digital, generando como resultado una modulación tipo QPSK, 16-QAM, 64-QAM ó 256-QAM. Los elementos de salida son enviados a los medios de formación de trama, además de la inserción de los elementos que se usarán en el receptor para la corrección de fase, frecuencia y estimación del canal y se pasa la señal al modulador OFDM, donde se realiza una transformación IFFT (inversa de la transformada rápida de Fourier). La señal a la salida se introduce en un codificador espacio-temporal, encargado de combinarlas señales y conformar el transmisor del sistema MIMO.

ES 2 352 128 B2

Así pues, dentro de la codificación, consideramos un array de $M=2$ elementos en el transmisor y $N=2$ elementos en el receptor, de manera que se obtiene una diversidad espacial al usar múltiples antenas separadas una cierta distancia. El método de codificación propuesto es:

5

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} \gamma_1 s_1 & \gamma_1 s_2 \\ -\gamma_2 s_2^* & \gamma_2 s_1^* \end{pmatrix}$$

10 Donde * denota el complejo conjugado. De este modo, cada fila representa el dominio espacial y cada columna, el dominio temporal. Para el caso de dos antenas y dos periodos de símbolo consecutivos, T_1 y T_2 , en el primer periodo T_1 se transmite $\gamma_1 s_1$ por la primera antena y $-\gamma_2 s_2^*$ por la segunda antena. En el segundo periodo T_2 se transmite $\gamma_1 s_2$ por la primera antena y $\gamma_2 s_1^*$ por la segunda antena, donde γ_1 y γ_2 representan el factor de amplitud por el que se van a multiplicar las señales de la primera y segunda antenas, respectivamente. Debe cumplirse la condición de transmitir
15 la misma potencia total que en el caso de tener una única antena como en los actuales sistemas SISO (*Single Input Single Output*), condición expresada como:

20

$$\sum_{i=1}^M |\gamma_i|^2 = 1$$

25

Para que el esquema de codificación sea ortogonal, es necesario que cumpla:

$$\mathbf{X}^H \mathbf{X} = k \cdot [|S_1|^2 + |S_2|^2] \cdot \mathbf{I}_2$$

30

Y aplicado al caso anterior:

35

$$\mathbf{X}^H \mathbf{X} = \begin{pmatrix} |S_1|^2 |\gamma_1|^2 + |S_2|^2 |\gamma_2|^2 & |\gamma_1|^2 s_1^* s_2 - |\gamma_2|^2 s_1^* s_2 \\ |\gamma_1|^2 s_2^* s_1 - |\gamma_2|^2 s_2^* s_1 & |S_1|^2 |\gamma_1|^2 + |S_2|^2 |\gamma_2|^2 \end{pmatrix}$$

40

Donde, para que se satisfaga la condición de ortogonalidad debe cumplirse que:

$$|\gamma_1|^2 = |\gamma_2|^2 = k$$

45

En el actual estado de la técnica, el reparto de la potencia total para cada una de las antenas se hacía equitativo, es decir, con $k=1/2$, de manera que se cumple la condición. Sin embargo, esto valdría para cualquier sistema MIMO, pero no para que el sistema MIMO sea compatible con el MISO (*Multiple Input Single Output*) ya que si se transmite igual potencia por cada antena, el receptor MISO no es capaz de distinguir las señales, ya que le llegan señales distintas de, aproximadamente, el mismo nivel de potencia. Por lo tanto, para que el esquema planteado sea compatible con un sistema convencional, es necesario que la potencia transmitida por cada antena sea diferente, ofreciendo mejores prestaciones cuanto mayor sea la diferencia de potencias, transmitiendo por la de mayor potencia la señal compatible con el sistema convencional.

55

Además, no se tenía en cuenta la polarización de la antena, lo que permite añadir otro grado de diversidad al sistema. Por lo tanto, para ajustar el valor de los factores γ_1 y γ_2 es necesario tener en cuenta además la diferente polarización de las antenas del transmisor, así como la discriminación de polarización cruzada (XPD) del canal de propagación. Por lo tanto, la retrocompatibilidad con un receptor tradicional DVB-T de una sola antena puede conseguirse si:

60

$$|\gamma_1|^2 \neq |\gamma_2|^2$$

65

Además, un receptor DVB-T2 de dos antenas puede beneficiarse del método de codificación espacio-temporal objeto de esta patente que incluye la diversidad de polarización.

ES 2 352 128 B2

Si se considera que los subcanales creados entre las antenas transmisoras-receptoras forman la matriz de canal MIMO \mathbf{H} tenemos que:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}$$

donde:

$$h_{11} = \alpha_{11} e^{-j\theta_{11}}$$

$$h_{12} = \alpha_{12} e^{-j\theta_{12}}$$

$$h_{21} = \alpha_{21} e^{-j\theta_{21}}$$

$$h_{22} = \alpha_{22} e^{-j\theta_{22}}$$

siendo α_{ij} y θ_{ij} el módulo y la fase del subcanal de propagación ij entre la antena transmisora j y la antena receptora i , respectivamente. Así pues, las señales recibidas por cada antena receptora son:

$$r_1 = \gamma_1 s_1 h_{11} - \gamma_2 s_2^* h_{12} + n_1$$

$$r_2 = \gamma_1 s_1 h_{21} - \gamma_2 s_2^* h_{22} + n_2$$

$$r_1' = \gamma_1 s_2 h_{11} + \gamma_2 s_1^* h_{12} + n_1'$$

$$r_2' = \gamma_1 s_2 h_{21} + \gamma_2 s_1^* h_{22} + n_2'$$

Donde r_1 y r_2 representan la señal recibida en el instante $t=t_0$ para la primera y segunda antena, respectivamente, y r_1' y r_2' representan la señal recibida en el instante $t=t_0+T$ por la cada una de las antenas, siendo $T=T_1=T_2$ el periodo de símbolo. Para ello, se supone que el canal no varía en dos periodos de símbolo consecutivos, es decir, que:

$$h_{ij}(t) = h_{ij}(t + T)$$

Para $i,j = 1,2$.

Dado que la potencia transmitida es distinta para cada antena y que es necesario que el receptor sea capaz de anular la influencia de un símbolo en el otro símbolo recibido (esto es, que sea ortogonal) es necesario introducir un nuevo factor que permita estimar los elementos enviados, considerando así un nuevo subcanal virtual entre cada par de antenas transmisor-receptor. Este nuevo subcanal virtual es el equivalente al que tendría el sistema si no se hubiese introducido ningún factor γ en la matriz de codificación \mathbf{X} . Para asegurar la ortogonalidad de la codificación, en el receptor es necesario introducir un factor de amplitud β_j de manera que:

$$h_{ij}^v = \beta_j h_{ij}$$

Así pues, para realizar la correcta estimación de los símbolos, suponiendo conocimiento perfecto del canal en el receptor, se utilizan las definiciones de r_1 , r_2 , r_1' y r_2' , aplicando la siguiente regla de decisión que tiene en cuenta la anterior ecuación de h_{ij}^v :

$$\tilde{s}_1 = r_1 h_{11}^{v*} + r_1' h_{12}^v + r_2 h_{21}^{v*} + r_2' h_{22}^v$$

$$\tilde{s}_2 = -r_1^* h_{12}^v + r_1' h_{11}^{v*} - r_2^* h_{22}^v + r_2' h_{21}^{v*}$$

ES 2 352 128 B2

Donde \tilde{s}_1 y \tilde{s}_2 representan las estimaciones de los símbolos transmitidos s_1 y s_2 , respectivamente. Desarrollando las expresiones anteriores, se tiene:

$$\begin{aligned}
 \tilde{s}_1 &= r_1 h_{11}^{v*} + r_1' h_{12}^{v*} + r_2 h_{21}^{v*} + r_2' h_{22}^{v*} \\
 &= s_1 [\gamma_1 \beta_1 (|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2) + \gamma_2 \beta_2 (|h_{12}|^2 + |h_{22}|^2)] \\
 &\quad + s_2^* [h_{12} h_{11}^* (\beta_2 \gamma_1^* - \beta_1^* \gamma_2) + h_{22} h_{21}^* (\beta_2 \gamma_1^* - \beta_1^* \gamma_2)] + n_1 \beta_1^* h_{11}^* + n_1' \beta_2^* h_{12} \\
 &\quad + n_2 \beta_1^* h_{21}^* + n_2' \beta_2^* h_{22} \\
 \tilde{s}_2 &= -r_1^* h_{12}^{v*} + r_1' h_{11}^{v*} - r_2^* h_{22}^{v*} + r_2' h_{21}^{v*} \\
 &= s_2 [\gamma_1 \beta_1 (|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2) + \gamma_2 \beta_2 (|h_{12}|^2 + |h_{22}|^2)] \\
 &\quad + s_1^* [h_{12} h_{11}^* (\beta_1^* \gamma_2 - \beta_2 \gamma_1^*) + h_{22} h_{21}^* (\beta_1^* \gamma_2 - \beta_2 \gamma_1^*)] - n_1^* \beta_2 h_{12} + n_1' \beta_1^* h_{11} \\
 &\quad - n_2^* \beta_2 h_{22} + n_2' \beta_1^* h_{21}
 \end{aligned}$$

Para que el código sea ortogonal, es necesario anular los componentes del símbolo no deseado cuando no se estima el adecuado. Esto es, tiene que cumplirse que:

$$\beta_2 \gamma_1^* - \beta_1^* \gamma_2 = 0$$

Por lo tanto, se deduce que para que el nuevo método objeto de la invención sea ortogonal, es necesario que los canales virtuales creados sean los canales amplificadas tanto como se haya atenuado la señal de cada antena, es decir:

$$\beta_1^* = \mu \cdot \gamma_1$$

$$\beta_2^* = \mu \cdot \gamma_2$$

para cualquier valor de μ . Los parámetros γ_1 y γ_2 deben ser conocidos en el receptor, ya que son parámetros elegidos en la etapa de diseño y pueden variar en función de las prestaciones que se deseen obtener para los usuarios convencionales que utilicen receptores de primera generación, así como para los usuarios que aprovechen el uso de múltiples antenas en el receptor.

De esta manera, los factores introducidos en el decodificador permiten recuperar la ortogonalidad del método y, por ende, distinguir los elementos recibidos deseados anulando el resto. Así pues, para permitir la retrocompatibilidad del sistema MIMO con el MISO se utiliza el esquema de codificación definido por la matriz de codificación X junto con el decodificador definido por \tilde{s}_1 , y \tilde{s}_2 de manera que se cumpla que:

$$\gamma_1 = \sqrt{1 - \gamma_2^2}$$

El método de codificación-decodificación que se describe en la presente invención es aplicable fundamentalmente al sistema TDT de segunda generación conocido como DVB-T2. Gracias al método así descrito, los receptores con varias antenas pueden lograr mejores prestaciones en cuanto a calidad de señal o velocidad binaria, requeridas en el futuro estándar del DVB-T2, mientras que los receptores de primera generación pueden seguir funcionando gracias a la retrocompatibilidad.

Es importante destacar que el codificador puede ser espacio-temporal o espacio-frecuencial en función del dominio donde se aproveche la diversidad, y método descrito es el mismo variando la dimensión de tiempo por frecuencia.

Además, esto permite que los usuarios puedan desplazarse mientras se mantiene la calidad de la señal gracias a la diversidad que ofrecen los sistemas MIMO. Así pues, el método es aplicable en la recepción de señales DVB-T2 para usuarios móviles como pueden ser vehículos o peatones.

Breve descripción de las figuras

5 A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

Figura 1. Esquema global de bloques de un sistema en el que se emplea el método de la presente invención, con codificación espacio-frecuencial.

10 Figura 2. Esquema global de bloques de un sistema en el que se emplea el método de Ja presente invención, con codificación espacio-temporal.

Realización preferente de la invención

15 Según se ilustra en la figura 1, donde las flechas de línea continua señalan el paso de la señal por los distintos módulos descritos que conforman el método de operación, puede describirse como una de las posibles realizaciones de dicho método para un sistema MIMO transmisor-receptor utilizado en escenarios DVB-T o DVB-T2. Una realización del sistema MIMO retrocompatible comprende tres partes principales, que son: procesado de señal, radiofrecuencia y antenas.

20 En la parte de procesado de señal, la señal es mapeada en (1) en función de la modulación digital elegida (64-QAM). Los símbolos pasan al bloque de formación de trama (2) donde se estructuran los datos juntos con los pilotos (5) para pasar al bloque de codificación (3).

25 Dentro del bloque de codificación (3) se implementa el método de codificación objeto de la invención, donde se considera un array de M=2 elementos en el transmisor y N=2 elementos en el receptor, de manera que se obtiene una diversidad espacial al usar múltiples antenas separadas una cierta distancia. El método de codificación propuesto es:

30

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} \gamma_1 s_1 & \gamma_1 s_2 \\ -\gamma_2 s_2^* & \gamma_2 s_1^* \end{pmatrix}$$

35 Donde * denota el complejo conjugado. De este modo, cada fila representa el dominio espacial y cada columna, el dominio temporal. Para el caso de dos antenas y dos periodos de símbolo consecutivos, T₁ y T₂, en el primer periodo T₁ se transmite $\gamma_1 s_1$ por la primera antena y $-\gamma_2 s_2^*$ por la segunda antena. En el segundo periodo T₂ se transmite $\gamma_1 s_2$ por la primera antena y $\gamma_2 s_1^*$ por la segunda antena, donde γ_1 y γ_2 representan el factor de amplitud por el que se van a multiplicar las señales de la primera y segunda antenas, respectivamente. Debe cumplirse la condición de transmitir la misma potencia total que en el caso de tener una única antena como en los actuales sistemas SISO (*Single Input Single Output*), condición expresada como:

45

$$\sum_{i=1}^M |\gamma_i|^2 = 1$$

50

Para que el esquema de codificación sea ortogonal, es necesario que cumpla:

$$\mathbf{X}^H \mathbf{X} = k \cdot [|S_1|^2 + |S_2|^2] \cdot \mathbf{I}_2$$

55

Y aplicado al caso anterior:

60

$$\mathbf{X}^H \mathbf{X} = \begin{pmatrix} |S_1|^2 |\gamma_1|^2 + |S_2|^2 |\gamma_2|^2 & |\gamma_1|^2 s_1^* s_2 - |\gamma_2|^2 s_1^* s_2 \\ |\gamma_1|^2 s_2^* s_1 - |\gamma_2|^2 s_2^* s_1 & |S_1|^2 |\gamma_1|^2 + |S_2|^2 |\gamma_2|^2 \end{pmatrix}$$

65

Donde, para que se satisfaga la condición de ortogonalidad debe cumplirse que:

$$|\gamma_1|^2 = |\gamma_2|^2 = k$$

ES 2 352 128 B2

Para que el esquema planteado permita la compatibilidad MIMO-MISO, la potencia transmitida por cada antena ha de ser diferente, ofreciendo mejores prestaciones cuanto mayor sea la diferencia de potencias, transmitiendo por la de mayor potencia la señal compatible con el sistema MIMO.

5 Para ajustar el valor de los factores γ_1 y γ_2 es necesario tener en cuenta además la diferente polarización de las antenas del transmisor, así como la discriminación de polarización cruzada (XPD) del canal de propagación. Por lo tanto, la retrocompatibilidad con un receptor tradicional DVB-T de una sola antena se consigue con:

$$10 \quad |\gamma_1|^2 \neq |\gamma_2|^2$$

Además, un receptor DVB-T2 de dos antenas puede beneficiarse del método de codificación espacio-temporal objeto de esta patente que incluye la diversidad de polarización.

15 Si se considera que los subcanales creados entre las antenas transmisoras-receptoras forman la matriz de canal MIMO \mathbf{H} tenemos que:

$$20 \quad \mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}$$

donde:

$$25 \quad h_{11} = \alpha_{11} e^{-j\theta_{11}}$$

$$h_{12} = \alpha_{12} e^{-j\theta_{12}}$$

$$30 \quad h_{21} = \alpha_{21} e^{-j\theta_{21}}$$

$$h_{22} = \alpha_{22} e^{-j\theta_{22}}$$

35 siendo a_{ij} y θ_{ij} el módulo y la fase del subcanal de propagación ij entre la antena transmisora j y la antena receptora i , respectivamente. Así pues, las señales recibidas por cada antena receptora son:

$$40 \quad r_1 = \gamma_1 s_1 h_{11} - \gamma_2 s_2^* h_{12} + n_1$$

$$r_2 = \gamma_1 s_1 h_{21} - \gamma_2 s_2^* h_{22} + n_2$$

$$r_1' = \gamma_1 s_2 h_{11} + \gamma_2 s_1^* h_{12} + n_1'$$

$$45 \quad r_2' = \gamma_1 s_2 h_{21} + \gamma_2 s_1^* h_{22} + n_2'$$

Donde r_1 y r_2 representan la señal recibida en el instante $t=t_0$ para la primera y segunda antena, respectivamente, y r_1' y r_2' representan la señal recibida en el instante $t=t_0+T$ por la cada una de las antenas, siendo $T=T_1=T_2$ el periodo de símbolo. Para ello, se supone que el canal no varía en dos periodos de símbolo consecutivos, es decir, que:

$$50 \quad h_{ij}(t) = h_{ij}(t + T)$$

55 Para $i,j = 1,2$.

Dado que la potencia transmitida es distinta para cada antena y que es necesario que el receptor sea capaz de anular la influencia de un símbolo en el otro símbolo recibido (esto es, que sea ortogonal) es necesario introducir un nuevo factor que permita estimar los elementos enviados, considerando así un nuevo subcanal virtual entre cada par de antenas transmisor-receptor. Este nuevo subcanal virtual es el equivalente al que tendría el sistema si no se hubiese introducido ningún factor γ en la matriz de codificación \mathbf{X} . Para asegurar la ortogonalidad de la codificación, en el receptor es necesario introducir un factor de amplitud β_j de manera que:

$$65 \quad h_{ij}^v = \beta_j h_{ij}$$

ES 2 352 128 B2

Así pues, para realizar la correcta estimación de los símbolos, suponiendo conocimiento perfecto del canal en el receptor, se utilizan las definiciones de r_1 , r_2 , r'_1 y r'_2 , aplicando la siguiente regla de decisión que tiene en cuenta la anterior ecuación de h_{ij}^v :

$$\begin{aligned}\tilde{s}_1 &= r_1 h_{11}^{v*} + r'_1 h_{12}^v + r_2 h_{21}^{v*} + r'_2 h_{22}^v \\ \tilde{s}_2 &= -r_1 h_{12}^v + r'_1 h_{11}^{v*} - r_2 h_{22}^v + r'_2 h_{21}^{v*}\end{aligned}$$

Donde \tilde{s}_1 y \tilde{s}_2 representan las estimaciones de los símbolos transmitidos s_1 y s_2 , respectivamente. Desarrollando las expresiones anteriores, se tiene:

$$\begin{aligned}\tilde{s}_1 &= r_1 h_{11}^{v*} + r'_1 h_{12}^v + r_2 h_{21}^{v*} + r'_2 h_{22}^v \\ &= s_1 [\gamma_1 \beta_1 (|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2) + \gamma_2 \beta_2 (|h_{12}|^2 + |h_{22}|^2)] \\ &\quad + s_2^* [h_{12} h_{11}^* (\beta_2 \gamma_1^* - \beta_1^* \gamma_2) + h_{22} h_{21}^* (\beta_2 \gamma_1^* - \beta_1^* \gamma_2)] + n_1 \beta_1^* h_{11}^* + n_1' \beta_2 h_{12} \\ &\quad + n_2 \beta_1^* h_{21}^* + n_2' \beta_2 h_{22} \\ \tilde{s}_2 &= -r_1 h_{12}^v + r'_1 h_{11}^{v*} - r_2 h_{22}^v + r'_2 h_{21}^{v*} \\ &= s_2 [\gamma_1 \beta_1 (|h_{11}|^2 + |h_{21}|^2) + \gamma_2 \beta_2 (|h_{12}|^2 + |h_{22}|^2)] \\ &\quad + s_1^* [h_{12} h_{11}^* (\beta_1^* \gamma_2 - \beta_2 \gamma_1^*) + h_{22} h_{21}^* (\beta_1^* \gamma_2 - \beta_2 \gamma_1^*)] - n_1 \beta_2 h_{12} + n_1' \beta_1^* h_{11}^* \\ &\quad - n_2 \beta_2 h_{22} + n_2' \beta_1^* h_{21}^*\end{aligned}$$

Para que el código sea ortogonal, es necesario anular los componentes del símbolo no deseado cuando no se estima el adecuado. Esto es, tiene que cumplirse que:

$$\beta_2 \gamma_1^* - \beta_1^* \gamma_2 = 0$$

Por lo tanto, se deduce que para cumplir la condición de ortogonalidad es necesario que los canales virtuales creados sean los canales amplificadas tanto como se haya atenuado la señal de cada antena, es decir:

$$\begin{aligned}\beta_1^* &= \mu \cdot \gamma_1 \\ \beta_2^* &= \mu \cdot \gamma_2\end{aligned}$$

para cualquier valor de μ . Los parámetros γ_1 y γ_2 deben ser conocidos en el receptor, ya que son parámetros elegidos en la etapa de diseño y pueden variar en función de las prestaciones que se deseen obtener para los usuarios convencionales que utilicen receptores de primera generación, así como para los usuarios que aprovechen el uso de múltiples antenas en el receptor.

De esta manera, los factores introducidos en el decodificador permiten recuperar la ortogonalidad del método y, por ende, distinguir los elementos recibidos deseados anulando el resto. Así pues, para permitir la retrocompatibilidad del sistema MIMO con el MISO se utiliza el esquema de codificación definido por la matriz de codificación X junto con el decodificador definido por \tilde{s}_1 y \tilde{s}_2 de manera que se cumpla que:

$$\gamma_1 = \sqrt{1 - \gamma_2^2}$$

Seguidamente, los símbolos codificados se distribuyen por cada una de las ramas y llegan al bloque de OFDM (4a y 4b), donde se elige una configuración de 8k portadoras, según el estándar de DVB-T. Una vez realizada la transformada de Fourier y añadido el prefijo cíclico, los datos se envían a cada una de las antenas transmisoras, pasando por las etapas de conversión digital-analógico (6a y 6b) y RF (7a y 7b). Para el caso de no usar diversidad por polarización (es decir, si las dos antenas del transmisor utilizan la misma polarización), se usa un $\gamma_2 = 1/100$, y $\gamma_1 = \sqrt{(1 - \gamma_2^2)}$. El valor de estos parámetros se selecciona en el bloque de codificación (3), como se indica anteriormente. Por cada rama, las señales digitales se convierten en analógicas (6a y 6b) y se suben en frecuencia, además de ser amplificadas y filtradas (7a y 7b). Por último, las señales se transmiten al medio a través de las antenas (8a y 8b).

ES 2 352 128 B2

El receptor convencional equipado con una sola antena (receptor 1) recibe las señales de cada antena transmisora por diferentes canales de propagación (9a y 9b). Ambas señales son recibidas por la antena (11), amplificadas, filtradas y bajadas en frecuencia (12), y convertidas a señales digitales (13). Una vez ahí, las señales entran al bloque de OFDM (15a), donde siguen un proceso de reestructuración de trama (16a), extracción de pilotos (17a) y estimación de canal (18a). Por último, se realiza la demodulación de los símbolos recibidos (19).

En el caso de un receptor de DVB-T2 con dos antenas, las señales transmitidas por cada antena son recibidas por un receptor MIMO (receptor 2) con dos antenas (11a y 11b), a través de diferentes subcanales de propagación (10a, 10b, 10c y 10d). Al igual que en el receptor convencional (receptor 1), existe en cada rama un módulo de radiofrecuencia y filtrado (12a y 12b), y de conversión analógico-digital (13a y 13b). Además, se incluye el decodificador (14a y 14b) que utiliza el esquema descrito anteriormente con los factores:

$$\mu = 1$$

$$\beta_1 = \gamma_1$$

$$\beta_2 = \gamma_2$$

A este bloque de decodificación le siguen el bloque de demodulación OFDM (15b), reestructuración de trama (16b), extracción de pilotos (17b), estimación de canal (18b) y, por último, la demodulación digital (19). Empleando esta configuración MIMO, se obtiene una mejora de 10-15 dB con respecto a un receptor convencional (de primera generación de DVB-T) para una tasa de error binaria de 10^{-4} a la salida de la demodulación 64-QAM utilizando un detector de máxima verosimilitud con un canal Rayleigh.

En el caso de utilizar antenas con diversidad por polarización, la antena 1 (8a) utiliza polarización horizontal y la antena 2 (8b), polarización vertical, ya que de esta manera la antena 1 transmite en la misma polarización que un sistema de DVB-T de primera generación (convencional). Así, suponiendo una *XPD* (discriminación por polarización cruzada) de 20 dB ($xpd=10$ en unidades naturales) en el canal de propagación, se usa:

$$\gamma_2 = \frac{xpd}{100}$$

Junto con $\gamma_1 = \sqrt{(1 - \gamma_2^2)}$, lo que permite facilitar la estimación del canal en el receptor mediante las portadoras piloto conocidas.

El sistema es retrocompatible con un MISO que utiliza el estándar de DVB-T y la información de los factores β_1 y β_2 es enviada entre los bits s_{40} y s_{53} de las portadoras piloto TPS (Transmission Parameter Signaling), según el estándar de DVB-T.

REIVINDICACIONES

5 1. Método de codificación/decodificación espacio-temporal para un sistema MIMO retrocompatible con cualquier sistema que no utilice técnicas espacio-temporales en el receptor **caracterizado** porque comprende, al menos:

(a) un subproceso de transmisión de señal, que comprende a su vez las siguientes etapas:

- 10 (i) una primera etapa de modulación digital de la señal;
- (ii) una segunda etapa de inserción de pilotos y formación de trama para corrección de fase, frecuencia y estimación del canal;
- 15 (iii) una tercera etapa de modulación OFDM, donde se realiza una transformada IFFT;
- (iv) una cuarta etapa de codificación espacio-frecuencial, de tal forma que se combinen las señales y conformar el transmisor del sistema MIMO, distribuyendo las señales por cada una de las antenas transmisoras (8a, 8b) y factores de amplitud diferentes para cada antena transmisora;
- 20 (v) una quinta etapa de conversión A/D de las señales digitales para cada una de los subcanales de transmisión, y donde además se suben en frecuencia;
- (vi) una sexta etapa de amplificación y filtrado;
- 25 (vii) una séptima etapa de transmisión al medio; y

(b) un subproceso de recepción de las señales.

30 2. Método según reivindicación 1 **caracterizado** porque la codificación está basada en:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} \gamma_1 s_1 & \gamma_1 s_2 \\ -\gamma_2 s_2^* & \gamma_2 s_1^* \end{pmatrix}$$

35 donde * denota el complejo conjugado, y donde cada fila representa el dominio espacial y cada columna, el dominio temporal; para el caso de dos antenas y dos periodos de símbolo consecutivos, T_1 y T_2 , en el primer periodo T_1 se transmite $\gamma_1 s_1$ por la primera antena y $-\gamma_2 s_2^*$ por la segunda antena, mientras que en el segundo periodo T_2 se transmite $\gamma_1 s_2$ por la primera antena y $\gamma_2 s_1^*$ por la segunda antena, donde γ_1 y γ_2 representan el factor de amplitud por el que se van a multiplicar las señales de la primera y segunda antenas, respectivamente.

45 3. Método según reivindicaciones 1 y 2 **caracterizado** porque se transmite la misma potencia total que en el caso de tener una única antena como en los actuales sistemas SISO (*Single Input Single Output*), condición expresada como:

$$50 \sum_{i=1}^M |\gamma_i|^2 = 1$$

55 4. Método según reivindicaciones 1 a 3 **caracterizado** porque para que el esquema de codificación sea ortogonal, es necesario que cumpla:

$$60 \mathbf{X}^H \mathbf{X} = k \cdot [|\mathbf{S}_1|^2 + |\mathbf{S}_2|^2] \cdot \mathbf{I}_2$$

donde, para que se satisfaga la condición de ortogonalidad debe cumplirse que:

$$65 |\gamma_1|^2 = |\gamma_2|^2 = k.$$

5. Método según reivindicaciones 1 a 4 **caracterizado** porque para ajustar el valor de los factores γ_1 y γ_2 se tiene en cuenta, además, la diferente polarización de las antenas del transmisor, así como la discriminación de polarización cruzada (XPD) del canal de propagación; y donde la retrocompatibilidad con un receptor tradicional DVB-T de una sola antena se consigue con:

$$|\gamma_1|^2 \neq |\gamma_2|^2$$

6. Método según reivindicaciones anteriores **caracterizado** porque dado que la potencia transmitida es distinta para cada antena y que es necesario que el receptor sea capaz de anular la influencia de un símbolo en el otro símbolo recibido (esto es, que sea ortogonal) se introduce un nuevo factor que permita estimar los elementos enviados, considerando así un nuevo subcanal virtual entre cada par de antenas transmisor-receptor.

7. Método según reivindicación 6 **caracterizado** porque el subcanal virtual es el equivalente al que tendría el sistema si no se hubiese introducido ningún factor γ en la matriz de codificación X; y donde para asegurar la ortogonalidad de la codificación, en el receptor es necesario introducir un factor de amplitud β_j de manera que:

$$h_{ij}^v = \beta_j h_{ij}$$

así pues, para realizar la correcta estimación de los símbolos, suponiendo conocimiento perfecto del canal en el receptor, se utilizan las definiciones de r_1 , r_2 , r'_1 y r'_2 , aplicando la siguiente regla de decisión que tiene en cuenta la anterior ecuación de h_{ij}^v :

$$\begin{aligned} \tilde{s}_1 &= r_1 h_{11}^{v*} + r'_1 h_{12}^v + r_2 h_{21}^{v*} + r'_2 h_{22}^v \\ \tilde{s}_2 &= -r_1^* h_{12}^v + r'_1 h_{11}^{v*} - r_2^* h_{22}^v + r'_2 h_{21}^{v*} \end{aligned}$$

donde \tilde{s}_1 y \tilde{s}_2 representan las estimaciones de los símbolos transmitidos s_1 y s_2 , respectivamente.

8. Método según reivindicación 7 **caracterizado** porque para que el código sea ortogonal, es necesario anular los componentes del símbolo no deseado cuando no se estima el adecuado, donde tiene que cumplirse que:

$$\beta_2 \gamma_1^* - \beta_1^* \gamma_2 = 0$$

y donde para cumplir la condición de ortogonalidad es necesario que los canales virtuales creados sean los canales amplificadas tanto como se haya atenuado la señal de cada antena, es decir:

$$\begin{aligned} \beta_1^* &= \mu \cdot \gamma_1 \\ \beta_2^* &= \mu \cdot \gamma_2 \end{aligned}$$

para cualquier valor de μ ; los parámetros γ_1 y γ_2 deben ser conocidos en el receptor, ya que son parámetros elegidos en la etapa de diseño y pueden variar en función de las prestaciones que se deseen obtener para los usuarios convencionales que utilicen receptores de primera generación, así como para los usuarios que aprovechen el uso de múltiples antenas en el receptor.

9. Método según reivindicaciones anteriores **caracterizado** porque la retrocompatibilidad del sistema MIMO con el MISO utiliza el esquema de codificación definido por la matriz de codificación X junto con el decodificador definido por \tilde{s}_1 , y \tilde{s}_2 de manera que se cumpla que:

$$\gamma_1 = \sqrt{1 - \gamma_2^2}$$

10. Sistema MIMO según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el sistema es retrocompatible con un MISO que utiliza el estándar de DVB-T y la información de los factores β_1 y β_2 es enviada entre los bits s_{40} y s_{53} de las portadoras piloto TPS (*Transmission Parameter Signaling*), según el estándar de DVB-T.

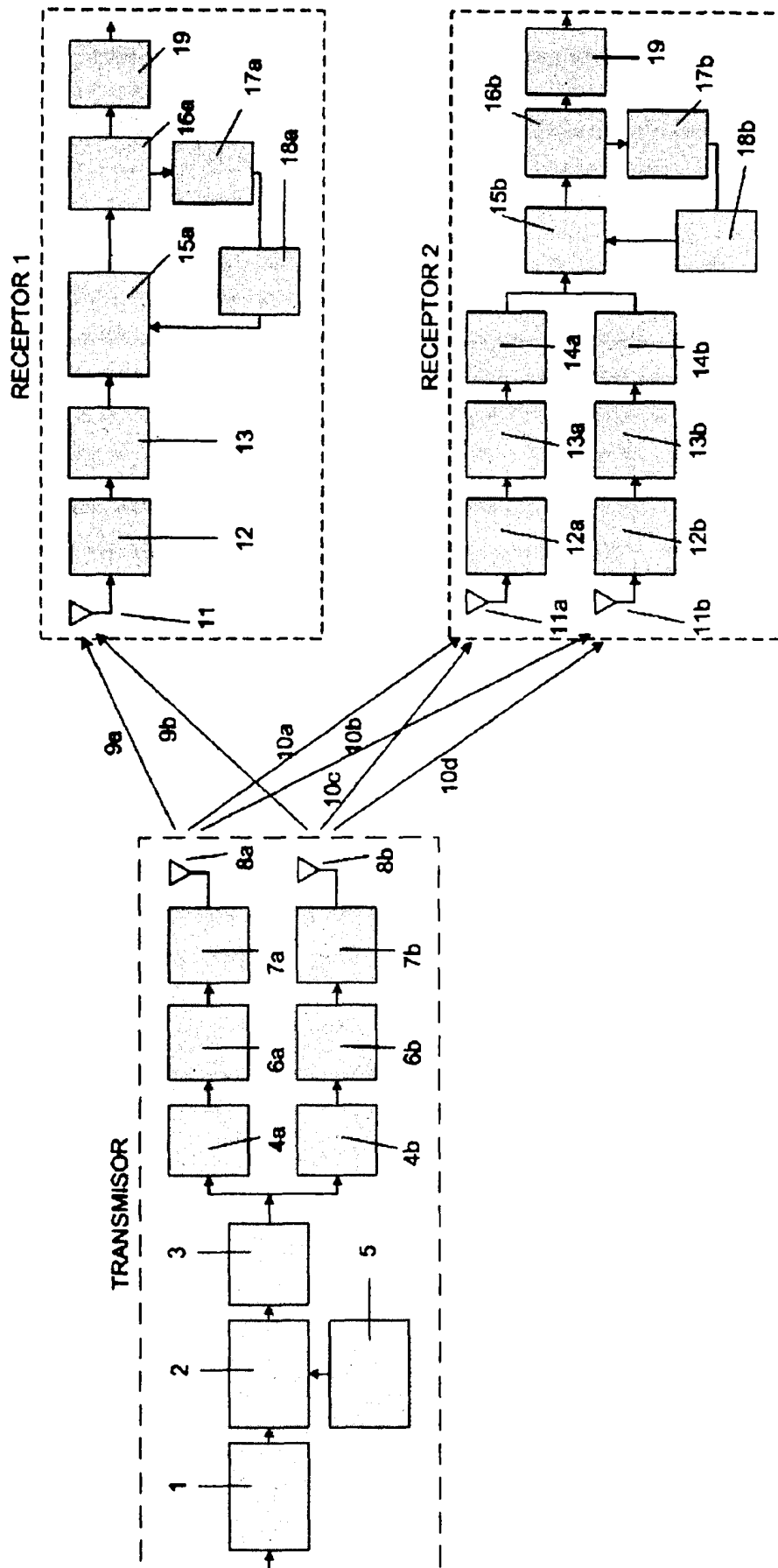


Figura 1.

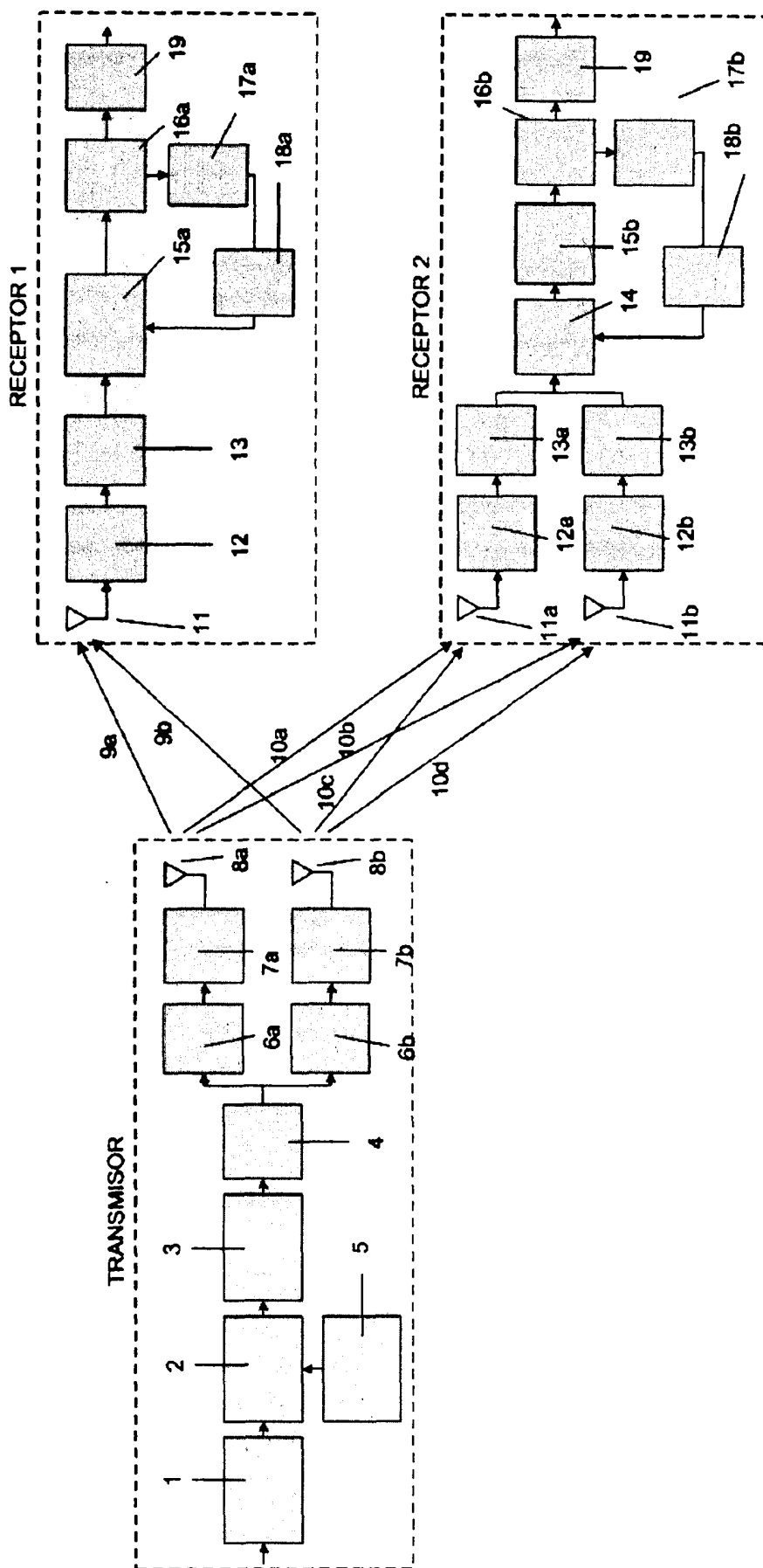


Figura 2



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 200802213

②② Fecha de presentación de la solicitud: 24.07.2008

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **H04B7/04** (01.01.2006)
H04J11/00 (01.01.2006)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	ATANES P et al. "MIMO Performance of the Next Generation DVB-T". 2009 IEEE 69th Vehicular Technology Conference; Abril 26-29, 2009, Barcelona, España, 20090426 IEEE, Piscataway, NJ, USA. Páginas: 1-5, ISBN 978-1-4244-2517-4; ISBN 1-4244-2517-4.	1-10
A	SIAVASH M ALAMOUTI. "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications". IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, 19981001 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, US. Vol. 16, No. 8, ISSN 0733-8716.	1-10
A	EP 2245753 A1 (ERICSSON TELEFON AB L M) 03.11.2010, todo el documento.	1-10

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
31.01.2011

Examinador
J. Botella Maldonado

Página
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H04J, H04B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.