

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 413 558**

21 Número de solicitud: 201101307

51 Int. Cl.:

H04L 27/38 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

24.11.2011

43 Fecha de publicación de la solicitud:

16.07.2013

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.0%)
OTRI-PABELLÓN DE BRASIL, PASEO DE LAS
DELICIAS SN
41012 SEVILLA ES**

72 Inventor/es:

**BAENA LECUYER, Vicente;
PEREZ-CALDERON RODRIGUEZ, Dario;
ORIA ORIA , Ana Cinta;
GARCÍA DOBLADO, José y
LÓPEZ GONZÁLEZ, Patricio**

54 Título: **DECODIFICADOR DE CONSTELACIONES ROTADAS Y MÉTODO DE DECODIFICACIÓN**

57 Resumen:

Método de decodificación de constelaciones rotadas, como por ejemplo el implementado en el estándar DVB - T2, en donde para cada bit b_i deben calcularse las métricas LLR a partir del punto de la constelación recibido (I_x, Q_x) y siendo x un punto ideal de la constelación rotada con coordenadas en el plano complejo, donde este decodificador reduce el impacto de esta complejidad mediante el uso de una aproximación en el cálculo de las distancias LLR. Esta simplificación permite que el decodificador, es decir, la realización hardware del decodificador de constelaciones rotadas, se reduzca en gran medida, mientras que las pérdidas de rendimiento son prácticamente despreciables.

ES 2 413 558 A2

DESCRIPCIÓN**DECODIFICADOR DE CONSTELACIONES ROTADAS Y MÉTODO DE
DECODIFICACIÓN**

5 El objeto de esta invención es un decodificador y método de decodificación simplificado, que implementando una técnica de reducción hardware, puede emplearse en cualquier receptor que haga uso de la técnica de las constelaciones rotadas, como por ejemplo el estándar DVB – T2, y se enmarca dentro de las disciplinas de la electrónica y el tratamiento digital de señales.

10 **ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR**

En el actual estado de la técnica se describen las principales implicaciones que conlleva el uso de constelaciones rotadas en el proceso de detección en el receptor. Debido a la independencia de los desvanecimientos sufridos por las componentes real e imaginaria en los sistemas que emplean constelaciones rotadas, éstas requieren que el receptor calcule métricas de verosimilitud logarítmica (LLR) bidimensionales en lugar de las unidimensionales que suelen usarse en las constelaciones QAM convencionales, es decir, sin rotar.

20 En un decodificador empleado para constelaciones rotadas, para cada bit b_i deben calcularse las métricas LLR a partir del punto de la constelación recibido (I, Q) . Dichas métricas se definen mediante la siguiente expresión:

$$LLR(b_i) = \ln \left(\frac{\Pr(b_i = 1 | I, Q)}{\Pr(b_i = 0 | I, Q)} \right)$$

25 Donde el \ln representa la operación logaritmo natural; $\Pr(b_i = 1 | I, Q)$ es la probabilidad condicional de que el bit transmitido b_i sea 1, habiéndose recibido el punto de constelación $I+jQ$ y $\Pr(b_i = 0 | I, Q)$ es la probabilidad condicional de que el bit transmitido sea 0 habiéndose recibido el punto de la constelación $I+ jQ$.

30 Así pues, sea x un punto ideal de la constelación rotada con coordenadas en el plano complejo: I_x y Q_x , sean p_I y p_Q los módulos de los desvanecimientos debido al canal, sufridos por la componente real e imaginaria respectivamente; y sea σ^2 la varianza del ruido presente a la entrada del receptor modelado como un ruido blanco gaussiano aditivo. La función de distribución de probabilidad condicional para la

recepción de unas determinadas coordenadas I y Q, conocido el punto x transmitido es:

$$p(I, Q | x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(I-\rho_I I_x)^2 + (Q-\rho_Q Q_x)^2}{2\sigma^2}}$$

5 Sea C_i^k el conjunto de puntos de la constelación ideal rotada para los que el bit i-ésimo toma el valor k, donde k toma los valores 0 o 1. La función de distribución de probabilidad correspondiente a la probabilidad de recibir el valor complejo I + jQ habiéndose transmitido el valor "1" viene dada por la siguiente expresión:

$$p(I, Q | b_i = 1) = \frac{1}{2^m \pi \sigma^2} \sum_{x \in C_i^1} e^{-\frac{(I-\rho_I I_x)^2 + (Q-\rho_Q Q_x)^2}{2\sigma^2}}$$

10 De forma análoga, la función de distribución de probabilidad correspondiente a la probabilidad de recibir el valor complejo I + jQ habiéndose transmitido el valor "0" viene dada por la siguiente expresión:

$$p(I, Q | b_i = 0) = \frac{1}{2^m \pi \sigma^2} \sum_{x \in C_i^0} e^{-\frac{(I-\rho_I I_x)^2 + (Q-\rho_Q Q_x)^2}{2\sigma^2}}$$

15 Haciendo uso del teorema de Bayes y suponiendo equiprobables los valores de los bits b_i , las métricas LLR pueden calcularse, pero esta ecuación resulta demasiado compleja para su implementación en un receptor y la mayoría de los receptores de hoy en día recurren a la aproximación Max – Log para simplificarla:

$$\ln(e^{a_1} + \dots + e^{a_k}) \approx \max_{i=1..k}(a_i)$$

Empleando la aproximación anterior, las métricas LLR pueden calcularse como:

$$LLR(b_i) \approx \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \min_{x \in C_i^0} \left((I - \rho_I I_x)^2 + (Q - \rho_Q Q_x)^2 \right) - \min_{x \in C_i^1} \left((I - \rho_I I_x)^2 + (Q - \rho_Q Q_x)^2 \right) \right\}$$

20 Donde la función mínimo representa la función para todos los puntos de la constelación rotada ideal x pertenecientes al conjunto C_i^k . De la ecuación anterior se desprende que, en el caso de una constelación QAM de m bits, debido a la búsqueda de los mínimos, cada punto requiere del cálculo de 2^m términos del tipo:

$$(I - \rho_I I_x)^2 + (Q - \rho_Q Q_x)^2$$

25 Sin embargo, cuando se emplean constelaciones **no rotadas**, las ecuaciones anteriores permiten una simplificación adicional que consiste en tratar de forma independiente la parte real e imaginaria. No obstante, ya se mencionó que en el caso de constelaciones rotadas esta simplificación no puede emplearse (al menos, sin degradar muy significativamente las prestaciones del sistema) debido a la fuerte

dependencia existente entre ambos ejes.

Por este motivo, el cálculo de $LLR(b_i)$ supone una complejidad muy elevada si el número de puntos de la constelación empleada es grande. Este es el caso, por ejemplo, del estándar DVB-T2, donde m puede llegar a valer 8, requiriéndose por tanto la evaluación de 256 expresiones como $(I - \rho_I I_x)^2 + (Q - \rho_Q Q_x)^2$ por cada punto recibido de la constelación.

En la práctica, los receptores de altas prestaciones deben implementar el cálculo de las LLR basándose en las ecuaciones anteriores, mientras que los de bajo coste pueden optar por diferentes simplificaciones a cambio de un deterioro muy notable de las prestaciones.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCIÓN

El problema técnico objetivo que se plantea en la presente invención es el del cálculo de las LLR de forma simple y sin apenas deterioro de las prestaciones del sistema. Tal y como se ha indicado en el estudio del estado de la técnica, el empleo de constelaciones rotadas en un sistema de telecomunicaciones implica un aumento de la complejidad del receptor debido al cálculo de las métricas LLR, que no permiten simplificaciones.

La solución a dicho problema técnico es un decodificador y un método de decodificación tal y como se indica en las reivindicaciones 1 y 2 que reduce el impacto de esta complejidad mediante el uso de una aproximación en el cálculo de las distancias LLR. Esta simplificación permite que el decodificador, es decir, la realización hardware del decodificador de constelaciones rotadas, se reduzca en gran medida, mientras que las pérdidas de rendimiento son prácticamente despreciables.

35

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

FIG.1 muestra una gráfica comparativa de las prestaciones entre el método
propuesto y el decodificador Max-Log. Los resultados han sido obtenidos mediante
5 simulación para el peor caso de un sistema DVB-T2: una constelación 256-QAM,
una tasa de codificación de 5/6 y el canal "Rayleigh Memoryless with Erasures"
definido en *European Telecommunications Standard Institute ETSI York, "Digital
Video Broadcasting (DVB); Frame structure, channel coding and modulation for a
Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB T2)," EN
10 302 755 V.1.1.1., Septiembre de 2009.*

15

20

25

30

35

EXPLICACIÓN DE UN MODO DE REALIZACIÓN DE LA INVENCION Y EJEMPLO

El método y decodificador preconizado por la presente invención, en vez de implementar la ecuación:

$$5 \quad LLR(b_i) \approx \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \min_{x \in C_i^0} \left((I - \rho_I I_x)^2 + (Q - \rho_Q Q_x)^2 \right) - \min_{x \in C_i^1} \left((I - \rho_I I_x)^2 + (Q - \rho_Q Q_x)^2 \right) \right\}$$

Para el decodificador de constelaciones rotadas, el método de decodificación preconizado por la presente invención, implementa dos etapas de cálculo:

i. Una primera etapa de cálculo, donde

10

a. I_{\min}^0 y Q_{\min}^0 que resultan de $\min_{x \in C_i^0} (abs(I - \rho_I I_x) + abs(Q - \rho_Q Q_x))$; y

b. I_{\min}^1 y Q_{\min}^1 que resultan de $\min_{x \in C_i^1} (abs(I - \rho_I I_x) + abs(Q - \rho_Q Q_x))$;

15 ii. Una segunda etapa de cálculo de la métrica LLR empleando los mínimos de la etapa anterior, e implementando:

$$LLR(b_i) = \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \left((I - \rho_I I_{\min}^0)^2 + (Q - \rho_Q Q_{\min}^0)^2 \right) - \left((I - \rho_I I_{\min}^1)^2 + (Q - \rho_Q Q_{\min}^1)^2 \right) \right\}$$

20 Con el primer paso se evitan calcular los cuadrados que aparecen en la ecuación anterior, ya que debido a la función mínimo deben calcularse dichos cuadrados para todos los valores posibles I_x, Q_x de la constelación ideal, por lo que esta reducción es considerable.

25 Para una 256-QAM, constelación empleada en el estándar DVB – T2, la técnica propuesta significa calcular para cada punto recibido 512 valores absolutos en vez de 512 multiplicaciones. Desde el punto de vista digital, dichos valores absolutos pueden calcularse empleando aritmética en *complemento a 1*, en lugar de aritmética en *complemento a 2*, reduciendo aún más la complejidad de la operación $abs(\cdot)$.

30 Con el segundo paso, la métrica LLR se calcula de manera ideal con los mínimos hallados en el paso 1, reduciendo al mínimo las pérdidas de implementación. Las pérdidas de implementación, medidas sobre la curva que representa la tasa de error de bit (BER) con respecto a la relación ruido a portadora en decibelios, a un nivel de

BER de 10^{-4} , para distintos medios de propagación se mantienen acotadas por debajo de 0,1 dB con respecto de un detector que haga uso de la aproximación Max Log tradicional.

- 5 La implementación de la presente invención puede realizarse de diversas maneras: tanto a nivel de bloque digital en un circuito integrado, hasta su implementación software en un procesador digital o un microprocesador.

10 En la figura 1 se comparan las prestaciones entre el método propuesto y el decodificador Max-Log. El eje vertical representa la tasa de error de bit (BER) medida a la salida del decodificador LDPC del sistema. En el eje horizontal se representa la relación portadora a ruido (C/N) medida en decibelios. Puede observarse que las pérdidas se encuentran siempre muy por debajo de 0.1dB.

REIVINDICACIONES

1.- Método de decodificación de constelaciones rotadas, como por ejemplo el
 5 implementado en decodificadores del estándar DVB – T2, en donde para cada bit b_i
 deben calcularse las métricas LLR a partir del punto de la constelación recibido
 (I_x, Q_x) y siendo x un punto ideal de la constelación rotada con coordenadas en el
 plano complejo: I_x y Q_x , siendo ρ_I y ρ_Q los módulos de los desvanecimientos debidos
 al canal, sufridos por el componente real e imaginario respectivamente; y sea σ^2 la
 10 varianza del ruido presente a la entrada del receptor modelado como un ruido blanco
 gaussiano aditivo que **se caracteriza porque** comprende,

i. Una primera etapa de cálculo, donde

a. I_{\min}^0 y Q_{\min}^0 que resultan de $\min_{x \in C_i^0} (abs(I - \rho_I I_x) + abs(Q - \rho_Q Q_x))$; y

b. I_{\min}^1 y Q_{\min}^1 que resultan de $\min_{x \in C_i^1} (abs(I - \rho_I I_x) + abs(Q - \rho_Q Q_x))$;

15 *ii.* Una segunda etapa de cálculo de la métrica LLR empleando los mínimos de
 la etapa anterior, e implementando:

$$LLR(b_i) = \frac{1}{2\sigma^2} \left\{ \left((I - \rho_I I_{\min}^0)^2 + (Q - \rho_Q Q_{\min}^0)^2 \right) - \left((I - \rho_I I_{\min}^1)^2 + (Q - \rho_Q Q_{\min}^1)^2 \right) \right\}$$

20 2.- Decodificador de constelaciones rotadas, que se caracteriza porque
 comprende medios físicos para ejecutar el método de la reivindicación 1.

FIGURA 1

