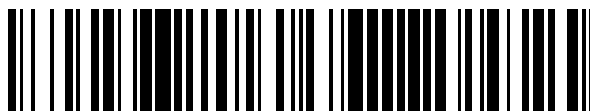


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 707**

51 Int. Cl.:

H04L 27/34

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.02.2009** **PCT/EP2009/051939**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.08.2009** **WO09103746**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.02.2009** **E 09712097 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018** **EP 2245818**

54 Título: **Modulación codificada con entrelazamiento de las vías I y Q y rotación optimizada**

30 Prioridad:

19.02.2008 FR 0851048

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

03.07.2018

73 Titular/es:

INSTITUT MINES TELECOM (100.0%)
37-39, rue Dareau
75014 Paris, FR

72 Inventor/es:

DOUILLARD, CATHERINE y
ABDEL NOUR, CHARBEL

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 674 707 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).

DESCRIPCION

Modulación codificada con entrelazamiento de las vías I y Q y rotación optimizada

1. Ambito de la invención

5 El ámbito de la invención es el de la transmisión de señales digitales, particularmente por medio de canales de transmisión de tipo no gaussiano.

Más precisamente, la invención se refiere a la mejora de la modulación de tales señales, particularmente en el caso de canales de transmisión que presentan fenómenos de desvanecimiento y/o de borrado.

2. Técnica anterior

10 **2.1 Modulación codificada de tipo « BICM» («Bit-Interleaved Coded Modulation» en inglés, para «Modulación codificada por entrelazamiento de bitio»)**

El esquema de principio de esta modulación codificada se ilustra en la figura 1, y asocia clásicamente un código corrector de errores 11, una función de entrelazamiento de bitios 12 y una codificación binaria de señal 13, también llamado función de «mapping» o encuadramiento.

15 Esta modulación codificada transforma una señal fuente recibida en la entrada S en dos componentes I y Q a la salida, hacia el canal de transmisión.

Esta modulación codificada BICM está particularmente bien adaptada para la transmisión de datos por canales no gaussianos, que presentan particularmente fenómenos de desvanecimiento de la información (llamados en inglés «fading channel»).

20 La figura 2 ilustra el esquema de principio de la desmodulación correspondiente a esta modulación codificada BICM, que comprende una función de desentrelazamiento («demapping») 21, o de estimación ponderada de los bitios recibidos, una función de desentrelazamiento 22 y un decodificador corrector de errores 23.

25 Con el fin de mejorar los rendimientos de la desmodulación, un proceso iterativo 31 (llamado desmodulación «ID» para «Iterative Demodulation» en inglés) puede ser colocado entre el decodificador corrector de errores y la función de desentrelazamiento, como se ha ilustrado en la figura 3. Este bucle iterativo 31 permite obtener ganancias en rendimiento de desmodulación, que dependen del tipo de código corrector de errores utilizado, del tipo de modulación realizada, de la función de encuadramiento utilizada en la modulación, del rendimiento de codificado y/o del tamaño de las tramas de información transmitido.

2.1 Inconvenientes de la modulación codificada de tipo «BICM»

30 Un inconveniente de esta técnica de modulación codificada «BICM» anteriormente descrita reside en el hecho de que las dos componentes I y Q son sometidas al mismo desvanecimiento y/o al mismo borrado. Así, en el caso de canal de desvanecimiento, este afecta a las dos componentes del mismo modo, y en el caso de canal de borrados, las dos componentes son borradas.

35 KIYANI N F ET AL: "OFDM with BICM-ID) and Rotated MPSK Constellations and Signal Space Diversity", XP031263345, constituye el estado de la técnica más parecido, en que describe también un sistema BICM con entrelazamiento de las vías I y Q, así como una rotación de la constelación.

3. Objetivos de la invención

La invención tiene particularmente por objeto paliar estos inconvenientes de la técnica anterior.

40 Más precisamente, un objetivo de la invención, según al menos un modo de realización, es mejorar los rendimientos de modulación particularmente en el caso de canales que presentan a la vez fenómenos de desvanecimiento y/o de borrado.

Otro objetivo de la invención, según al menos un modo de realización, es proporcionar dicha técnica de modulación sencilla y poco costosa de poner en práctica.

4. Exposición de la invención

45 La invención propone una solución nueva que no presente el conjunto de estos inconvenientes de la técnica anterior, en forma de un procedimiento de transmisión de una señal representativa de una señal fuente, destinada para ser transmitida por un canal de transmisión, que comprende las etapas siguientes:

- aplicación de un código corrector de errores a la indicada señal fuente, que proporciona una señal digital intermedia;
- entrelazamiento de los bits de dicha señal digital intermedia, proporcionando una señal entrelazada;
- aplicación de un codificado binario de señal, llamado encuadramiento, a la indicada señal entrelazada, que proporciona la señal a transmitir, utilizando una constelación de modulación que comprende las componentes I y Q,
- aplicación de un entrelazamiento de una de las indicadas componentes I o Q con relación a la otra.

Según la invención, un procedimiento de este tipo comprende, antes de la indicada etapa de aplicación de un entrelazamiento, una etapa de aplicación de una rotación a la indicada constelación de modulación, proporcionando un encuadramiento de la proyección de la constelación rotada, llamado encuadramiento proyectado, siendo la indicada rotación realizada según un ángulo cuyo valor es definido según las dos fases siguientes:

- una primera fase de determinación de al menos un margen de valores de ángulo, en función de un primer criterio;
- una segunda fase de selección de al menos un valor dentro del o de los indicados márgenes, en función de un segundo criterio,

siendo uno de los indicados criterios que el indicado encuadramiento proyectado sobre cada componente I y Q sea parecido a un encuadramiento de Gray, por cada punto de dicho encuadramiento proyectado, y el otro de los mencionados criterios teniendo en cuenta valores de la distancia producto mínima entre dos puntos de dicho encuadramiento proyectado y/o de la distancia euclidiana mínima entre dos proyecciones sobre una u otra de las componentes I o Q de los mencionados dos puntos, llamada distancia euclidiana mínima unidimensional.

Así, la invención se basa en un enfoque nuevo e inventivo de la modulación de una señal, que comprende la aplicación de una rotación a la constelación de modulación, según un ángulo cuyo valor está definido siguiendo un método experimental, teniendo en cuenta particularmente parámetros tales como el canal de transmisión, el código corrector de errores, la modulación, la utilización de la desmodulación iterativa, etc.

En efecto, contrariamente a los valores de ángulo conocidos por el experto en la materia y determinados de forma teórica, el procedimiento según la invención pone en práctica un método experimental de determinación del valor angular, con el fin de optimizar los rendimientos de la modulación.

El entrelazamiento aplicado a continuación sobre una de las componentes I o Q con relación a la otra permite separar las dos componentes durante la transmisión con el fin de que las mismas no sean sometidas al mismo borrado o a la misma atenuación.

Según un modo de realización particular de la invención, este entrelazamiento corresponde a un simple retardo, o desfase entre las dos componentes.

Así, la determinación de un valor de ángulo óptimo se realiza en dos fases, la primera que proporciona uno o varios márgenes de valor de ángulo, en función de un primer criterio, y la segunda que selecciona al menos un valor dentro de este o estos márgenes, en función de un segundo criterio, pudiendo estos criterios ser utilizados indistintamente para una u otra de estas dos fases.

Según una característica particular de la invención, la indicada primera fase determina al menos un margen de valores de ángulo, de forma que el indicado encuadramiento proyectado sobre cada componente I y Q esté próximo a un encuadramiento de Gray, para cada punto de dicho encuadramiento proyectado y la indicada segunda fase selecciona al menos un valor dentro del o de los indicados márgenes, en función de los valores de la distancia producto mínima entre dos puntos de dicho encuadramiento proyectado y/o de la distancia euclidiana mínima entre dos proyecciones sobre una u otra de las componentes I o Q de los indicados dos puntos, llamada distancia euclidiana mínima unidimensional.

La primera fase está basada en un criterio que consiste en buscar la obtención de un encuadramiento proyectado lo más parecido posible a un encuadramiento de Gray, con el fin de minimizar el porcentaje de errores binarios a la salida de la función de desencuadramiento.

La segunda fase está basada en el análisis de valores de distancias particulares, con el fin de seleccionar uno o varios valores de ángulo óptimos dentro del o de los márgenes de valores determinados en la primera fase.

El primer valor analizado corresponde a una distancia producto mínima entre los dos puntos de encuadramiento proyectado considerados anteriormente. Esta distancia proporciona particularmente informaciones sobre el comportamiento de la función de desencuadramiento con bajo porcentaje de errores, con respecto a los desvanecimientos.

El segundo valor de distancia analizado corresponde a una distancia euclidiana mínima unidimensional, es decir una

distancia euclidiana mínima entre dos proyecciones sobre una u otra de las componentes I o Q de dos puntos de encuadramiento proyectado. Esta distancia proporciona particularmente una información sobre el comportamiento de la función de desencuadramiento con bajo porcentaje de errores, respecto a los borrados.

- 5 Según las modulaciones, una u otra de estas distancias, o las dos, son analizadas en la segunda fase de determinación de un ángulo óptimo.

Así, según una característica particular de la invención, la indicada primera fase minimiza, en una componente de dicho encuadramiento proyectado, un número medio de bitios diferentes entre dos puntos próximos de dicho encuadramiento proyectado y/o un número de bitios diferente entre dos puntos de dicho encuadramiento proyectado situados en la mencionada distante distancia euclidiana mínima unidimensional.

- 10 Se selecciona así uno o varios márgenes de valores para el ángulo de rotación que corresponde a valores bajos de una y/u otra de estas dos magnitudes.

Según un aspecto particular de la invención, la indicada segunda fase descarta al menos un ángulo que minimiza la indicada distancia euclidiana mínima unidimensional y/o la indicada distancia producto.

- 15 Así, la segunda fase permite no solamente seleccionar uno o varios valores de ángulo óptimos, a partir del o de los márgenes proporcionados en la primera fase, sino también descarta algunos valores de ángulo a evitar, y particularmente valores de ángulo que corresponden a valores mínimos locales de una u otra de las distancias analizadas.

Según un modo de realización particular de la invención, el valor de dicho ángulo tiene en cuenta igualmente al menos un criterio perteneciente al grupo que comprende:

- 20
- el código corrector de errores utilizado;
 - la modulación utilizada;
 - el canal de transmisión;
 - el codificado binario de la señal utilizada;
 - el rendimiento de codificado;
- 25
- el tamaño de las tramas de la señal transmitida;
 - la constelación seleccionada para la modulación utilizada.

Así, la determinación de un valor de ángulo óptimo para la rotación de la constelación se basa en un cierto número de parámetros, que permiten una optimización de los rendimientos de modulación en numerosos casos reales de transmisión, y no solamente en casos teóricos, como en la técnica anterior.

- 30 Además, la modulación pertenece al grupo que comprende:

- las modulaciones de tipo QAM;
- las modulaciones de tipo PSK;
- las modulaciones de tipo APSK.

Así, la invención se aplica para todos los tipos de modulación, QAM, QPSK, APSK, etc.

- 35 Según un modo de realización particular de la invención, el indicado valor angular está comprendido entre $14,1^\circ$ y $17,1^\circ$, cuando la modulación utilizada es del tipo 16 QAM.

En particular, el valor del ángulo es igual a aproximadamente $16,8^\circ$, cuando la modulación utilizada es del tipo 16 QAM.

- 40 Según otro modo de realización particular de la invención, el indicado valor angular corresponde a uno de los indicados márgenes de valores:

- $[7,1^\circ - 7,9^\circ]$;
- $[8,3^\circ - 9,2^\circ]$;
- $[9,7^\circ - 11,0^\circ]$;

cuando la modulación utilizada es del tipo 64 QAM.

- 45 En particular, el valor del ángulo es igual al comprendido entre $8,6^\circ$ y $8,7^\circ$, cuando la modulación utilizada es del tipo 64 QAM.

Según todavía otro modo de realización particular de la invención, el indicado valor del ángulo corresponde a uno de los indicados márgenes de valores que corresponden a uno de los indicados márgenes de valores:

- $[3,5^{\circ} - 3,7^{\circ}]$;
- $[3,9^{\circ} - 4,0^{\circ}]$;
- $[4,2^{\circ} - 4,3^{\circ}]$;
- $[4,5^{\circ} - 5,1^{\circ}]$;
- $[42,8^{\circ} - 43,2^{\circ}]$,

5

cuando la modulación utilizada es del tipo 256 QAM.

En particular, el valor del ángulo es igual a $4,2^{\circ}$, cuando la modulación utilizada es del tipo 256 QAM.

Cuando la modulación utilizada es del tipo QPSK, el indicado valor del ángulo se encuentra comprendido entre $26,5^{\circ}$ y $33,2^{\circ}$, cuando la modulación utilizada es del tipo QPSK (también llamada 4 QAM).

10 En particular, el valor del ángulo es igual a $29,0^{\circ}$, cuando la modulación utilizada es del tipo QPSK.

Según un aspecto particular de la invención, el indicado valor del ángulo corresponde a uno de los indicados márgenes de valores:

- $[49,9^{\circ} - 58,5^{\circ}]$;
- $[76,5^{\circ} - 85,1^{\circ}]$,

15 cuando la modulación utilizada es del tipo 8PSK.

En particular, el indicado valor angular es igual a $55,7^{\circ}$ o $79,3^{\circ}$, cuando la modulación utilizada es del tipo 8PSK.

Según una característica particular de la invención, cuando la modulación utilizada es del tipo 16-APSK, el indicado valor angular corresponde al margen de valores $[6,0^{\circ} - 12,5^{\circ}]$ para $\gamma=3,15$ y al margen de valores $[6,0^{\circ} - 11,9^{\circ}]$ para $\gamma=2,57$, donde el indicado parámetro γ depende del rendimiento de codificado seleccionado.

20 En particular, el indicado valor angular está comprendido entre $9,9^{\circ}$ y $10,3^{\circ}$, cuando la modulación utilizada es del tipo 16-APSK.

Cuando la modulación utilizada es del tipo 32-APSK y los parámetros γ_1 y γ_2 , respectivamente iguales a 2,84 y 5,27, donde los indicados parámetros γ_1 y γ_2 dependen del rendimiento de codificado seleccionado, el mencionado valor angular corresponde al margen de valores $[91,7^{\circ} - 95,0^{\circ}]$.

25 En particular, el indicado valor angular es igual a $94,4^{\circ}$, cuando la modulación utilizada es del tipo 32-APSK.

Según un modo de realización particular, el indicado código corrector de errores corresponde al grupo que comprende:

- un código LDPC;
- un turbocódigo;
- un código de decodificado iterativo.

30

La invención se refiere igualmente a un dispositivo de transmisión de una señal representativa de una señal fuente, destinada para ser transmitida por medio de un canal de transmisión, que comprende:

- medios de aplicación de un código corrector de errores sobre la indicada señal fuente, proporcionando una señal digital intermedia;
- medios de entrelazamiento de los bits de dicha señal digital intermedia; que proporciona una señal entrelazada;
- medios de aplicación de un codificado binario de señal, llamado encuadramiento, a la indicada señal entrelazada, proporcionando la señal a transmitir, utilizando una constelación de modulación que comprende las componentes I y Q;
- medios de aplicación de un entrelazamiento de una de las indicadas componentes I o Q con relación a la otra.

35

40

Según la invención, un dispositivo de este tipo comprende medios de aplicación de una rotación a la indicada constelación de modulación, proporcionando un encuadramiento proyectado, realizándose la indicada rotación según un ángulo cuyo valor se define según las dos fases siguientes:

- primeros medios de determinación de al menos un margen de valores de ángulo, en función de un primer criterio;
- segundos medios de selección de al menos un valor en el o los indicados márgenes, en función de un segundo criterio,

45

siendo uno de los indicados criterios que el indicado encuadramiento en cada componente I y Q sea parecido a un encuadramiento de Gray, para cada punto de dicho encuadramiento, y el otro de los indicados criterios teniendo en cuenta los valores de la distancia producto mínima entre dos puntos de dicho encuadramiento y/o de la distancia euclidiana mínima entre dos proyecciones sobre una u otra de las componentes I o Q de los indicados dos puntos, llamada distancia euclidiana mínima unidimensional.

Un dispositivo de este tipo es particularmente apto para realizar el procedimiento de transmisión según la invención tal como se ha descrito anteriormente.

La invención se refiere también a un producto programa de ordenador cargable a distancia desde una red de comunicación y/o registrado en un soporte legible por ordenador y/o ejecutable por un procesador, que comprende instrucciones de código de programa para la realización del procedimiento de transmisión de la invención tal como se ha descrito anteriormente.

Por último, la invención se refiere a una señal representativa de una señal fuente, destinada para ser transmitida por un canal de transmisión según el procedimiento de transmisión de la invención tal como se ha descrito anteriormente.

5. Lista de las figuras

Otras características y ventajas de la invención aparecerán más claramente con la lectura de la descripción siguiente de un modo de realización particular, dado a título de simple ejemplo ilustrativo y no limitativo y de los dibujos adjuntos, entre los cuales:

- las figuras 1 y 2, ya comentadas en el preámbulo, ilustran respectivamente los esquemas de principio de una modulación y de una desmodulación de tipo «BICM»;
- la figura 3, igualmente comentada en el preámbulo, ilustra el esquema de principio de una desmodulación de tipo «BICM» con un bucle iterativo;
- la figura 4 ilustra el esquema de principio de la modulación según un modo de realización de la invención;
- la figura 5 ilustra un esquema de principio de una desmodulación que corresponde a la modulación según un modo de realización de la invención;
- la figura 6 presenta, para una modulación 256-QAM, diferentes resultados de porcentajes de errores binarios a la salida de una función de desencuadramiento clásica sin rotación ($\alpha = 0$), y de un desencuadramiento con rotación, respectivamente de valor $\alpha = \alpha_2$ y $\alpha = \alpha_3$;
- la figura 7 presenta diferentes curvas, para una modulación 64-QAM, que corresponden a:
 - curva 1: número de bitios diferentes, o distancia de Hamming, $d_{H,min}$, entre los dos puntos proyectados situados a la distancia euclidiana mínima unidimensional $d_{min}1D$;
 - curva 2: número medio de bitios diferentes, o distancia Hamming media, $d_{H,med}$, entre dos puntos próximos después de la proyección sobre una componente;
 - curva 3: distancia producto mínima, d_{π} , entre dos puntos cualesquiera de la constelación;
 - curva 4: distancia euclidiana mínima unidimensional $d_{min}1D$, entre dos puntos cualesquiera de la constelación después de la proyección de los puntos sobre una de las dos componentes, I o Q;
- la figura 8 presenta las etapas de determinación de un valor de ángulo según el modo de realización de la invención;
- la figura 9 presenta diferentes curvas, para una modulación 8-PSK, y valores de ángulos comprendidos entre 0° y 90° , que corresponden a:
 - curva 1: número de bitios diferentes, o distancia de Hamming, $d_{H,min}$, entre los puntos proyectados situados a la distancia euclidiana mínima unidimensional $d_{min}1D$;
 - curva 2: número medio de bitios diferentes, o distancia de Hamming media, $d_{H,med}$, entre dos puntos próximos después de la proyección sobre una componente.
 - curva 3: distancia producto mínima, d_{π} , entre dos puntos cualesquiera de la constelación;
 - curva 4: distancia euclidiana mínima unidimensional $d_{min}1D$, entre dos puntos cualesquiera de la constelación después de la proyección de los puntos sobre una de las dos componentes, I o Q;
- la figura 10 ilustra un ejemplo de constelación 8PSK con un ángulo de rotación $\alpha = 7,9^\circ$ con relación al eje I;

- la figura 11 presenta un ejemplo de constelación para una modulación del tipo 8PSK;

- las figuras 12 y 13 presentan diferentes curvas de porcentajes de errores binarios a la salida de un desentrecuador 8PSK, y para diferentes valores de ángulos de rotación α , y respectivamente para una transmisión por canal de Rayleigh con un 15% de borrados y para una transmisión por canal de Rayleigh sin borrado, que corresponden a:

- curva 1: borne inferior del margen angular retenido;
- curva 2: valor angular correspondiente al pico de $d_{min}1D$;
- curva 3: ángulo de compromiso retenido;
- curva 4: técnica anterior;

- la figura 14 presenta un ejemplo de constelación para una modulación del tipo 16-APSK;

- las figuras 15 y 16 presentan diferentes curvas de mediciones de distancias sobre la constelación 16APSK, para valores de ángulos comprendidos entre 0° y 45° , y respectivamente para $\gamma = 3,15$ y $\gamma = 2,57$, que corresponden a:

- curva 1: número de bits diferentes, o distancia de Hamming, $d_{H,min}$, entre los puntos proyectados situados a la distancia euclidiana mínima unidimensional $d_{min}1D$;
- curva 2: número medio de bits diferentes, o distancia de Hamming media, $d_{H,med}$, entre dos puntos próximos después de la proyección sobre una componente;
- curva 3: distancia producto mínima, d_{η} , entre dos puntos cualesquiera de la constelación;
- curva 4: distancia euclidiana mínima unidimensional $d_{min}1D$, entre dos puntos cualesquiera de la constelación después de la proyección de los puntos sobre una de las dos componentes, I o Q ;

- las figuras 17 y 18 presentan diferentes curvas de porcentajes de errores binarios a la salida del desentrecuador 16PSK, con $\gamma = 3,15$, para diferentes valores de ángulos de rotación α , y respectivamente para una transmisión por canal de Rayleigh con un 15% de borrados y para una transmisión por canal de Rayleigh sin borrado, que corresponden a:

- curva 1: borne superior del margen angular retenido;

- curva 2: valor angular correspondiente al pico de $d_{min}1D$;
- curva 3: técnica anterior;

- la figura 19 presenta un ejemplo de constelación para una modulación del tipo 32-APSK;

- la figura 20 presenta diferentes curvas de mediciones de distancias sobre la constelación 32-APSK, para valores de ángulos comprendidos entre 0° y 180° , y para $\gamma_1 = 2,84$ y $\gamma_2 = 5,27$, que corresponden a:

- curva 1: número de bits diferentes, o distancia de Hamming, $d_{H,min}$, entre los puntos proyectados situados a la distancia euclidiana mínima unidimensional $d_{min}1D$;
- curva 2: número de bits diferentes, o distancia de Hamming media, $d_{H,med}$, entre dos puntos próximos después de la proyección sobre una componente;
- curva 3: distancia producto mínima, d_{η} , entre dos puntos cualesquiera de la constelación;
- curva 4: distancia euclidiana mínima unidimensional $d_{min}1D$, entre dos puntos cualesquiera de la constelación después de la proyección de los puntos sobre una de las dos componentes, I o Q .

6. Descripción de un modo de realización de la invención

6.1 Principio general

La invención se aplica a la transmisión de señales digitales, particularmente por medio de canales de transmisión de tipo no gaussiano. Particularmente, la invención puede aplicarse ventajosamente en la transmisión de señales digitales de imágenes, por ejemplo, según las normas DVB-T2 o DVB-S2 y a los futuros estándares que se desarrollarán.

El principio general de la invención se basa en la determinación experimental de un valor de ángulo de rotación para aplicar a la constelación de modulación, en función de un cierto número de criterios predeterminados, con el fin de optimizar los rendimientos de la modulación.

5 La determinación del valor de ángulo puede descomponerse en dos fases, la primera que proporciona uno o varios márgenes de valores de ángulo, y la segunda que permite seleccionar al menos un valor dentro de este o estos márgenes.

10 La invención se basa igualmente en la aplicación de un entrelazamiento de una de las dos componentes I o Q con relación a la otra. En un modo de realización particular de la invención, este entrelazamiento corresponde a la aplicación de un retardo entre las componentes I y Q de la constelación rotada (es decir después de la aplicación de la rotación anteriormente citada).

El principio de la invención se ilustra en la figura 4, en la cual aparecen particularmente los bloques 40 de aplicación de una rotación de un ángulo α y 41 de aplicación de un retardo entre las componentes I y Q. Estos dos aspectos de la invención se describen más precisamente a continuación en relación con un modo de realización.

6.2 Descripción de un modo de realización

15 6.2.1 Canales de desvanecimientos

En el caso de un modulador clásico (por ejemplo, un modulador QAM para DVB-T2), por ejemplo tal como se ha descrito en el preámbulo, la señal transmitida en el instante n , llamada x_n , se multiplica por un coeficiente de atenuación. La señal recibida en el instante n se escribe:

$$20 \quad y_n = \rho_n x_n + b_n = \rho_n (x_n^I + jx_n^Q) + (b_n^I + jb_n^Q)$$

donde b_n^I y b_n^Q designan dos variables gaussianas independientes, y ρ_n es una modelización de la atenuación.

25 En el caso del procedimiento de transmisión según un modo de realización de la invención, la aplicación de una rotación y de un retardo (o de un entrelazamiento), implican que las dos componentes de x_n no son sometidas a la misma atenuación. La señal recibida en el instante n a la entrada de la función de desencuadramiento se escribe bajo la forma:

$$y_n = \rho_n^I x_n^I + j\rho_n^Q x_n^Q + (b_n^I + jb_n^Q)$$

30 Esto produce una modificación de los rendimientos de la función de desencuadramiento con relación al esquema clásico, como se ha ilustrado en la figura 6, que muestra en un ejemplo las curvas de porcentajes de errores binarios a la salida de la función de desencuadramiento de una modulación del tipo 256-QAM para un esquema clásico tal como el ilustrado en la figura 3, y en el caso de un encuadramiento según la invención (con rotación de la constelación y retardo entre las componentes I y Q), para dos valores de ángulos $\pi/8$ y $\arctan(1/16)$.

35 La literatura propone un criterio de determinación del ángulo «óptimo» por cálculos de bornes sobre el porcentaje de errores binarios a la salida de la función de desencuadramiento. Se muestra, en el documento « J. Boutros, E. Viterbo, C. Rastello, and J.-C. Belfiore, "Good lattice constellations for both Rayleigh fading and Gaussian channels", *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 42, nº 2, páginas 502 – 518, Marzo 1996 », que el porcentaje de errores asintótico a la salida de la función de desencuadramiento es mínimo si la distancia producto mínima d_n entre 2 puntos cualesquiera de la constelación es máxima:

$$40 \quad d_{\Pi} = \min_{(X,Y) \in C} (|X_I - Y_I| \times |X_Q - Y_Q|)$$

donde: X e Y representan dos símbolos distintos cualesquiera de la constelación C y X_I , X_Q , Y_I e Y_Q designan sus proyecciones respectivas sobre las componentes en fase I y en cuadratura Q.

El resultado del cálculo de la distancia d_n para la modulación del tipo 64-QAM se ilustra en la figura 7 (curva 3).

45 Se observa que para las modulaciones QAM de orden inferior o igual a 1024, d_n es máxima para el ángulo $\alpha_1 \approx 31,7^\circ$. Es el primer valor angular que se encuentra en la literatura.

Para las modulaciones QAM de órdenes 16, 64 y 256 (y hasta 4096), observando los picos en las curvas, se puede encontrar un segundo valor angular, $\alpha_2 = 22,5^\circ$ ($\pi/8$ rad) que corresponde a un máximo local de d_n . Es el segundo valor angular que se encuentra en la literatura, y particularmente en el documento «X. Giraud, E. Boutillon, and J.-C. Belfiore "Algebraic tools to build modulation schemes for fading channels", *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. 43, nº 3, páginas 938 – 952, Mayo 1997». Este valor de ángulo ha sido igualmente utilizado en el sistema de modulación codificada presentado en «C. Abdel Nour, C. Douillard "On Lowering the error floor of high-order turbo BICM schemes over fading channels", *GLOBECOM'06: 49th IEEE Global Telecommunications conference*, Nov-Dec, San Francisco, CA, USA, 2006».

Siguiendo la modulación, uno u otro de estos dos valores teóricos permite minimizar el porcentaje de errores asintótico, es decir para valores muy fuertes de relaciones de señal de ruido (la parte baja de la curva de porcentajes de errores).

Sin embargo, en la práctica, se observa que para porcentajes de errores binarios elevados, es decir los que se observan a la entrada del decodificador corrector de errores (típicamente entre 10^{-2} y 10^{-1}), estos valores de ángulos teóricos no conducen necesariamente a los mejores rendimientos y pueden degradarlos con relación a un esquema de encuadramiento/desencuadramiento clásico.

En la práctica, cuando se disminuye el valor de d_n cambiando el valor del ángulo α , los rendimientos con fuertes porcentajes de errores se mejoran con relación a $\alpha = \alpha_1$ o $\alpha = \alpha_2$, pero en contrapartida, los rendimientos asintóticos se degradan.

Más generalmente, la elección del ángulo «óptimo» para los canales de transmisión de desvanecimientos depende de la relación señal de ruido («SNR») en el canal.

Además, cuando el codificado corrector de errores se introduce en la cadena, el punto de funcionamiento óptimo del desencuadramiento depende del código utilizado, del rendimiento de codificado, pero también del tamaño de las tramas transmitidas.

Se muestra entonces interesante proponer un margen de ángulos de rotación más bien que un ángulo fijo, como se presenta a continuación, en el caso de canales de desvanecimientos y de borrados.

6.2.2 Canales gaussianos de borrados

En ciertas condiciones de transmisión «severas», fenómenos de desvanecimiento, o de atenuación, profundos aparecen. Estos fenómenos pueden ser asimilables a borrados, es decir a una pérdida total de la señal. Estos canales se denominan canales de borrados.

En el caso de estos canales de transmisión, las señales transmitidas pueden ser borradas con una probabilidad P_e . Hay que observar que esta probabilidad de borrado fija un límite superior al rendimiento del codificado del código utilizado, que no puede ser superior a $1/P_e$.

Según la invención, la aplicación de la rotación a la constelación de modulación permite a las componentes I y Q relacionadas con un símbolo de modulación contener las dos el conjunto de informaciones del símbolo.

Además, la aplicación del retardo entre las vías I y Q permite a la señal efectivamente transmitida por el canal contener informaciones relacionadas con dos símbolos de modulación diferentes y, viceversa, las informaciones relacionadas con cada símbolo de la modulación están presentes en dos señales transmitidas diferentes.

Así, cuando una señal es borrada, dos símbolos son afectados por ello, pero solo se pierde una componente de cada símbolo. La componente que queda puede entonces ser utilizada para recuperar toda la información.

La aplicación de un retardo, en este modo de realización particular de la invención, corresponde a una forma simplificada de entrelazamiento. Se entiende que un entrelazamiento tendría por consiguiente los mismos efectos sobre las señales transmitidas.

En el caso de un canal gaussiano sin borrado, los rendimientos de una modulación según la invención, tal como se ha ilustrado en la figura 3, están relacionados particularmente con los dos parámetros siguientes:

- el encuadramiento, es decir el codificado binario de los puntos de la constelación, que debe ser lo más parecido posible a un encuadramiento de Gray (en el cual los codificados binarios de dos puntos próximos de la constelación solo difieren por un bitio). El encuadramiento es sobre todo importante para los rendimientos con fuertes y medianos porcentajes de errores;
- la distancia euclidiana mínima entre dos puntos de la constelación, que debe ser maximizada. Este criterio de distancia influye esencialmente en los rendimientos con bajos porcentajes de errores.

En el caso de un canal gaussiano con borrados, el cálculo de distancia se vuelve unidimensional, es decir que solo toma en cuenta la proyección de símbolos en la componente restante, I o Q.

Sucede lo mismo para el encuadramiento.

- 5 En este caso, es preciso que el encuadramiento en cada una de las componentes I y Q sea lo más parecido posible a un encuadramiento de Gray. Es preciso igualmente maximizar la distancia euclidiana mínima «1-D», llamada d_{min1D} , medida entre la proyección de dos puntos sobre una componente. El resultado del cálculo de esta distancia d_{min1D} para la modulación 64-QAM se ilustra en la figura 7.

Para las modulaciones de tipo QAM, se puede mostrar que el valor máximo de d_{min1D} se obtiene para una distribución uniforme de los símbolos proyectados sobre cada eje. Esta distribución uniforme se obtiene para una

- 10 rotación de ángulo $\alpha_3 = \text{atan}\left(\frac{1}{2^{m/2}}\right)$, donde m designa el número de bits por símbolo para la modulación

considerada. En la práctica, este valor de ángulo corresponde a un encuadramiento muy parecido al encuadramiento de Gray.

En el caso de la modulación 64-QAM, $\alpha_3 = \text{atan}\left(\frac{1}{8}\right) \approx 7,1^\circ$.

- 15 Se observa por simulación que este valor angular conduce efectivamente a los mejores rendimientos en términos de porcentaje de errores en este tipo de canales, pero no en el caso de los canales de desvanecimientos.

Se presenta ahora el caso de los canales de desvanecimientos y borrados.

6.2.3 Canales de desvanecimientos con borrados

La invención propone determinar un valor de ángulo óptimo en el caso de canales de desvanecimientos con borrados, de forma experimental, y no teórica como las técnicas del arte anterior.

- 20 Según la invención, la determinación de un valor de ángulo se realiza en dos fases, una primera que proporciona un margen de valores de ángulos, a partir de al menos un primer criterio, y una segunda fase que permite seleccionar un valor de ángulo, dentro de este o estos márgenes de valores procedentes de la primera fase, a partir de al menos un segundo criterio, distinto del o de los primeros criterios. El orden de toma en cuenta de los criterios es intercambiable, según los modos de realización, como lo muestran los ejemplos dados a continuación.

- 25 En otras palabras, es posible realizar la primera fase teniendo en cuenta un criterio que trata de satisfacer la condición según la cual el indicado encuadramiento proyectado sobre cada componente I y Q sea parecido a un encuadramiento de Gray, para cada punto de dicho encuadramiento proyectado, o de un criterio que tenga en cuenta valores de la distancia producto mínima entre dos puntos de dicho encuadramiento proyectado y/o de la distancia euclidiana mínima entre dos proyecciones sobre una u otra de las componentes I o Q de los indicados dos puntos, llamada distancia euclidiana mínima unidimensional. La segunda fase tendrá en cuenta el criterio no
- 30 utilizado por la primera fase, entre los dos criterios relacionados más arriba.

Hay que observar que, en el caso de las modulaciones del tipo QAM, por razones de simetría, la determinación de un valor de ángulo puede realizarse entre 0° y 45° , como se precisa a continuación en la descripción de un ejemplo de aplicación.

- 35 Se presentan estas dos fases, en relación con la figura 8, según este modo de realización de la invención, para una modulación del tipo QAM.

La primera fase 81 se basa en el encuadramiento de los puntos proyectados sobre cada componente (I y Q). En efecto, con el fin de minimizar el porcentaje de errores binarios a la salida de la función de desencuadramiento, es interesante disponer de un encuadramiento sobre cada una de las componentes I y Q que sea lo más parecido

40 posible a un encuadramiento de Gray.

Para ello, las dos magnitudes siguientes son estudiadas y minimizadas:

- el número medio de bits diferentes, o distancia de Hamming, $d_{H,min}$, entre dos puntos próximos sobre una componente (curva 2 en la figura 7);
 - el número de bits diferentes, o distancia de Hamming, $d_{H,min}$, entre dos puntos situados a la distancia de d_{min1D} sobre una componente (curva 1 en la figura 7).
- 45

Los márgenes de ángulos que corresponden a valores bajos de estas magnitudes permiten obtener buenos rendimientos de la función de desencuadramiento con fuertes y medianos porcentajes de errores.

La segunda fase 82 está destinada para afinar los márgenes de ángulos determinados al inicio de la fase 81. La misma está basada en el análisis de las propiedades de la distancia d_n (ya descrita anteriormente), que proporciona una información sobre los rendimientos con bajo porcentaje de errores del desencuadramiento en el caso de canales con desvanecimientos.

- 5 En esta fase 82, solo se conservan los ángulos que se comportan mejor asintóticamente sobre los canales con desvanecimientos que el ángulo óptimo para los canales de borrados, a saber $\alpha_3 = \text{atan}\left(\frac{1}{2^{m/2}}\right)$. Dicho de otro modo, solo se retienen los ángulos que verifican $d_{11}(\alpha) \geq d_{11}\left(\text{atan}\left(\frac{1}{2^{m/2}}\right)\right)$.

El conjunto de los ángulos obtenidos al inicio de la segunda fase 82 son admisibles en la práctica.

No obstante, los valores de ángulos que corresponden a los valores de d_n más bajos (en la práctica los ángulos

- 10 más parecidos a $\alpha_3 = \text{atan}\left(\frac{1}{2^{m/2}}\right)$, y de 45° para algunas modulaciones de orden elevado tal como la 256-

QAM) convienen para la transmisión sobre canales con fuertes porcentajes de borrados mientras que los valores de ángulos correspondientes a los valores de d_n más fuertes se preferirán cuando el porcentaje de borrado sea bajo, incluso nulo.

Así, la elección final del ángulo α para una aplicación dada depende de varios factores:

- 15 - del porcentaje de borrados en el canal de transmisión, como se ha explicado anteriormente;
 - del encuadramiento: para un conjunto de ángulos con las mismas propiedades de distancia, se elegirán de preferencia los que corresponden a un encuadramiento sobre cada componente lo más parecido posible a un encuadramiento de Gray. Esta condición es particularmente importante si no se utiliza desmodulación iterativa en recepción. Si un receptor de desmodulación iterativa es utilizado, esta obligación puede ser un
 20 poco relajada pues la desmodulación iterativa permite entonces en general recuperar la pérdida de rendimiento producida por el encuadramiento.

Las propiedades de la distancia d_{min1D} pueden igualmente ser tomadas en cuenta. Esta distancia proporciona una información sobre el comportamiento con bajo porcentaje de errores respecto a los borrados.

- 25 Hay que observar que cuanto más se aumenta el orden de la modulación, más importante es la influencia de d_{min1D} en porcentajes de errores elevados.

Así, a título de ejemplo, el valor de d_{min1D} es más importante para una modulación del tipo 256-QAM que para una modulación de tipo 16-QAM.

Para un conjunto de ángulos con las mismas propiedades de encuadramiento y de distancia d_n , se retendrán de preferencia los ángulos que corresponden al valor d_{min1D} más elevado.

- 30 La validación final del ángulo se realiza a partir del trazado de la curva de porcentajes de errores binarios a la salida de la función de desencuadramiento y de su comparación con relación al caso de una modulación codificada BICM clásica (sin rotación y sin desfase). Se trata de comprobar que el punto de cruce entre las dos curvas se sitúa en una relación señal con ruido inferior al punto de funcionamiento del código corrector de errores utilizado.

- 35 A título de ejemplo, en la figura 6, la curva correspondiente al ángulo de rotación $\pi/8$ cruza la curva de desencuadramiento clásico a aproximadamente 17 dB. Esto implica que una ganancia en rendimiento con este ángulo solo es posible si el punto de funcionamiento del descodificador es superior a 17 dB (tomando en cuenta la adición del factor correctivo $-10 \log R$ relacionado con el rendimiento de codificado R).

En el caso de las modulaciones del tipo PSK y A-PSK, la distancia euclidiana 1D (d_{min1D}), la distancia producto 2D(d_n) y las magnitudes relativas al encuadramiento son igualmente utilizadas para determinar el ángulo óptimo.

- 40 Sin embargo, estas diferentes mediciones dependen de la geometría de la constelación dentro del espacio de las señales. En particular, en el caso de las constelaciones PSK, un cierto número de requisitos de origen geométrico se deben al hecho de que todos los puntos están situados en un mismo círculo.

Así, en la primera fase 81, solo la primera magnitud, también llamada distancia de Hamming mediana y llamada $d_{H,med}$, se utiliza con el fin de determinar los márgenes de ángulos.

- 45 Siempre en el caso de las modulaciones del tipo PSK y A-PSK, la segunda fase 82 está igualmente basada en el análisis de las propiedades de la distancia d_n (ya descrita anteriormente), que proporciona una información sobre los rendimientos con bajo porcentaje de errores del desencuadramiento en el caso de canales con desvanecimientos.

Además, en esta fase 82, solo se conservan los ángulos que verifican $d_{min1D}(\alpha) \geq d_{min1D}(\alpha_1)$, donde α_1 es el ángulo correspondiente al pico más próximo de d_n .

Contrariamente a las modulaciones QAM, el ángulo que maximiza d_{min1D} no tiene propiedad particular desde un punto de vista geométrico para la 8PSK y las 16APSK.

- 5 En efecto, en el caso de una constelación MPSK con $M \geq 8$, los ángulos que maximizan d_{min1D} ($7,9^\circ$ y $37,1^\circ$ módulo 45° , como se ha ilustrado en la figura 9) no corresponden a una distribución uniforme de los símbolos proyectados (como se ha ilustrado en la figura 10, que presenta un ejemplo de constelación 8PSK con un ángulo de rotación $\alpha = 7,9^\circ$ con relación al eje I, correspondiendo este ángulo a una maximización de d_{min1D} , de los puntos proyectados sobre I o Q).

- 10 Por ejemplo, para una modulación del tipo 8PSK, no existe ángulo de rotación que conduzca a una distribución uniforme de los símbolos proyectados. Esto es igualmente cierto para las modulaciones del tipo APSK cuyos puntos están situados sobre varios círculos concéntricos.

- 15 Además, para las modulaciones de tipo QAM, las consideraciones de simetría permiten restablecer el estudio de los ángulos en el intervalo $[0, 45^\circ]$. Para las MPSK ($M \geq 8$) y las APSK, estas consideraciones de simetrías no son siempre válidas. Se observa bien una repetición o una simetría de las unidades de distancia producto d_n y de distancia mínima unidimensional d_{min1D} para los ángulos múltiples de 45° , pero esto no es cierto, en general, para las magnitudes relacionadas con el encuadramiento.

Diferentes ejemplos de aplicación para las modulaciones de tipo QAM, PSK y APSK se describen con más detalle a continuación.

20 6.3 Ejemplos de aplicación

En el caso de una modulación del tipo 64-QAM (figura 7), la primera fase 81 permite retener el margen angular siguiente: $\alpha < 11,3^\circ$ en el intervalo $[0^\circ - 45^\circ]$.

Por consideraciones de simetría, se puede limitar la búsqueda del ángulo en el intervalo $[0^\circ, 45^\circ]$. Así, si un ángulo α en este intervalo responde al problema, puede ser sustituido por cualquiera de los 7 ángulos siguientes:

- 25
$$\frac{\pi}{2} - \alpha, \frac{\pi}{2} + \alpha, \pi - \alpha, \pi + \alpha, \frac{3\pi}{2} - \alpha, \frac{3\pi}{2} + \alpha \text{ et } 2\pi - \alpha.$$

La segunda fase 82 permite seleccionar los valores de ángulo correspondiente a una distancia

$d_{\Pi}(\alpha) \geq d_{\Pi}\left(\tan\left(\frac{1}{8}\right) \approx 7,1^\circ\right)$. Los ángulos retenidos pertenecen a los márgenes $[7,1^\circ - 7,9^\circ]$, $[8,3^\circ - 9,2^\circ]$ o $[9,7^\circ - 11,0^\circ]$.

- 30 La elección de un valor de ángulo de compromiso que permite considerar una amplia gama de porcentajes de borrados (típicamente del 0 al 15%) y una amplia gama de rendimientos de codificado corresponde al pico de d_{min1D} en el intervalo $[8,3^\circ - 9,2^\circ]$, a saber a comprendido entre $8,6^\circ$ y $8,7^\circ$.

En el caso de una modulación del tipo 16-QAM, los resultados de las dos fases de determinación de un valor de ángulo son las siguientes:

Fase 1: $\alpha \leq 18,5^\circ$

- 35 Fase: 2: $d_{\Pi}(\alpha) \geq d_{\Pi}\left(\tan\left(\frac{1}{4}\right) \approx 14,1^\circ\right) \Rightarrow \alpha \in [14,1^\circ - 17,1^\circ]$

La elección final para un ángulo de compromiso que permite considerar una amplia gama de porcentajes de borrados (típicamente del 0 al 15%) y una amplia gama de rendimientos de codificado corresponde al pico de d_n en el intervalo $[14,1^\circ - 17,1^\circ]$ a saber $\alpha = 16,8^\circ$. En el caso de la 16-QAM, la distancia d_{min1D} no ha sido tomada en cuenta pues su influencia solo se deja sentir para los porcentajes de errores muy bajos.

- 40 En el caso de una modulación del tipo 256-QAM, los resultados de las dos fases de determinación de un valor de ángulo son los siguientes:

Fase 1: $\alpha \leq 5,1^\circ$ o $\alpha \leq 42,6^\circ$

Fase 2: $d_{\Pi}(\alpha) \geq d_{\Pi}\left(\tan\left(\frac{1}{16}\right) \approx 3,5^\circ\right) \Rightarrow \alpha \in [3,5^\circ - 3,7^\circ] \text{ o } [3,9^\circ - 4,0^\circ] \text{ o } [4,2^\circ - 4,3^\circ] \text{ o } [4,5^\circ - 5,1^\circ] \text{ o } [42,8^\circ - 43,2^\circ]$.

El valor final que representa un buen compromiso para los diferentes porcentajes de borrados y rendimientos de codificado corresponde al pico local de d_n y $d_{min}1D$ dentro del intervalo $[4,2^\circ - 4,3^\circ]$ a saber $\alpha = 4,2^\circ$.

En el caso de una modulación del tipo QPSK o 4QAM, la primera fase no es aplicable. En efecto, el número medio de bits diferentes entre dos puntos próximos sobre una componente es invariable dentro del intervalo $[0^\circ - 45^\circ]$. El resultado de la segunda fase de determinación de un margen de ángulos es el siguiente:

$$\text{Fase 2: } d_{II}(\alpha) \geq d_{II}\left(\text{atan}\left(\frac{1}{2}\right) \approx 26,5^\circ\right) \Rightarrow \alpha \in [26,5^\circ - 33,2^\circ]$$

La elección final para un ángulo de compromiso que permite considerar una amplia gama de porcentajes de borrados y una amplia gama de rendimientos de codificado corresponde a un compromiso entre el valor de d_n y $d_{min}1D$ a saber $\alpha = 29,0^\circ$. Este valor permite particularmente lograr ganancias más importantes cuando un proceso de desmodulación iterativa se utiliza en el receptor.

La invención puede igualmente aplicarse particularmente en las modulaciones del tipo MPSK, con $M \geq 8$, y APSK.

En estos casos, las consideraciones de simetría permiten restablecer el estudio de los ángulos en el intervalo $[0^\circ - 90^\circ]$ para la modulación 8PSK, el intervalo $[0^\circ - 45^\circ]$ para la modulación 16APSK, y el intervalo $[0^\circ - 180^\circ]$ para la modulación 32APSK, para las constelaciones que utilizan un encuadramiento de Gray.

Por ejemplo, para la modulación 8PSK, no se puede estudiar el ángulo sobre el intervalo más limitado $[0 - 45^\circ]$ pues el encuadramiento de los puntos de la constelación está construido de tal forma que el número medio de bits diferentes (es decir la distancia de Hamming media $d_{H,med}$) entre dos puntos próximos de la constelación después de la proyección no es el mismo en el intervalo $[0^\circ - 45^\circ]$ y en el intervalo $[45^\circ - 90^\circ]$, como se ha ilustrado en la figura 9.

Se considera ahora el caso de una modulación del tipo 8PSK tal como la ilustrada en la figura 11. La constelación seleccionada para ejemplo corresponde a la adoptada en el estándar DVB-S2 (norma versión 2 para la transmisión satélite).

Según este ejemplo de aplicación, la primera fase permite retener el margen de ángulo para el cual la distancia de Hamming media $d_{H,med}$ es pequeña, o sea inferior a 2, es decir para $\alpha \geq 45^\circ$ en el intervalo $[0^\circ - 90^\circ]$.

Por consideraciones de simetría, se puede limitar la búsqueda del ángulo en el intervalo $[0^\circ - 90^\circ]$. Si un ángulo α de este intervalo responde al problema, puede ser sustituido por cualquiera de los 3 ángulos siguientes:

$$\alpha + \frac{\pi}{2}, \alpha + \pi \text{ o } \alpha + \frac{3\pi}{2}.$$

Para garantizar un buen comportamiento con bajo porcentaje de errores en los canales de desvanecimiento y de borrados, solo es preciso conservar los ángulos que corresponden a los valores de las distancias d_n y $d_{min}1D$ lo suficientemente elevadas. Los valores de distancias admisibles dependen en la práctica del porcentaje de borrado en el canal (cuanto más elevado es el porcentaje de borrado, más es preciso favorecer la distancia $d_{min}1D$ con relación a la distancia d_n).

Sin embargo, debido a los requerimientos geométricos relacionados con la colocación del conjunto de puntos en un mismo círculo en el caso de la modulación del tipo 8PSK, el caso de la distribución uniforme sobre un eje no existe y las regiones de picos de $d_{min}1D$ y de d_n no coinciden (como se ha ilustrado en la figura 9), contrariamente al caso de las modulaciones del tipo QAM.

La segunda fase permite seleccionar los valores de ángulo que corresponden a una distancia $d_{min}1D(\alpha) \geq d_{min}1D(\alpha_1)$, donde α_1 es el ángulo que corresponde al pico más próximo de d_n , a saber $\alpha_1 = 49,9^\circ$.

Debido a las propiedades de simetría de las distancias $d_{min}1D$ y d_n con relación a los ángulos $k \frac{\pi}{8}$ (y por consiguiente, en el intervalo $[45^\circ - 90^\circ]$, con relación al ángulo $(\frac{3\pi}{8}) = 67,5^\circ$), se obtienen dos márgenes de

ángulos: $49,9^\circ \leq \alpha \leq 58,5^\circ$ y $76,5^\circ \leq \alpha \leq 85,1^\circ$.

La elección de un valor de ángulo de compromiso que conduce a buenos rendimientos, tanto para transmisiones por canales de desvanecimientos sin borrado como por canales de desvanecimientos con borrados, y esto para un amplio margen de porcentajes de borrados, corresponde a un valor $d_{H,min}$ bajo, o sea $\alpha \geq 52,9^\circ$ dentro del margen $[49,9^\circ - 58,5^\circ]$ o $\alpha \leq 82,1^\circ$ dentro del margen $[76,5^\circ - 85,1^\circ]$.

Para una transmisión por canal de desvanecimientos con un 15% de borrados (como se ha ilustrado en la figura 12), el valor de ángulo que minimiza el porcentaje de errores a la salida del desentrecador está situado:

- para el margen $[49,9^\circ - 58,5^\circ]$, aproximadamente a medio camino entre el pico de d_{min1D} ($52,9^\circ$) y el límite superior del margen, o sea digitalmente $\alpha \approx 55,7^\circ$;
- por simetría, se obtiene dentro del margen $[76,5^\circ - 85,1^\circ]$, $\alpha \approx 79,3^\circ$.

5 La simulación del desentruador para los mismos ángulos de rotación en el caso de una transmisión por canal de Rayleigh sin borrado (como se ha ilustrado en la figura 13) muestra que el ángulo retenido conduce igualmente a buenos rendimientos en este tipo de canal y justifica la elección de este valor como ángulo de compromiso.

10 Si la constelación considerada es diferente de la constelación correspondiente a la adoptada en el estándar DVB-S2 (ilustrada en la figura 11), y particularmente si el desfase en el origen o si el encuadramiento es diferente (sabiendo que un cambio de encuadramiento puede ser considerado como un desfase en el origen, múltiplo de 45°), los valores digitales de los márgenes de ángulos son diferentes de los obtenidos anteriormente.

A título de ejemplo, si el desfase en el origen ϕ es inferior a 45° con relación a la constelación de la figura 11, los

valores de ángulos a obtenidos anteriormente se convierten en $(\alpha - \phi) \bmod \frac{\pi}{2}$.

Se considera ahora el caso de una modulación del tipo 16-APSK, cuya constelación se ilustra en la figura 14 y corresponde a la adoptada en el estándar DVB-S2.

15 Se considera γ la relación de los radios R1 y R2. En el caso de la constelación DVB-S2, este parámetro, cuyo valor puede variar, depende del rendimiento de codificado seleccionado.

El cálculo de las diferentes mediciones de distancias relativas al encuadramiento y a la distancia euclidiana mínima entre dos puntos de la constelación para los dos valores extremos de γ (2,57 y 3,15) adoptados en el estándar conduce a las curvas de las figuras 15 y 16.

20 Para el caso en que $\gamma = 3,15$, la primera fase 81 permite retener el margen de ángulo para el cual la distancia Hamming media $d_{H,med}$, es pequeña, o sea inferior a 1,4, es decir el margen siguiente: $2,7^\circ \leq \alpha \leq 15,0^\circ$.

Por consideraciones de simetría, se puede limitar la búsqueda del ángulo dentro del intervalo $[0^\circ - 45^\circ]$. Si un ángulo α de este intervalo responde al problema, puede ser sustituido por cualquiera de los 7 ángulos siguientes:

$$\frac{\pi}{2} - \alpha, \frac{\pi}{2} + \alpha, \pi - \alpha, \pi + \alpha, \frac{3\pi}{2} - \alpha, \frac{3\pi}{2} + \alpha, 2\pi - \alpha.$$

25 La segunda fase 82 permite seleccionar los valores de ángulo que corresponden a una distancia $d_{min1D}(\alpha) \geq d_{min1D}(\alpha_1)$, donde α_1 es el ángulo correspondiente al pico más próximo de $d_{H,med}$, o sea $6,0^\circ \leq \alpha \leq 12,5^\circ$.

30 La elección de un valor de ángulo de compromiso que conduzca a buenos rendimientos, tanto para transmisiones por canales de desvanecimientos sin borrado como por canales de desvanecimientos con borrados, y esto para una amplia gama de porcentajes de borrados, corresponde a un valor $d_{H,min}$ bajo, o sea $\alpha \leq 10,3^\circ$ dentro del margen $[6,0^\circ - 12,5^\circ]$.

Para una transmisión por canal de desvanecimientos con un 15% de borrados (como se ha ilustrado en la figura 17) y sin borrado (como se ha ilustrado en la figura 18), el valor de ángulo que minimiza el porcentaje de errores a la salida del desentruador es $\alpha \approx 10,3^\circ$.

35 Para el caso en que $\gamma = 2,57$, la primera fase 81 permite retener el margen de ángulo para el cual la distancia Hamming media $d_{H,med}$, es pequeña, o sea inferior a 1,4, es decir el margen siguiente: $1,4^\circ \leq \alpha \leq 15,0^\circ$.

La segunda fase 82 permite seleccionar los valores de ángulo que corresponden a una distancia $d_{min1D}(\alpha) \geq d_{min1D}(\alpha_1)$, donde α_1 es el ángulo que corresponde al pico más próximo de $d_{H,med}$, o sea $6,0^\circ \leq \alpha \leq 11,9^\circ$.

40 La elección de un valor de ángulo de compromiso que conduzca a buenos rendimientos, tanto para transmisiones por canales de desvanecimientos sin borrado como por canales de desvanecimientos con borrados, y esto para una amplia gama de porcentajes de borrados, corresponde a un valor $d_{H,min}$ bajo, o sea $\alpha \leq 9,9^\circ$ dentro del margen $[6,0^\circ - 11,9^\circ]$.

Para una transmisión por canal de desvanecimientos con un 15% de borrados y sin borrado, el valor de ángulo que minimiza el porcentaje de errores a la salida del desentruador es $\alpha \approx 9,9^\circ$.

45 Los dos valores de las relaciones de círculos γ tratados corresponden a los dos valores extremos de γ en el caso del estándar DVB-S2.

Para los valores intermedios, las curvas son similares a las de las figuras 15 y 16, con valores de ángulos intermedios entre los dos casos extremos tratados.

Por consiguiente, es posible proponer un margen de ángulos común, valedero para todos los valores γ del estándar, tomando la intersección de los dos márgenes retenidos, o sea $6,0^\circ \leq \alpha \leq 11,9^\circ$.

De igual modo, todo valor de ángulo comprendido entre $9,9^\circ$ y $10,3^\circ$ es adecuado como ángulo de compromiso para el conjunto de los casos.

- 5 Se considera ahora el caso de una modulación del tipo 32-APSK, cuya constelación se ilustra en la figura 19 y corresponde a la adoptada en el estándar DVB-S2.

Se consideran $\gamma_1 = R_2 / R_1$ y $\gamma_2 = R_3 / R_1$, parámetros cuyo valor puede variar y que dependen, en el caso de la constelación DVB-S2, del rendimiento de codificado seleccionado.

- 10 El cálculo de las diferentes mediciones de distancias relacionadas con el encuadramiento y con la distancia euclidiana mínima entre dos puntos de la constelación para los casos particulares donde $\gamma_1 = 2,84$ y $\gamma_2 = 5,27$ conduce a las curvas de la figura 20.

Para estos valores de $\gamma_1 = 2,84$ y $\gamma_2 = 5,27$, la primera fase 81 permite retener los márgenes de ángulos siguientes, para los cuales la distancia Hamming media $d_{H,med}$ es baja, o sea inferior a 1,8: $10,0^\circ \leq \alpha \leq 13,2^\circ$, $90,8^\circ \leq \alpha \leq 95,2^\circ$ y $100,0^\circ \leq \alpha \leq 103,2^\circ$.

- 15 Por consideraciones de simetría, se puede limitar la búsqueda del ángulo dentro del intervalo $[0^\circ - 180^\circ]$. Si un ángulo α de este intervalo responde al problema, puede ser sustituido por $\pi + \alpha$.

La segunda fase 82 permite seleccionar los valores de ángulo que corresponden a una distancia $d_{min1D}(\alpha) \geq d_{min1D}(\alpha_1)$, donde $\alpha_1 = 95,0^\circ$ es el ángulo que corresponde al pico más alto de d_n en el conjunto de márgenes de ángulos seleccionados, o sea $91,7^\circ \leq \alpha \leq 95,0^\circ$.

- 20 La elección de un valor de ángulo de compromiso que conduzca a buenos rendimientos, tanto para transmisiones por canales de desvanecimiento sin borrado como por canales de desvanecimiento con borrados, y esto para una amplia gama de porcentajes de borrados, corresponde a un valor $d_{H,min}$ bajo, o sea $\alpha \leq 94,4^\circ$ dentro del margen $[91,7^\circ - 95,0^\circ]$.

- 25 Para una transmisión por canal de desvanecimientos con un 15% de borrados y sin borrado, el valor de ángulo que minimiza el porcentaje de errores a la salida del desencuadrador es $\alpha \approx 94,4^\circ$.

Hay que observar que para valores diferentes de γ_1 y γ_2 , el comportamiento de las curvas difiere de las de la figura 20, pero las fases 81 y 82 del procedimiento según la invención permiten obtener un valor de ángulo de compromiso.

- 30 Se presenta ahora un ejemplo de realización de la invención, para una modulación 64-QAM, en el cual las fases 81 y 82 utilizan respectivamente el criterio basado en las distancias d_n y d_{min1D} para la fase 81, y luego el criterio que se refiere a la distancia de Hamming media, $d_{H,med}$ y/o la distancia de Hamming, $d_{H,min}$, para la fase 82.

La primera fase 81 permite retener los ángulos que verifican $d_{1I}(\alpha) \geq d_{1I}\left(\text{atan}\left(\frac{1}{2^{m/2}}\right)\right)$, y más particularmente aquellos con el valor de d_{min1D} más elevado.

Se obtienen así los ángulos que pertenecen a los márgenes siguientes:

- 35 $[7,1^\circ-7,9^\circ]$, $[8,3^\circ-9,2^\circ]$, $[9,7^\circ-11,0^\circ]$, $[11,6^\circ-13,6^\circ]$, $[14,5^\circ-15,8^\circ]$, $[16,1^\circ-17,7^\circ]$,
 $[19,2^\circ-21,5^\circ]$, $[22,1^\circ-23,1^\circ]$, $[23,4^\circ-25,2^\circ]$, $[28,0^\circ-29,6^\circ]$, $[29,9^\circ-30,7^\circ]$,
 $[31,2^\circ-33,1^\circ]$, $[34,3^\circ-35,4^\circ]$, $[35,7^\circ-36,5^\circ]$, $[37,2^\circ-38,4^\circ]$, $[38,9^\circ-39,6^\circ]$,
 $[40,0^\circ-40,5^\circ]$, $[40,7^\circ-41,5^\circ]$.

Por consideraciones de simetría, se puede limitar la búsqueda del ángulo al intervalo $[0^\circ - 45^\circ]$. Así, si un ángulo α dentro de este intervalo responde al problema, puede ser sustituido por cualquiera de los 7 ángulos siguientes:

- 40 $\frac{\pi}{2} - \alpha$, $\frac{\pi}{2} + \alpha$, $\pi - \alpha$, $\pi + \alpha$, $\frac{3\pi}{2} - \alpha$, $\frac{3\pi}{2} + \alpha$ et $2\pi - \alpha$.

La segunda fase 82 permite retener el margen de ángulo $\alpha < 11,3^\circ$ en el intervalo $[0^\circ - 45^\circ]$, aplicando el criterio que se refiere a la distancia de Hamming media, $d_{H,med}$ y/o la distancia de Hamming $d_{H,min}$.

Los ángulos retenidos pertenecen a los márgenes $[7,1^\circ - 7,9^\circ]$, $[8,3^\circ - 9,2^\circ]$ o $[9,7^\circ - 11,0^\circ]$. Desde luego, los márgenes de ángulos resultantes son idénticos en el caso en que el orden de aplicación de los criterios se invierta.

Estos ejemplos de aplicación se presentan a título ilustrativo y no limitativo.

5 El valor de ángulo determinado permite aplicar una rotación a la constelación de modulación, y así optimizar los rendimientos de ésta.

En algunos contextos de transmisión, el valor de ángulo puede ser variable, particularmente en función del canal de transmisión.

10 Por ejemplo, el valor del ángulo puede ser calculado de nuevo en caso de cambio de la calidad de transmisión, por ejemplo, como consecuencia de la detección de una degradación del canal, o de una mejora de éste, con el fin de adaptar la optimización de la modulación.

Un retardo se aplica seguidamente a la constelación rotada, en la etapa 41. Este retardo tiene por cometido separar las dos componentes I y Q de un mismo punto de la constelación, de modo que estas componentes no sean afectadas por el mismo factor de atenuación, o no borradas al mismo tiempo.

15 En el caso en que las atenuaciones que afectan a dos señales transmitidas consecutivamente no estén correlacionadas (canal de transmisión llamado «uncorrelated flat fading»), un retardo de un tiempo símbolo entre la componente I y la componente Q es suficiente.

El retardo puede ser aplicado a una u otra de las dos componentes.

20 En el caso de un canal de transmisión donde las atenuaciones están correlacionadas (canal de transmisión llamado «correlated flat fading»), el retardo debe ser al menos tan largo como la extensión de la correlación en el canal, con el fin de asegurar que las atenuaciones que afectan a las componentes I y Q de un mismo símbolo sean descorrelacionadas.

Se puede igualmente sustituir el retardo por un entrelazamiento, siendo el retardo una forma simplificada de entrelazamiento.

6.4 Descripción de un receptor

25 Se describe ahora, en relación con la figura 5, un receptor apto para recibir una señal transmitida por el procedimiento de transmisión según la invención.

30 Un receptor de este tipo comprende particularmente, con relación a un receptor clásico de tipo BICM (ya descrito en relación con la figura 3), un módulo de aplicación de un retardo inverso 51 (o de un entrelazamiento inverso, si se ha aplicado un entrelazamiento a la emisión) al aplicado antes de la transmisión, según el procedimiento de transmisión de la invención.

El desentramamiento 21 de la constelación se aplica a la constelación rotada recibida.

Un bucle de iteración 31 puede igualmente ser utilizado, con el fin de mejorar los rendimientos.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de transmisión de una señal representativa de una señal fuente, destinada para ser transmitida por un canal de transmisión, que comprende las etapas siguientes:

- 5 - aplicación de un código corrector de errores a la indicada señal fuente, que proporciona una señal digital intermedia;
- entrelazamiento de los bits de dicha señal digital intermedia, proporcionando una señal entrelazada;
- aplicación de un codificado binario de señal, llamado encuadramiento, a la indicada señal entrelazada, que proporciona la señal a transmitir, utilizando una constelación de modulación que comprende las componentes I y Q,
- 10 - aplicación de un entrelazamiento de una de las indicadas componentes I o Q con relación a la otra.

caracterizado por que comprende, antes de la indicada etapa de aplicación de un entrelazamiento, una etapa de aplicación de una rotación a la indicada constelación de modulación, proporcionando un encuadramiento de la proyección de la constelación rotada, llamado encuadramiento proyectado, siendo la indicada rotación realizada según un ángulo cuyo valor es definido según las dos fases siguientes:

- 15 - una primera fase de determinación de al menos un margen de valores de ángulo, de forma que el indicado encuadramiento proyectado sobre cada componente I y Q sea parecido a un encuadramiento de Gray, para cada punto de dicho encuadramiento proyectado;
- una segunda fase de selección de al menos un valor dentro del o de los indicados márgenes, en función de los valores de la distancia producto mínima entre dos puntos de dicho encuadramiento proyectado y/o de la
- 20 distancia euclidiana mínima entre dos proyecciones sobre una u otra de las componentes I o Q de los indicados dos puntos, llamada distancia euclidiana mínima unidimensional.

2. Procedimiento de modulación según la reivindicación 1, caracterizado por que la indicada primera fase minimiza, en una componente de dicho encuadramiento proyectado, un número medio de bits diferentes entre dos puntos próximos de dicho encuadramiento proyectado y/o un número de bits diferentes entre dos puntos de dicho encuadramiento proyectado situados en la indicada distante distancia euclidiana mínima.

3. Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado por que la indicada segunda fase descarta al menos un ángulo que minimiza la indicada distancia euclidiana mínima y/o la indicada distancia producto.

4. Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el valor de dicho ángulo tiene en cuenta igualmente al menos un criterio que pertenece al grupo que comprende:

- el código corrector de errores utilizado;
- la modulación utilizada;
- el canal de transmisión;
- el codificado binario de la señal utilizada;
- 35 - el rendimiento de codificado;
- el tamaño de las tramas de la señal transmitida;
- la constelación seleccionada para la modulación utilizada.

5. Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la indicada modulación pertenece al grupo que comprende:

- 40 - las modulaciones de tipo QAM;
- las modulaciones de tipo PSK;
- las modulaciones de tipo APSK.

6. Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el indicado valor del ángulo está comprendido entre $14,1^\circ$ y $17,1^\circ$, cuando la modulación utilizada es del tipo 16QAM.

7. Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el indicado valor del ángulo pertenece a uno de los indicados márgenes de valores:

- $[7,1^\circ - 7,9^\circ]$;
- $[8,3^\circ - 9,2^\circ]$;
- $[9,7^\circ - 11,0^\circ]$;

50 cuando la modulación utilizada es del tipo 64 QAM.

8. Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el

indicado valor del ángulo pertenece a uno de los márgenes de valores:

- 5
- $[3,5^{\circ} - 3,7^{\circ}]$;
 - $[3,9^{\circ} - 4,0^{\circ}]$;
 - $[4,2^{\circ} - 4,3^{\circ}]$;
 - $[4,5^{\circ} - 5,1^{\circ}]$;
 - $[42,8^{\circ} - 43,2^{\circ}]$,

cuando la modulación utilizada es del tipo 256 QAM.

9. Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el indicado valor del ángulo está comprendido entre $26,5^{\circ}$ y $33,2^{\circ}$, cuando la modulación utilizada es del tipo QPSK.

- 10 **10.** Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el indicado valor del ángulo pertenece a uno de los indicados márgenes de valores:

- $[49,9^{\circ} - 58,5^{\circ}]$;
- $[76,5^{\circ} - 85,1^{\circ}]$,

cuando la modulación utilizada es del tipo 8PSK.

- 15 **11.** Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el indicado valor del ángulo pertenece a uno de los indicados márgenes de valores:

- $[6,0^{\circ} - 12,5^{\circ}]$ para $\gamma=3,15$;
- $[6,0^{\circ} - 11,9^{\circ}]$ para γ 2,57, donde el indicado parámetro γ depende del rendimiento de codificado seleccionado,

cuando la modulación utilizada es del tipo 16-APSK.

- 20 **12.** Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que el indicado valor del ángulo pertenece al margen de valores $[91,7^{\circ} - 95,0^{\circ}]$, donde los indicados parámetros γ_1 y γ_2 dependen del rendimiento de codificado seleccionado y son respectivamente iguales a 2,84 y 5,27, cuando la modulación utilizada es del tipo 32-APSK.

- 25 **13.** Procedimiento de modulación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que el indicado código corrector de errores pertenece al grupo que comprende:

- un código LDPC;
- un turbocódigo;
- un código de decodificado iterativo.

- 30 **14.** Dispositivo de transmisión de una señal representativa de una señal fuente, destinada para ser transmitida por un canal de transmisión, que comprende:

- medios de aplicación de un código corrector de errores sobre la indicada señal fuente, proporcionando una señal numérica intermedia;
- medios de entrelazamiento de los bitios de dicha señal digital intermedia; que proporciona una señal entrelazada;
- 35 - medios de aplicación de un codificado binario de señal, llamado encuadramiento, a la indicada señal entrelazada, proporcionando la señal a transmitir, utilizando una constelación de modulación que comprende las componentes I y Q;
- medios de aplicación de un entrelazamiento de una de las indicadas componentes I o Q con relación a la otra,

- 40 caracterizado por que comprende medios de aplicación de una rotación a la indicada constelación de modulación, proporcionando un encuadramiento proyectado, realizándose la indicada rotación según un ángulo cuyo valor está definido según las dos fases siguientes:

- primeros medios de determinación de al menos un margen de valores de ángulo, de modo que el indicado encuadramiento proyectado sobre cada componente I y Q sea parecido a un encuadramiento de Gray, para
- 45 cada punto de dicho encuadramiento proyectado;
- segundos medios de selección de al menos un valor dentro del o de los indicados márgenes, en función de los valores de la distancia producto mínima entre dos puntos de dicho encuadramiento y/o de la distancia euclidiana mínima entre dos proyecciones sobre una u otra de las componentes I o Q de los indicados dos puntos, llamada distancia euclidiana mínima unidimensional.

15. Producto programa de ordenador cargable a distancia desde una red de comunicación y/o registrado en un soporte legible por ordenador y/o ejecutable por un procesador, caracterizado por que comprende instrucciones de código de programa para la realización del procedimiento de transmisión según una al menos de las reivindicaciones 1 a 13.

5 **16.** Procedimiento de recepción de una señal transmitida por un canal de transmisión, que comprende las etapas siguientes:

- cuando un retardo (41) ha sido aplicado, según la reivindicación 1, sobre una de las componentes I o Q con relación a la otra, la aplicación de un retardo (51), llamado retardo inverso, sobre la componente I o Q sobre la cual el mencionado retardo (41) no ha sido aplicado en transmisión;

10 - cuando un entrelazamiento (41) ha sido aplicado, según la reivindicación 1, sobre una de las componentes I o Q con relación a la otra, la aplicación de un desentrelazamiento (51), llamado desentrelazamiento inverso, sobre la componente I o Q sobre la cual el indicado entrelazamiento (41) ha sido aplicado en transmisión;

- aplicación de un desencuadramiento (21) de la indicada constelación rotada proporcionada por la indicada etapa de aplicación de una rotación a la indicada constelación de modulación según la reivindicación 1;

15 - aplicación de un desentrelazamiento (22) de los bitios de la señal, inverso al indicado entrelazamiento (12) según la reivindicación 1;

- aplicación de un decodificado corrector de errores (23) correspondiente al indicado código corrector de errores (11) según la reivindicación 1.

20 **17.** Dispositivo de recepción de una señal transmitida por un canal de transmisión, que comprende los medios siguientes:

- cuando un retardo (41) ha sido aplicado, por el dispositivo de transmisión según la reivindicación 14, sobre una de las componentes I o Q con relación a la otra, medios de aplicación de un retardo (51), llamado retardo inverso, sobre la componente I o Q sobre la cual el indicado retardo (41) no ha sido aplicado en transmisión;

25 - cuando un entrelazamiento (41) ha sido aplicado, por el dispositivo de transmisión según la reivindicación 14, sobre una de las componentes I o Q con relación a la otra, medios de aplicación de un desentrelazamiento (51), llamado desentrelazamiento inverso, sobre la componente I o Q sobre la cual el indicado entrelazamiento (41) ha sido aplicado en transmisión;

30 - medios de aplicación de un desencuadramiento (21) de la indicada constelación rotada proporcionada por los indicados medios de aplicación de una rotación a la indicada constelación de modulación del dispositivo de transmisión según la reivindicación 14;

- medios de aplicación de un desentrelazamiento (22) de los bitios de la señal, inversa al indicado entrelazamiento (12) aplicado por los medios del dispositivo de transmisión según la reivindicación 14;

- medios de aplicación de un decodificado corrector de errores (23) correspondiente al mencionado código corrector de errores (11) aplicado por los medios del dispositivo de transmisión según la reivindicación 14.

35 **18.** Sistema de transmisión, caracterizado por que comprende al menos un dispositivo de transmisión según la reivindicación 14, y al menos un dispositivo de recepción según la reivindicación 17.

Figura 1

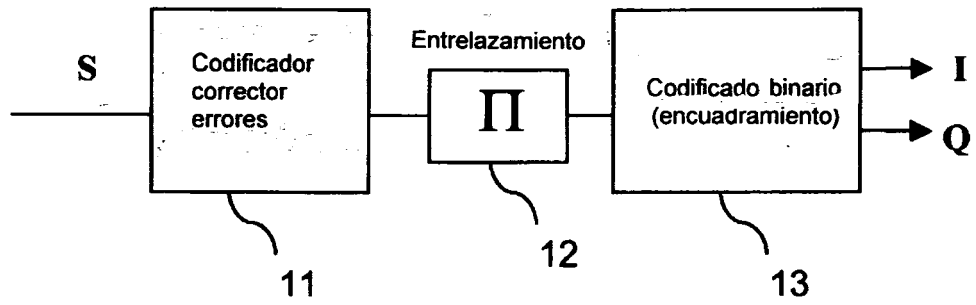


Figura 2

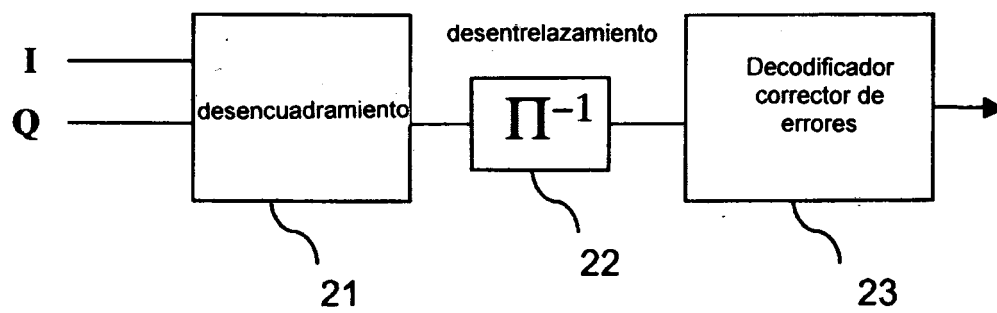


Figura 3

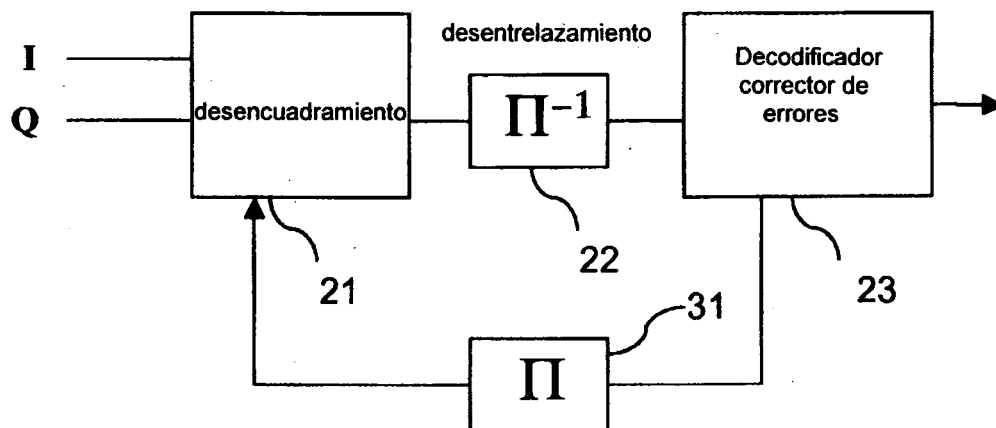


Figura 4

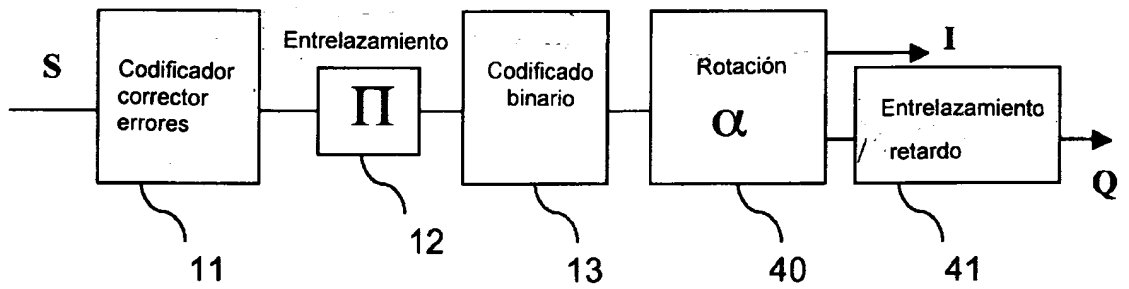


Figura 5

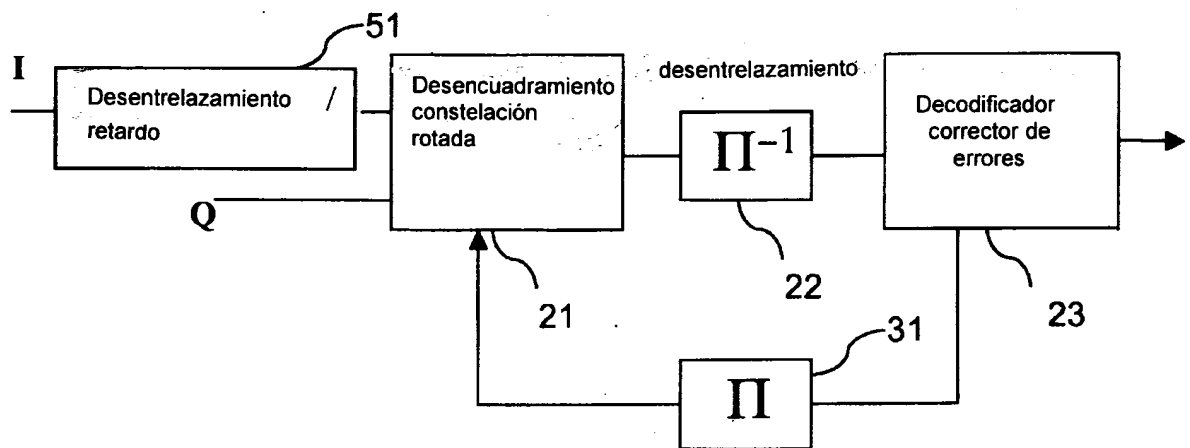


Figura 6

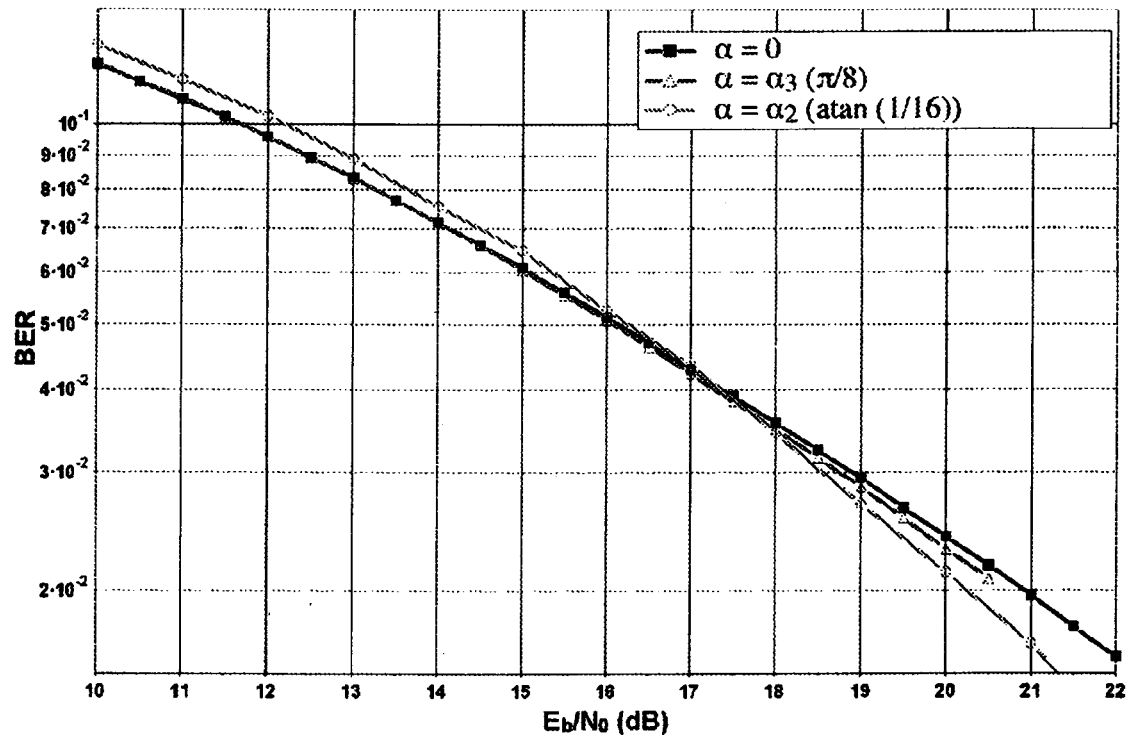


Figura 7

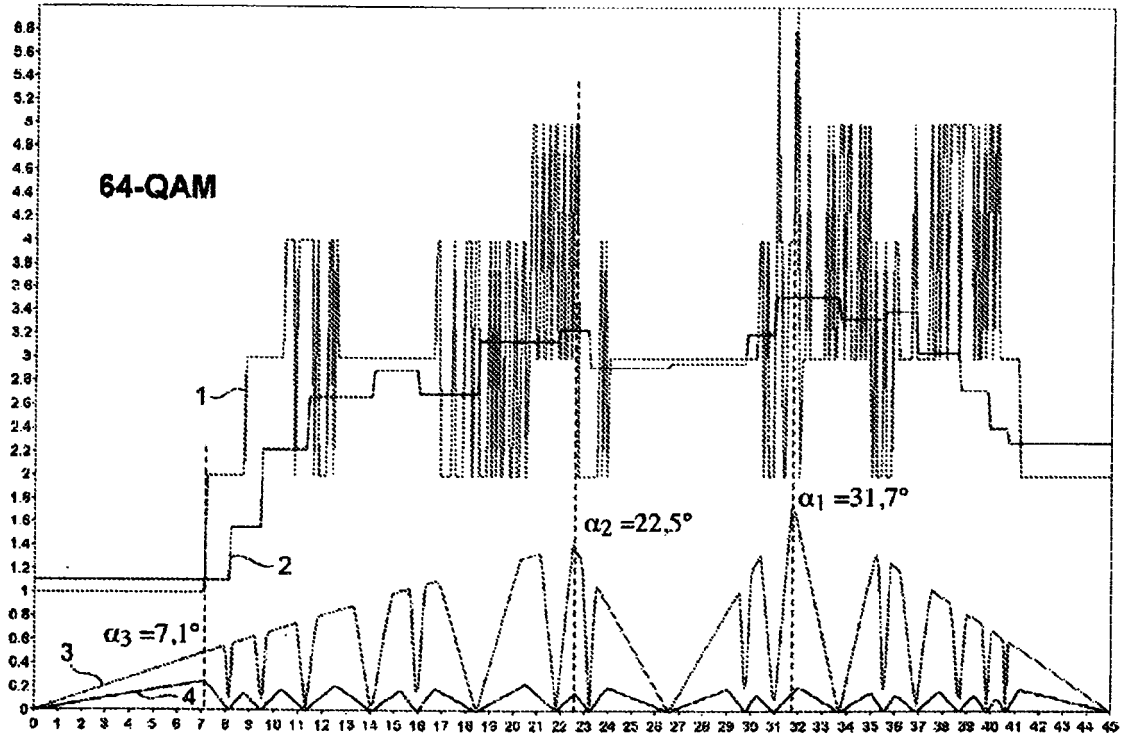


Figura 8

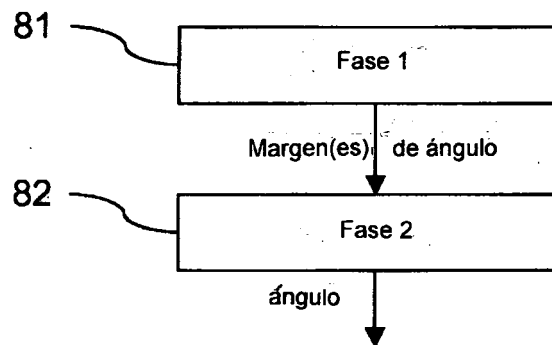


Figura 9

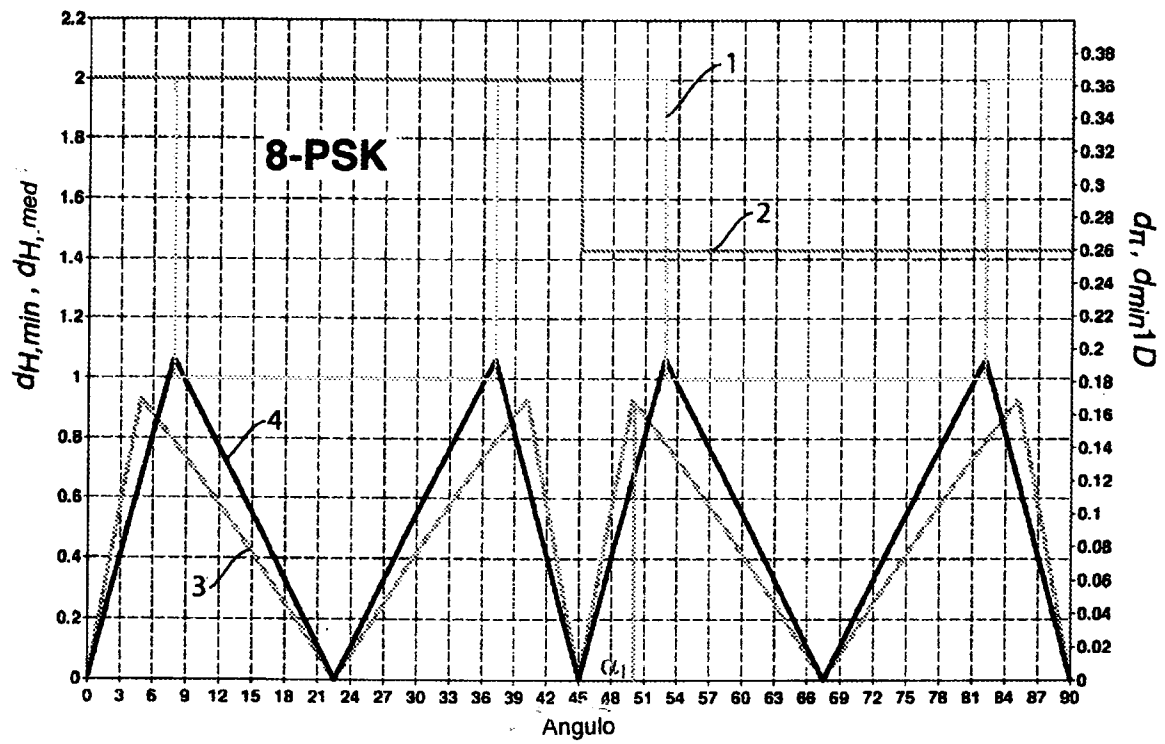


Figura 10

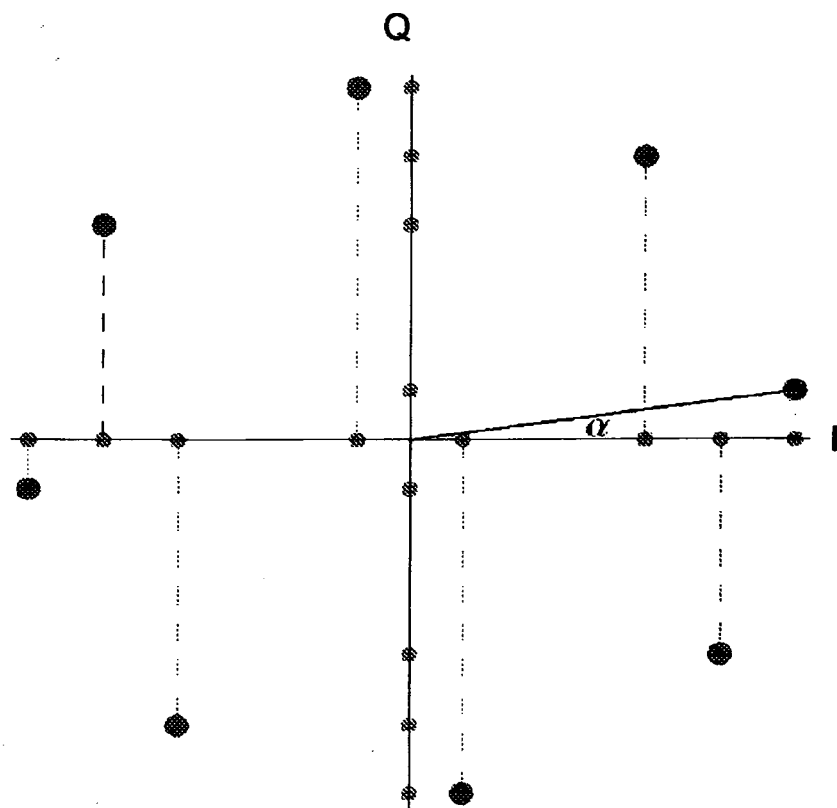


Figura 11

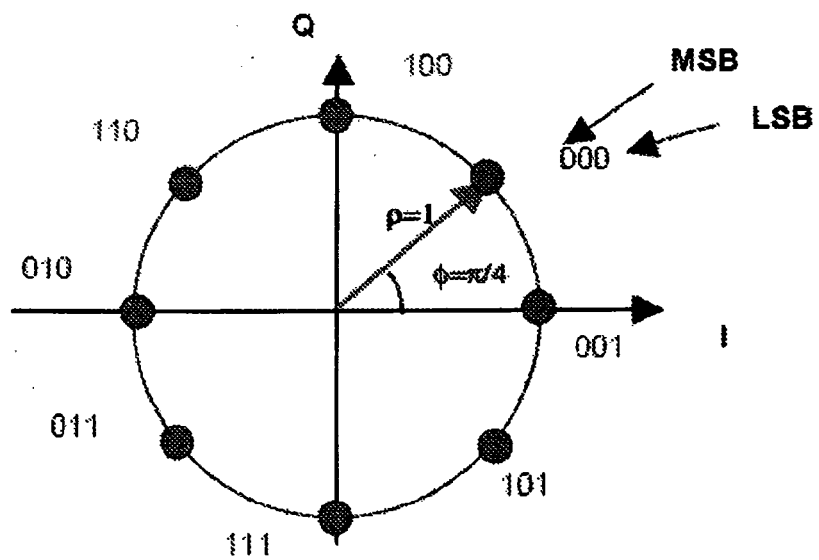


Figura 12

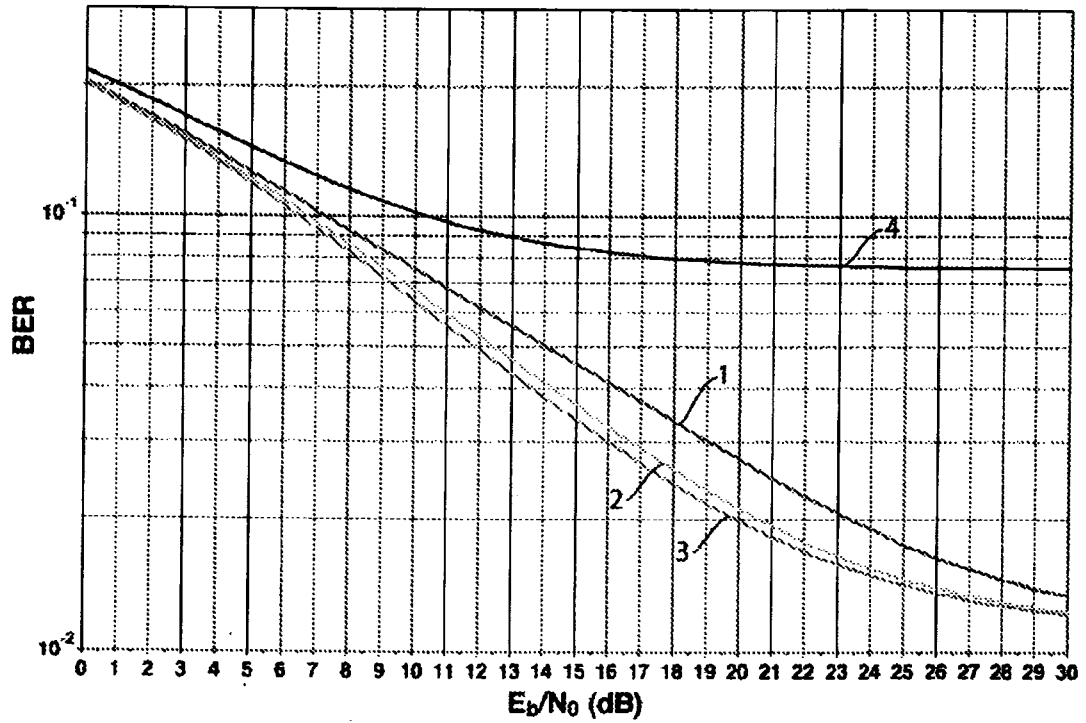


Figura 13

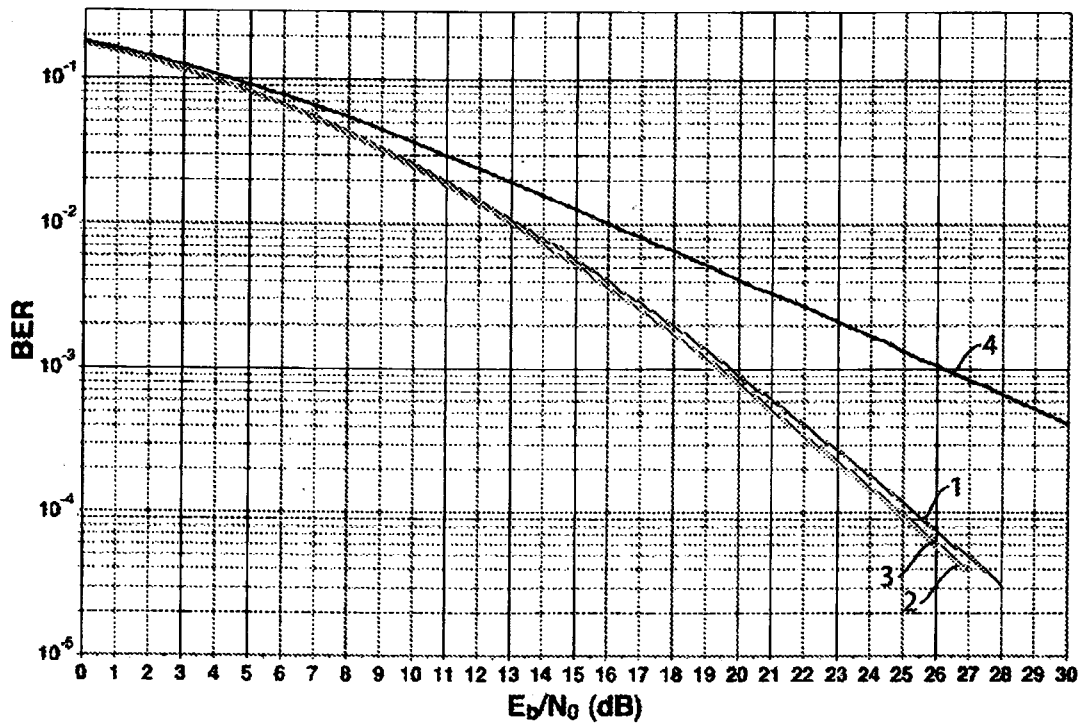


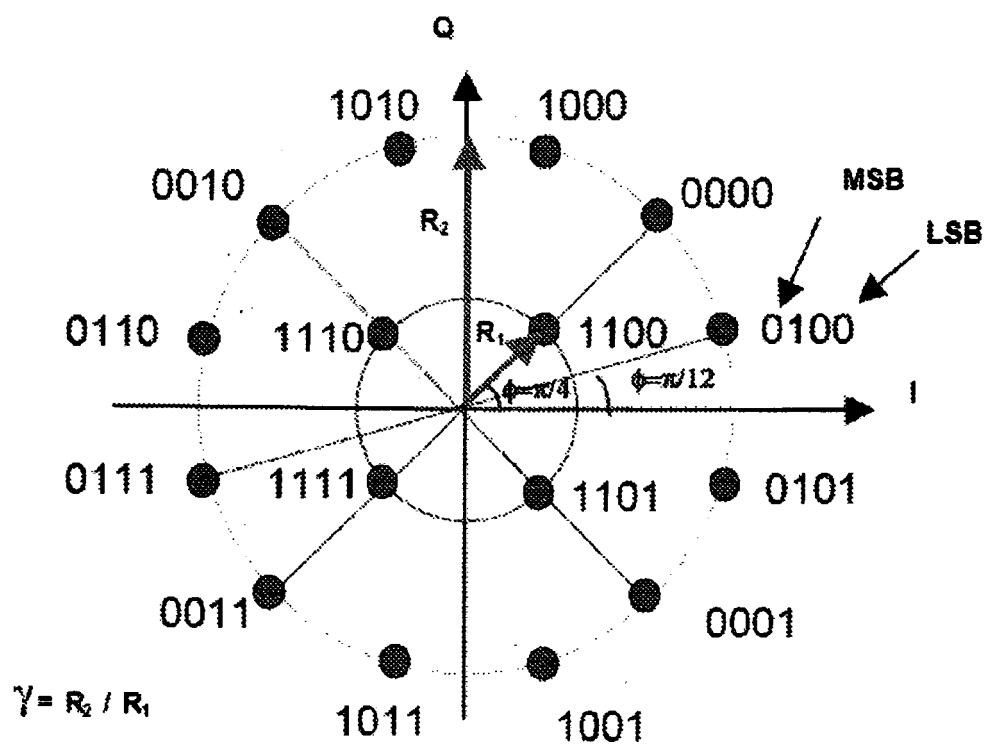
Figura 14

Figura 15

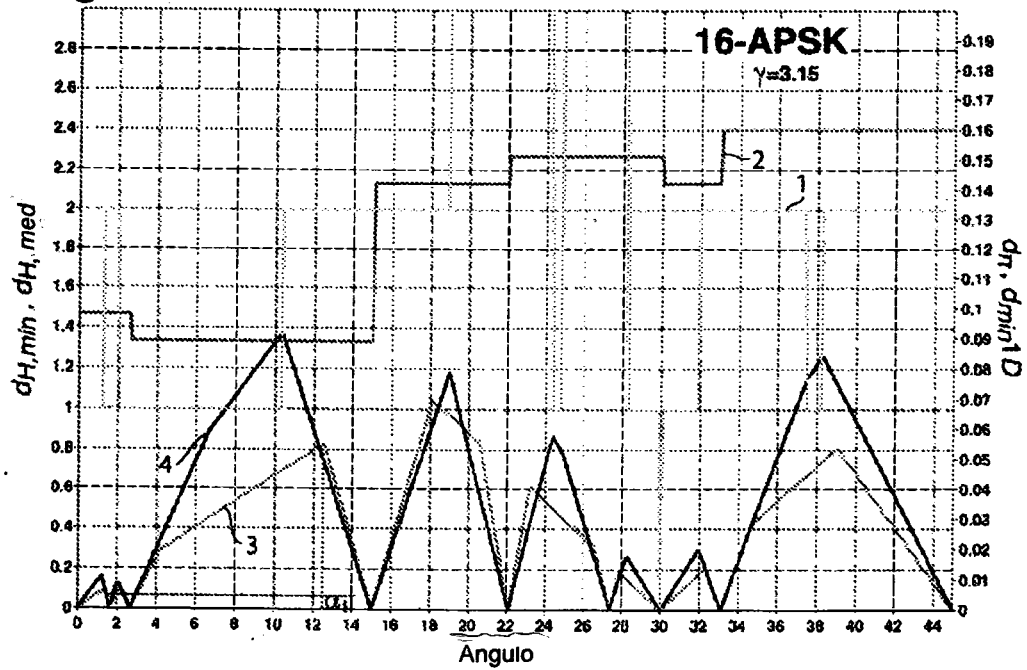


Figura 16

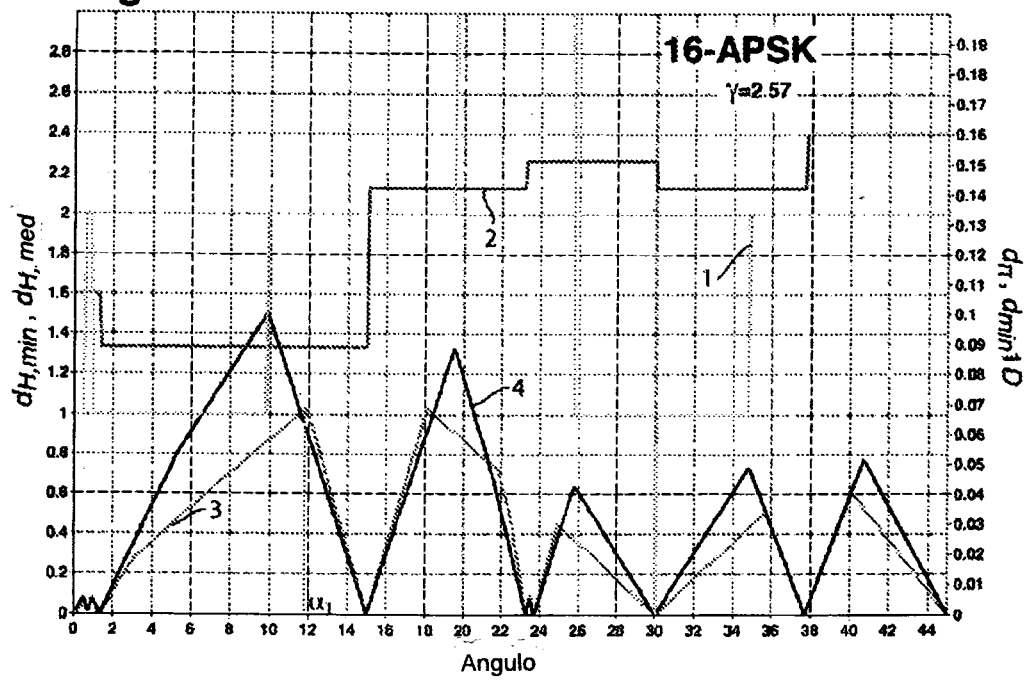


Figura 17

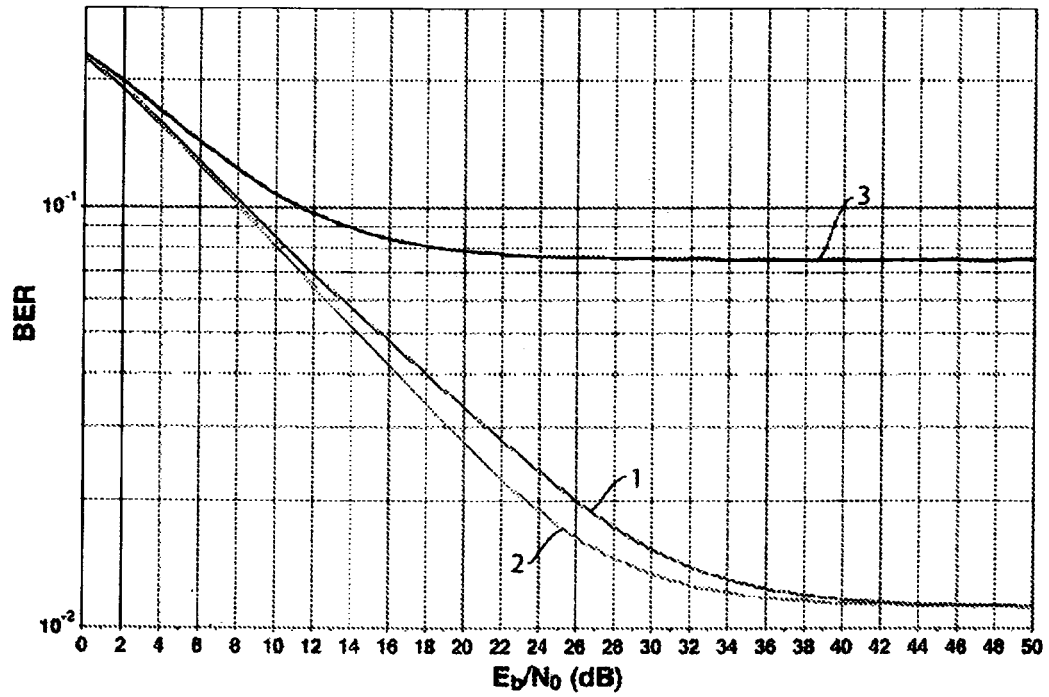


Figura 18

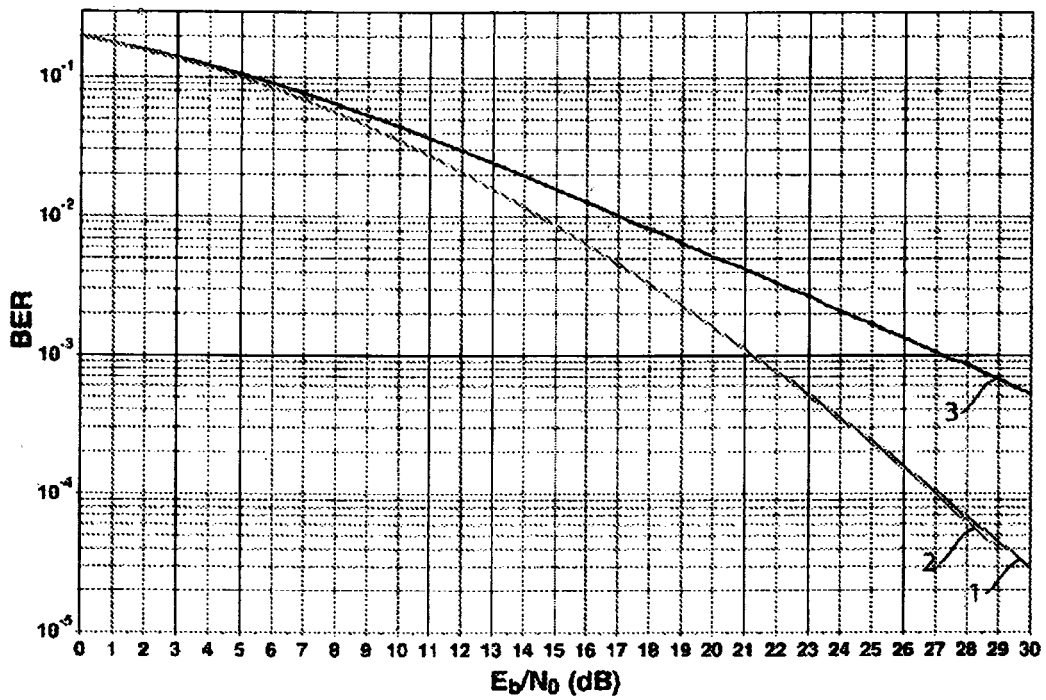


Figura 19

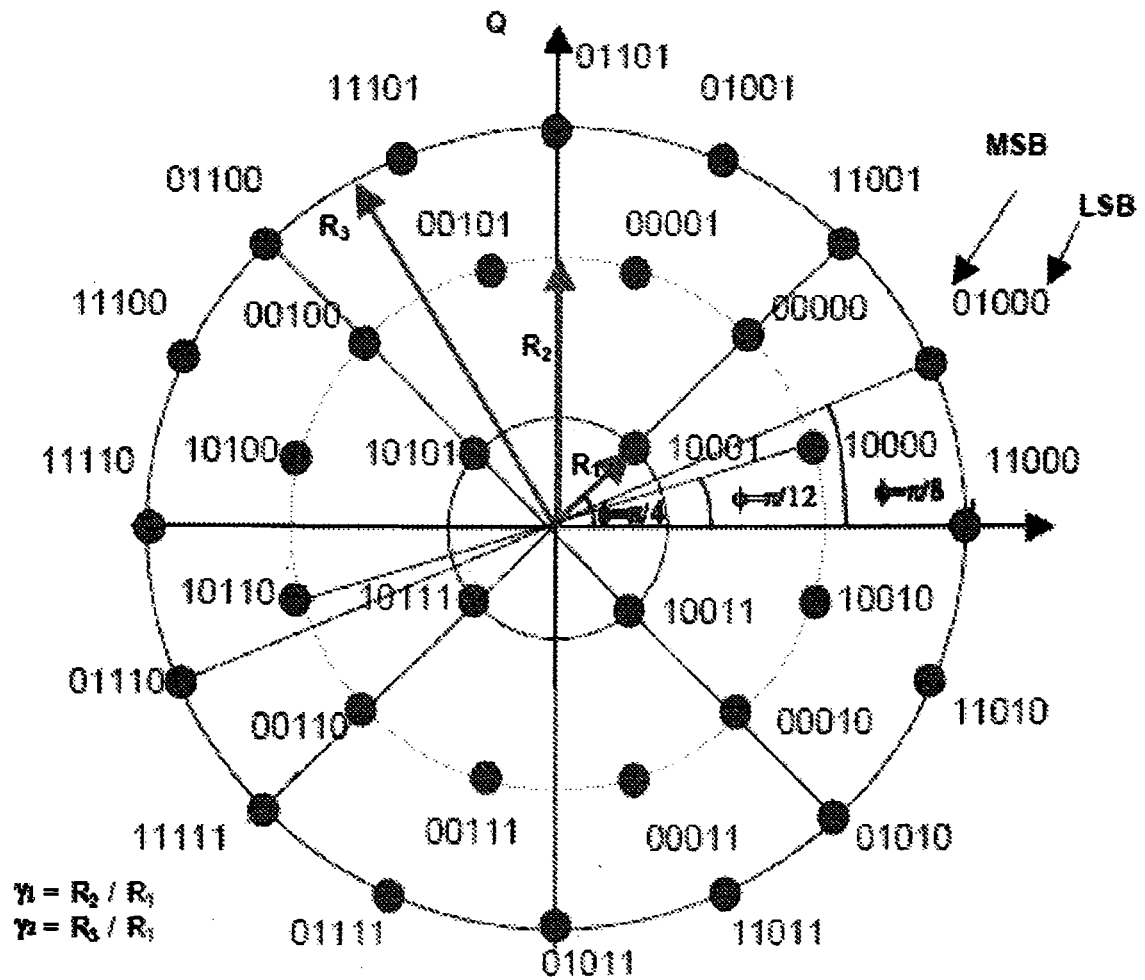


Figura 20

