

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 486 323**

51 Int. Cl.:

H03M 13/29 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2012 E 12712988 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.06.2014 EP 2686962**

54 Título: **Método de codificación de corrección de errores, método de decodificación y dispositivos asociados**

30 Prioridad:

15.03.2011 FR 1152106

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

18.08.2014

73 Titular/es:

**AIRBUS DS SAS (100.0%)
ZAC de la Clef Saint Pierre, 1 Boulevard Jean
Moulin
78990 Elancourt, FR**

72 Inventor/es:

**FLOREA, ALINA ALEXANDRA;
NGUYEN, HANG;
MARTINOD, LAURENT y
MOLKO, CHRISTOPHE**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 486 323 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de codificación de corrección de errores, método de decodificación y dispositivos asociados

Campo Técnico

La presente invención se refiere a un método de codificación de corrección de errores.

- 5 La invención también se refiere a un método de decodificación adaptado para decodificar datos que han sido codificados usando el método de codificación de corrección de errores de acuerdo con la invención.

La invención también se refiere a un dispositivo de codificación para implementar el método de codificación de corrección de errores de acuerdo con la invención, así como a un dispositivo de decodificación para implementar el método de decodificación de acuerdo con la invención.

- 10 El campo de la invención es el de la codificación de datos digitales, para ser transmitidos en particular en presencia de un ruido de transmisión, y el de la decodificación de dichos datos digitales después de la transmisión.

Más en concreto, pero de una manera no limitativa, la invención se refiere al campo de la optimización de la transmisión de datos digitales, por ejemplo a través de una red de radio de banda ancha.

Estado de la técnica anterior

- 15 En telecomunicaciones, los métodos de codificación de corrección de errores (también llamados Corrección de Error hacia Delante (FEC)) se usan para proteger datos denominados de origen que se quieren transmitir, de errores que procederán de la transmisión. Para hacer esto, se añade redundancia a los datos de origen para permitir al destinatario detectar y corregir parte de los errores.

- 20 La codificación de corrección de errores va seguida por una modulación para transmisión, que es por lo que generalmente se usa el esquema de modulación y codificación (MCS) para designar tanto a la codificación de corrección de errores como a la modulación.

- 25 En la técnica anterior se conoce un método de codificación de corrección de errores denominado comúnmente "turbo código". Este es un método de codificación de corrección de errores, que implementa en paralelo al menos dos pasos independientes de codificación de convolución sistemática de todos los datos a codificar, y al menos un paso de entrelazado en el tiempo que modifica el orden para tener en cuenta datos para cada uno de los pasos de codificación. Por ejemplo en la patente francesa FR2675971 se presentan turbo códigos. La decodificación implementa un algoritmo de decodificación iterativo basado en el algoritmo de Bahl, Cocke, Jelinek y Raviv y una búsqueda de máximo a posteriori.

- 30 La técnica anterior más similar es "Turbodecodificación con protección de error desigual aplicada a la codificación de habla GSM" (F. Burkert et al, 1996) que describe codificación GSM con protección de error desigual.

Sin embargo, un inconveniente de los turbo códigos es que todos los datos de origen están protegidos por igual.

- 35 Los códigos UEP (Protección de Error Desigual), nacidos con la tecnología GSM, proporcionan una respuesta a este inconveniente al permitir que los datos digitales de una trama sean agrupados en diferentes clases dependiendo de su importancia, y que cada clase sea protegida dependiendo de su nivel de prioridad (se asigna un nivel de prioridad mayor cuanto más importante es el dato).

Este principio permite optimizar los recursos de transmisión así como el ancho de banda de la frecuencia.

- 40 Un inconveniente conocido de los códigos UEP es que cada clase se procesa por separado. En primer lugar se separan las diferentes clases, y a continuación estas clases se codifican de manera independiente. Los datos codificados de cada clase se modulan entonces por separado. De esta manera, después de la transmisión, los datos de una misma trama no están correlacionados. Esto supone una pérdida de recursos porque existe por ejemplo necesidad de:

- cabeceras adicionales (es decir, datos adicionales usados para definir un paquete de datos, por ejemplo los datos de una clase en caso de que las diferentes clases se procesen de manera independiente), y
 - procesamientos adicionales para resincronizar los datos de diferentes clases de una misma trama después de la transmisión.
- 45

Además, estos pasos de resincronización generan retardos en la recepción.

Esta pérdida de recursos va contra la demanda actual de una mayor velocidad de transmisión, una mayor capacidad de red y un menor retardo de transmisión.

Un propósito de la presente invención es proporcionar métodos y dispositivos de codificación/decodificación de corrección de errores que no tengan los inconvenientes de la técnica anterior.

5 Otro propósito de la presente invención es proporcionar métodos y dispositivos de codificación/decodificación de corrección de errores que minimicen los retardos de transmisión y de recepción, en particular para aplicaciones tales como transmisión de sonido o de vídeo.

Otro propósito de la presente invención es proporcionar métodos y dispositivos de codificación/decodificación de corrección de errores que consuman menos recursos que los métodos y dispositivos de la técnica anterior.

10 Otro propósito de la presente invención es proporcionar métodos y dispositivos de codificación/decodificación de corrección de errores que requieran menores velocidades de transmisión que los métodos y dispositivos de la técnica anterior.

Por último, un propósito de la presente invención es proporcionar métodos y dispositivos de codificación/decodificación de corrección de errores que requieran menor capacidad de red que los métodos y dispositivos de la técnica anterior.

Descripción de la Invención

15 La invención permite lograr al menos uno de estos propósitos mediante un método de codificación de corrección de errores para codificar en paralelo datos digitales denominados de origen, que tienen forma de trama, donde dichos datos se pueden clasificar en N clases, siendo N un número entero al menos igual a 2.

El método de codificación de acuerdo con la invención comprende:

20 - un primer paso de codificación de convolución sistemática recursiva de datos a codificar, formados por los datos de la clase 1; y

- una implementación de los siguientes pasos, para cada n desde 1 hasta M, donde M es un número entero positivo igual o menor que N-1:

25 - mezclado n-ésimo de un conjunto formado por los datos de la clase n+1 y los datos sistemáticos de una codificación anterior;

- codificación (n+1)-ésima de convolución sistemática recursiva de datos a codificar, formados por el resultado del mezclado n-ésimo.

También se pueden proporcionar varios pasos de codificación intermedios de los mismos datos antes de añadir nueva información a codificar.

30 Por lo tanto, se hace referencia a un mezclado n-ésimo de un conjunto formado por los datos de la clase n+1 y por los datos sistemáticos del paso de codificación anterior porque

- el paso de codificación anterior puede ser el paso n de codificación;

- el paso de codificación anterior puede ser un paso de codificación intermedio.

35 El término "dato sistemático", así como el término "dato de paridad" usado en lo que sigue, son términos relacionados con los códigos de convolución sistemáticos recursivos, y son conocidos por las personas con experiencia en la técnica. Estos términos corresponden a dos salidas de un código de convolución sistemático recursivo.

A lo largo del texto, los datos sistemáticos y los datos de paridad pueden comprender bits de cola.

Preferiblemente, el dato sistemático es idéntico al dato a codificar, mientras que el dato de paridad puede corresponder a al menos un dato de redundancia.

40 Los datos sistemáticos de un paso de codificación forman los datos que debe codificar dicho paso de codificación.

Ventajosamente, la invención permite añadir nueva información a codificar antes de algunos de los pasos de codificación.

45 De esta manera, se realiza un método de codificación de corrección de errores de tipo UEP, es decir, con una protección no uniforme, donde cada clase se puede beneficiar de una protección diferente con respecto a errores que se producen en particular durante una transmisión sobre un canal.

La invención adopta el principio general de los turbocódigos, dado que existen pasos de codificación y pasos de mezclado sucesivos con vistas a una mayor codificación de los mismos datos. Sin embargo, el esquema conocido

se ha modificado para producir un esquema de codificación en el cual diferentes datos digitales de origen de una misma trama estén más o menos protegidos.

La diferente protección proviene de un número diferente de información (o datos codificados) de redundancia, en función del número de veces que han sido codificados los datos de la clase.

- 5 De hecho, cada clase se puede codificar un número de veces diferente, dependiendo de un número de codificaciones realizadas teniendo en cuenta los datos de esta clase. Los datos de la clase se pueden tener en cuenta para una codificación, como datos de la clase 1, como datos de la clase n+1 y/o como datos a codificar formados por el resultado del mezclado n-ésimo.

El método de acuerdo con la invención está adaptado para procesar tramas completas.

- 10 La protección de los datos se puede denominar jerárquica, donde los datos más importantes, en otras palabras aquellos con un mayor nivel de prioridad, pueden estar mejor protegidos.

La estructura se puede adaptar a cualquier tipo de trama, con independencia en particular del número de clases.

Se realiza una codificación UEP, la cual es directamente aplicable a una trama completa de datos digitales.

- 15 De esta manera, cada clase de una trama se puede codificar con un esquema de codificación específico diferente al esquema de codificación aplicado a una o más de las otras clases de la misma trama.

Por lo tanto, el método de acuerdo con la invención permite realizar una codificación con menos recursos que los métodos del estado del arte.

- 20 Además, el método de acuerdo con la invención permite realizar una codificación más rápida al consumir menos energía que los métodos del estado del arte y porque reduce el retardo de recepción de aplicaciones tales como voz y vídeo.

Por último, datos codificados con el método de acuerdo con la invención se pueden transmitir con menores velocidades de transmisión y menor capacidad de red que datos codificados con métodos y dispositivos de la técnica anterior, con una protección idéntica.

- 25 El método de acuerdo con la invención permite codificar las diferentes clases de una misma trama mediante un único método de codificación de corrección de errores, a diferencia de los métodos de codificación UEP conocidos, en los cuales cada clase se codifica con independencia de las otras clases de la misma trama.

Ya no es necesario separar datos de diferentes clases de una misma trama en varios flujos de datos, para codificarlos de forma independiente.

- 30 De esta manera, el método de acuerdo con la invención permite evitar la transmisión de información de sincronización, y por lo tanto permite optimizar los recursos de la red de transmisión.

Así, el método de acuerdo con la invención permite reducir un retardo de recepción, en particular para aplicaciones tales como transmisión de sonido (por ejemplo, de voz) o de vídeo.

De esta forma, el método de acuerdo con la invención permite evitar un paso de resincronización después de la transmisión.

- 35 De esta manera, el método de acuerdo con la invención permite simplificar la modulación de datos que han sido codificados, donde todas las clases de una trama se pueden modular en conjunto. El método permite aplicar un único esquema de modulación.

El al menos un paso de mezclado puede proporcionar una distribución aleatoria de los datos digitales en el resultado final.

- 40 Los datos digitales pueden ser cualquier dato digital, en particular datos digitales que representen un vídeo o una voz.

Preferiblemente, el método de codificación va seguido por una modulación apropiada adaptada al canal de transmisión utilizado.

- 45 El esquema de codificación y modulación que se puede obtener entonces es particularmente robusto frente a errores.

Se pueden proporcionar algunos datos de la trama que no serán codificados.

Después de la implementación de un paso de codificación se puede proporcionar una implementación de la perforación. Esto puede implicar al menos un paso de desperforación durante una decodificación. La desperforación

consiste en recuperar datos del mismo tamaño que datos antes de una correspondiente perforación, por ejemplo introduciendo ceros en los datos perforados.

Preferiblemente, se asigna un nivel de prioridad a cada clase, ordenándose las clases 1 a N en orden decreciente de sus niveles de prioridad.

- 5 De esta forma, el método de acuerdo con la invención permite que cada clase se beneficie de una protección adaptada. De este modo, el método permite evitar la transmisión de más información de redundancia de la necesaria, lo cual permite optimizar los recursos de la red de transmisión al mismo tiempo que se obtiene una calidad de recepción óptima, dado que la información más importante ha sido muy protegida.

Cada paso de mezclado puede consistir en una simple concatenación.

- 10 Ventajosamente, cada paso de mezclado consiste en un entrelazado.

Un entrelazado puede consistir en organizar datos recibidos de forma no consecutiva. Se puede considerar cualquier tipo de entrelazado conocido, en particular entrelazados desarrollados dentro del alcance de los turbocódigos.

- 15 Por lo general, los errores durante una transmisión sobre un canal se producen en ráfagas en lugar de producirse de manera independiente. Si el número de errores supera la capacidad de la codificación de corrección de errores, no se consigue recuperar los datos de origen. Por lo general se usa el entrelazado para ayudar a resolver este problema modificando el orden para tener en cuenta los mismos datos digitales en varias codificaciones, creando de esta forma una distribución de errores más uniforme.

De acuerdo con una realización preferente del método de codificación de acuerdo con la invención, se elige M igual a N-1, de manera que se codifiquen las clases 1 a N.

- 20 De esta forma, se pueden proteger todos los datos digitales de origen.

Preferiblemente, al final de la implementación de todos los pasos del método de codificación de acuerdo con la invención, es decir en la salida, se obtienen datos de paridad correspondientes a cada uno de los pasos de codificación así como datos sistemáticos correspondientes al paso (M+1)-ésimo de codificación.

- 25 La invención también se refiere a un dispositivo de codificación para implementar el método de codificación de corrección de errores de acuerdo con la invención, capaz de codificar datos digitales denominados de origen que tengan la forma de una trama, donde dichos datos pueden estar clasificados en N clases. Dicho dispositivo de codificación de acuerdo con la invención comprende:

- un primer módulo de codificación de convolución sistemático recursivo para la codificación de datos a codificar formados por los datos de la clase 1; y

- 30 - hacer que n vaya desde 1 hasta M, donde M es un número entero positivo igual o menor que N-1, M conjuntos formados cada uno por un mezclador n-ésimo seguido por un módulo (n+1)-ésimo de codificación de convolución sistemático recursivo, estando el mezclador n-ésimo diseñado para recibir los datos de la clase n+1 y los datos sistemáticos de un módulo de codificación anterior, y estando el módulo (n+1)-ésimo de codificación diseñado para la codificación de datos a codificar formados por la salida del mezclador n-ésimo.

- 35 La invención también se refiere a un método para decodificar datos digitales, diseñado para decodificar datos digitales codificados en conformidad con el método de codificación de la invención.

Preferiblemente, al final de la implementación de todos los pasos del método de codificación de acuerdo con la invención, se obtienen datos de prioridad correspondientes a cada uno de los pasos de codificación, así como el dato sistemático del paso (M+1)-ésimo de codificación.

- 40 Estos datos obtenidos son transmitidos ventajosamente a través de un canal de transmisión.

Por lo tanto, después de la transmisión se pueden recibir datos denominados recibidos que pueden estar afectados por errores que se produzcan en particular durante la transmisión.

Ventajosamente, el método de decodificación de acuerdo con la invención se aplica a dichos datos recibidos.

- 45 Por razones de mayor claridad de la descripción, en todo el texto se designa de la misma manera a un dato antes y después de la transmisión.

De forma particularmente ventajosa, el método de decodificación de acuerdo con la invención es de tal manera que, para cualquier j, k, l entre M+1 y 1:

- cada paso j -ésimo de codificación del método de codificación de acuerdo con la invención, corresponde a un paso j (410_j) de decodificación, adaptado para decodificar datos codificados que se producen en el paso j -ésimo de codificación;
 - al final de cada paso j de decodificación, se obtienen por un lado datos denominados "blandos" para una evaluación de los datos de la clase j , y se obtienen por otro lado datos denominados extrínsecos;
- 5 y se implementan los siguientes pasos:
- decodificación k ; y a continuación
 - decodificación $l \neq k$ en función de al menos un dato extrínseco proporcionado por al menos otro paso de decodificación, usado como un dato a priori.
- 10 Preferiblemente, los datos denominados "a priori" representan probabilidades sobre datos codificados recibidos desde el canal.
- Estas probabilidades están disponibles antes de cualquier decodificación en marcha de los citados datos codificados recibidos, procediendo estos valores probabilísticos de una fuente diferente a la de los datos codificados recibidos desde el canal.
- 15 Un dato a priori utilizado para decodificar los datos codificados que se producen en el paso k -ésimo de codificación puede estar relacionado con los datos de paridad y con los datos sistemáticos de este paso k -ésimo de codificación.
- Los datos extrínsecos de un bit B designan ventajosamente a la información producida por un decodificador (basándose en la información codificada recibida desde el canal y, si fuera aplicable, en datos a priori), excepto para el canal e información a priori del bit B en cuestión.
- 20 Estos datos extrínsecos pueden representar la probabilidad de haber recibido este bit B en función de valores de todos los otros bits contiguos de la misma trama.
- En particular, se puede remitir al lector al siguiente libro: Todd K Moon, "Error Correction Coding – Mathematical Methods and Algorithms", John Wiley & Sons 2005.
- 25 Los datos extrínsecos que se producen en el paso j -ésimo de codificación están relacionados preferiblemente con los datos de paridad y con los datos sistemáticos de este paso j -ésimo de codificación.
- Preferiblemente, los datos extrínsecos comprenden datos denominados "a priori" que proporcionan un dato adicional para evaluar los datos de otras clases.
- En cada paso de decodificación, se puede usar un dato a priori.
- 30 Para el paso de decodificación realizado en primer lugar en el orden cronológico, el dato a priori se fija en cero. A continuación, cada paso de decodificación permite obtener un dato a priori usado para otro paso de decodificación.
- Cada clase se puede beneficiar de una protección diferente con respecto a errores. Una clase fuertemente protegida se beneficiará de una menor tasa de errores tras la decodificación.
- Una decodificación $l \neq k$ en función de al menos un dato extrínseco proporcionado por al menos un paso de decodificación diferente, utilizado como un dato a priori, permite que las diferentes clases codificadas se beneficien de la codificación de las otras clases codificadas.
- 35 De esta forma, para una clase menos protegida se puede alcanzar más rápidamente una tasa de bits erróneos dada. De este modo la invención permite ahorros de energía, de redundancia y de retardo.
- Cada paso de decodificación puede implementar una decodificación iterativa, es decir, cualquier tipo de algoritmo basado en la búsqueda de máximo a posteriori (MAP) para evaluar probabilidades a posteriori. Este máximo a posteriori se puede calcular con el algoritmo BCJR (el algoritmo de Bahl, Cocke, Jelinek y Raviv), con una derivada MAP, en particular de acuerdo con una decodificación denominada LOG MAP que usa un ratio de verosimilitud ("Ratios de Probabilidades de Verosimilitud Logarítmicas"), o una decodificación denominada MAX LOG MAP, más apropiada para la implementación hardware.
- 40 Los datos extrínsecos se pueden procesar antes de su uso como un dato a priori para un paso j de decodificación. El objetivo es recuperar datos de la misma dimensión y en el mismo orden que los datos a la salida del correspondiente paso de codificación.
- 45 Preferiblemente, las evaluaciones de datos de los datos de cada clase se extraen gradualmente de los datos blandos. El objetivo es extraer en el momento apropiado algunos datos relacionados con las respectivas clases.

Un paso de decodificación se puede realizar de manera no sucesiva para cualquiera de las clases, con independencia del orden de codificación.

5 El primer paso de decodificación se puede realizar para una clase intermedia, y los pasos de decodificación anterior y posterior se pueden realizar en cualquier orden ventajoso, en particular de acuerdo con una tasa de errores prefijada que se debe alcanzar para cada clase.

Ventajosamente, un paso de decodificación se puede realizar de manera sucesiva para todas las clases n , donde n es decreciente, y va desde $M+1$ hasta 1.

Preferiblemente, el método de decodificación de acuerdo con la invención comprende además un paso de desmultiplexado inicial que realiza la separación de los datos de paridad de cada clase.

10 Los datos de paridad de cada clase se pueden usar a continuación para un correspondiente paso de decodificación.

Para cualquier j entre $M+1$ y 2, el método de decodificación de acuerdo con la invención puede comprender además, después de cada paso j de decodificación, las siguientes operaciones:

- desenredado $j-1$ de los datos denominados extrínsecos, realizando el desenredado $j-1$ una función inversa a la implementada en el paso $j-1$ de mezclado, para proporcionar datos desenredados;

15 - desmultiplexado de los datos desenredados para separar datos a priori relacionados con la clase j denominados datos extraídos de datos a priori relacionados con las clases 1 a $j-1$ denominados datos a priori útiles;

- proporcionar datos denominados a priori útiles para que sean usados en el paso $j-1$ de decodificación.

A lo largo de todo el texto, cuando se hace mención a un desenredado, éste se refiere a un mezclado dado, consistiendo el desenredado en recuperar el orden de los datos antes del citado mezclado.

20 Para cualquier j entre $M+1$ y 2, el método de decodificación de acuerdo con la invención puede comprender además después de cada paso j de decodificación, las siguientes operaciones:

- desenredado $j-1$ de los datos blandos obtenidos, realizando el desenredado $j-1$ una función inversa a la implementada en el paso $j-1$ de mezclado, para proporcionar datos blandos desenredados;

25 - desmultiplexado de los datos blandos desenredados para separar datos blandos relacionados con la clase j denominados datos blandos extraídos de datos blandos relacionados con las clases 1 a $j-1$.

Los datos blandos extraídos se usan para evaluar los datos de la clase j .

Se puede proporcionar además un paso específico para evaluar los datos blandos extraídos para recuperar los valores de la clase j .

30 Se puede repetir al menos una vez al menos un paso j de decodificación, en función de datos a priori correspondientes a datos extrínsecos proporcionados por al menos un paso de decodificación de los datos de otra clase.

En cada repetición de un paso de decodificación, se puede usar un dato a priori.

Cada paso de decodificación se puede repetir al menos una vez, por ejemplo entre 1 y 5 veces.

35 El paso de decodificación repetido de esta forma puede ir seguido a continuación por nuevos pasos de decodificación de datos de clases posteriores o anteriores.

Antes de su uso para una repetición del paso j de decodificación, se pueden procesar los datos extrínsecos antes de usar al menos algunos de ellos como datos a priori. El objetivo es recuperar datos de la misma dimensión y en el mismo orden que los datos a la salida del correspondiente paso de codificación.

40 De esta forma se realiza al menos una realimentación. Por lo tanto el método de decodificación de acuerdo con la invención se puede considerar iterativo, donde cada nueva iteración de un paso de decodificación puede mejorar la evaluación de los datos de la clase correspondiente.

De esta forma se puede usar información de otras clases para mejorar la decodificación de una clase.

45 Cada clase se beneficia de una protección diferente con respecto a errores. Una clase fuertemente protegida se beneficiará de una menor tasa de errores durante la decodificación. Durante la decodificación, la al menos una realimentación permite aprovechar el hecho de que durante la codificación se mezclan datos correspondientes a cada una de las clases. De ese modo, las diferentes clases codificadas se pueden beneficiar de la codificación de las otras clases codificadas.

De esta manera, para una clase menos protegida se puede alcanzar más rápidamente una tasa de bits erróneos dada. Por lo tanto la invención permite ahorros de energía, de redundancia de bits y de retardo de transmisión.

5 Al menos un paso j de decodificación se puede repetir al menos una vez en función de datos a priori correspondientes a datos extrínsecos proporcionados por al menos un paso de decodificación de los datos de otra clase, y para j entre $M+1$ y 2 , y t estrictamente menor que j , el paso j de decodificación se repite en función de datos a priori obtenidos en los pasos de decodificación t a $j-1$.

De esta forma, cada paso de decodificación se puede repetir usando datos a priori obtenidos en pasos de decodificación de clases con mayor prioridad.

10 En este caso, dichos datos a priori pueden comprender información extrínseca relacionada con las clases 1 a $j-1$ e información relacionada con los datos de paridad de las clases 1 a $j-1$.

A continuación se pueden repetir los pasos de decodificación $j-1$ a t .

15 Al menos un paso j de decodificación se puede repetir al menos una vez en función de datos a priori correspondientes a datos extrínsecos proporcionados por al menos un paso de decodificación de los datos de otra clase, y para j entre M y 1 y t estrictamente mayor que j , el paso j de decodificación se repite en función de datos a priori obtenidos en los pasos de decodificación t a $j+1$.

De esta forma cada paso de decodificación se puede repetir usando datos a priori obtenidos en pasos de decodificación de clases con una menor prioridad.

En este caso, dichos datos a priori pueden comprender información extrínseca relacionada con las clases t a $j+1$ e información relacionada con los datos de paridad de las clases t a $j+1$.

20 A continuación se pueden repetir los pasos de decodificación $j+1$ a t .

Preferiblemente, el método de decodificación de acuerdo con la invención comprende los siguientes pasos:

- el paso $M+1$ de decodificación se repite en función de datos a priori obtenidos en los pasos de decodificación 1 a M ;
- los pasos de decodificación M a 1 se repiten usando datos a priori correspondientes a datos extrínsecos proporcionados por el paso de decodificación anterior (siguiendo el orden cronológico), de manera que los pasos de decodificación $M+1$ a 1 constituyen una fase de decodificación;

y la fase de decodificación se repite al menos una vez.

30 De esta manera, en todos los pasos de decodificación se realiza una realimentación, y en cada fase de decodificación, los pasos de decodificación se realizan de forma sucesiva para todas las clases n , donde n es decreciente, y va desde $M+1$ a 1 .

A partir de la segunda iteración, el paso $M+1$ de decodificación se puede realizar en función de datos extrínsecos proporcionados por el paso 1 de decodificación.

De esta forma, para mejorar la decodificación de una clase se puede usar información de todas las otras clases.

35 La invención también se refiere a un dispositivo de decodificación adaptado para implementar el método de decodificación de acuerdo con la invención.

40 El dispositivo de decodificación de acuerdo con la invención comprende $M+1$ módulos de decodificación, siendo cada módulo j de decodificación (donde j es un número entero entre 1 y $M+1$, ambos inclusive) capaz de decodificar datos codificados producidos en el paso j -ésimo de codificación del método de codificación de acuerdo con la invención, y proporcionando cada módulo j de decodificación datos denominados extrínsecos que pueden ser usados como datos a priori por otro módulo de decodificación, y al menos un dato denominado "blando" para una evaluación de los datos de la clase j .

La invención encuentra aplicación en todos los campos de transmisión de datos y en cualquier sistema de transmisión, tanto si es una transmisión por cable como si es inalámbrica. El campo puede ser en particular el de:

- las comunicaciones radio terrestres,
- 45 - las comunicaciones radio aeroespaciales,
- la transmisión de datos en robótica o electrónica,
- las aplicaciones de audio y/o vídeo.

La invención también se refiere a un producto de programa informático que comprende instrucciones para realizar los pasos del método de codificación de acuerdo con la invención cuando se ejecuta en un dispositivo informático.

La invención también se refiere a un producto de programa informático que comprende instrucciones para realizar los pasos del método de decodificación de acuerdo con la invención cuando se ejecuta en un dispositivo informático.

5 Descripción de las figuras y realizaciones

Ventajas y rasgos adicionales de la invención se pondrán de manifiesto con la lectura de la descripción detallada de las implementaciones y realizaciones, que no son de ninguna manera limitativas, y de los siguientes dibujos adjuntos, en los cuales:

- 10 - La Figura 1 ilustra esquemáticamente un ejemplo del método de codificación denominado "en paralelo" de acuerdo con la invención,
- La Figura 2 ilustra esquemáticamente un ejemplo del método de decodificación denominado "en paralelo" de acuerdo con la invención,
- La Figura 3 ilustra una realización concreta del método de codificación denominado "en paralelo" de acuerdo con la invención,
- 15 - La Figura 4 ilustra una realización concreta del método de decodificación denominado "en paralelo" de acuerdo con la invención,
- La Figura 5 ilustra curvas de tasas de bits erróneos obtenidas con un método de decodificación de acuerdo con la invención.

20 A lo largo de todo el texto, un multiplexado puede designar a una concatenación, a un entrelazado o a cualquier otra operación realizada para ordenar datos en una trama unidimensional o multidimensional.

A lo largo de todo el texto, cuando se hace mención a un desmultiplexado, éste se refiere a un multiplexado dado, siendo el desmultiplexado la operación inversa a dicho multiplexado.

A lo largo de todo el texto, cuando se hace mención a un desentrelazado, éste se refiere a un entrelazado dado, consistiendo el desentrelazado en recuperar el orden de los datos antes del citado entrelazado.

25 Los medios para implementar cada paso del método de acuerdo con la invención son conocidos por las personas con experiencia en la técnica, por consiguiente sólo se describirán en detalle métodos de ejemplo de acuerdo con la invención.

La Figura 1 es una representación en forma de diagrama de un ejemplo de un método de codificación en paralelo en conformidad con el método de acuerdo con la invención.

30 Cada codificador implementa un código de convolución sistemático recursivo.

En el ejemplo representado en la Figura 1, se codifica una trama 102 de datos. Los datos de la trama 102 están clasificados en n clases 102_1 - 102_n . Cada una de las clases 102_i está asociada a un nivel de prioridad. En el presente ejemplo, de manera no limitativa, el nivel de prioridad de la clase 102_1 es mayor que el nivel de prioridad de la clase 102_2 , y así sucesivamente, siendo la clase 102_n la de menor nivel de prioridad.

35 El método 300, representado en la Figura 3, comprende un primer paso 302_1 de codificación, el cual está limitado a la codificación 306_1 de los datos de la clase 102_1 .

Este paso 302_1 de codificación proporciona como salida datos de paridad que son datos de redundancia para permitir recuperar los datos de entrada (y datos denominados sistemáticos que corresponden a los datos de entrada).

40 Este paso 302_1 va seguido por un segundo paso 302_2 de codificación que realiza un entrelazado 304_2 de los datos de la clase 102_1 con los datos de la clase 102_2 ;

Se utiliza el término "seguido", aunque cada paso i de codificación se puede realizar de manera simultánea, antes o después de la codificación 306_{i-1} .

45 El paso 302_2 de codificación comprende una codificación 306_2 de los datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 304_2 .

Este paso 302_2 de codificación proporciona como salida datos de paridad que son datos de redundancia para permitir recuperar los datos de entrada (y datos denominados sistemáticos que corresponden a los datos de entrada).

El método 100 comprende después del paso 302₂, un paso 302₃ de codificación y así sucesivamente hasta el paso 302_n. Cada uno de los pasos 302_i para $i \geq 3$ comprende las siguientes operaciones:

- un entrelazado 304_i de los datos sistemáticos proporcionados en el paso 302_{i-1}, con los datos de origen de la clase 102_i; y
- 5 - una codificación 306_i de los datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 304_i;

Cada paso 302_i para $i \geq 2$ proporciona como salida los datos de paridad y los datos sistemáticos que en este caso corresponden a los datos entrelazados obtenidos en el entrelazado 304_i.

En la salida, la trama A codificada se obtiene multiplexando los datos de paridad proporcionados en cada paso 302_i, $i=1 \rightarrow n$, y el dato sistemático proporcionado por el paso 302_n.

- 10 Se observa que cada paso 304_{i+1} de entrelazado también se puede implementar al mismo tiempo que el paso 306_i de codificación.

Los datos de la trama 102 se modulan y se transmiten juntos como los datos A, porque no se separan antes de la implementación del método de codificación de acuerdo con la invención.

Preferiblemente los datos A se modulan y a continuación se transmiten sobre un canal de transmisión.

- 15 Después de la transmisión, se reciben los datos A que pueden estar afectados por errores.

La Figura 2 es una representación en forma de diagrama de un ejemplo de un método 400 de decodificación "en paralelo" en conformidad con el método de acuerdo con la invención, en el caso en que cada codificador implementa un código de convolución sistemático recursivo.

- 20 En el ejemplo representado en la Figura 2, se decodifican los datos A. Estos datos A han sido codificados en conformidad con el método 300 de codificación en paralelo de acuerdo con la invención.

Después de cada codificación, se puede proporcionar además que se realice una perforación. En este caso, la decodificación comprende pasos de desperforación. Este caso particular no está representado aquí, pero no está excluido del campo de la invención.

- 25 El método 400 comprende un paso 402 de desmultiplexado preliminar que permite separar de los datos A, los datos 404_{1...n} de paridad obtenidos respectivamente en los pasos 306_{1...n} de codificación del método 300 de codificación en paralelo, y el dato 406 denominado sistemático correspondiente a datos a codificar en el último paso de codificación del método 300 de codificación en paralelo.

Un primer paso 408_n de decodificación de los datos de la clase 102_n comprende los siguientes pasos:

- 30 - una decodificación 410_n de los datos 404_n de paridad de la clase 102_n, usando el dato 406 sistemático y un dato a priori (inicialmente igual a cero), y proporcionando datos denominados extrínsecos así como datos denominados blandos para evaluar los datos de la clase 102_n;
- un desentrelazado 412_n de los datos denominados extrínsecos, para proporcionar datos desentrelazados, implementando el desentrelazado 412_n una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_n del método 300 de codificación en paralelo.
- 35 - un desmultiplexado 414_n de los datos desentrelazados para separar datos denominados a priori útiles que se usarán en el siguiente paso de decodificación, y datos denominados a priori relacionados con los datos de la clase 102_n;

- 40 Los datos blandos para evaluar los datos de la clase 102_n son sometidos a un paso 416_n de desentrelazado que implementa una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_n del método 300 de codificación en paralelo. Un paso 418_n de desmultiplexado permite aislar probabilidades para los datos de la clase 102_n (para cada bit, la probabilidad debe ser 0 ó 1). Se puede proporcionar además un paso para evaluar los datos de la clase 102_n.

El desmultiplexado 414_n va seguido por un nuevo paso 408_{n-1} de decodificación de los datos de la clase 102_{n-1} que comprende los siguientes pasos:

- 45 - una decodificación 410_{n-1} de los datos de paridad de la clase 102_{n-1}, usando:
- los datos a priori útiles obtenidos en el paso de decodificación anterior, y
 - un dato de canal evaluado (los datos de paridad y los datos sistemáticos para los códigos de convolución sistemáticos recursivos, estando los sistemáticos formados por el dato sistemático del

paso de codificación anterior que fue sometido al paso 420_{n-1} de desentrelazado que implementa una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_n del método 300 de codificación en paralelo y después de la eliminación de los datos sistemáticos correspondientes a la clase 102_n de la misma).

5 La decodificación 410_{n-1} proporciona datos denominados extrínsecos correspondientes a las clases 102_{1→n-1} y datos para evaluar los datos de la clase 102_{n-1}.

El paso 408_{n-1} de decodificación comprende a continuación los siguientes pasos:

- 10 - un desentrelazado 412_{n-1} de los datos denominados extrínsecos, para proporcionar datos desentrelazados, implementando el desentrelazado 412_{n-1} una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_{n-1} del método 300 de codificación en paralelo.
- un desmultiplexado 414_{n-1} de los datos desentrelazados para separar datos denominados a priori útiles relacionados con los datos de las clases 102_{1→n-2} que se usarán en el siguiente paso de decodificación, de datos denominados a priori relacionados con los datos de la clase 102_{n-1}.

15 Los datos blandos para evaluar los datos de la clase 102_{n-1} son sometidos a un paso 416_{n-1} de desentrelazado que implementa una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_{n-1} del método 300 de codificación en paralelo. Un paso 418_{n-1} de desmultiplexado permite aislar probabilidades para los datos de la clase 102_{n-1} (para cada bit, la probabilidad debe ser 0 ó 1). Además se puede proporcionar un paso para evaluar datos de la clase 102_{n-1}.

20 El método 300 comprende después del paso 408_{n-1}, un paso 408_{n-2} de decodificación y así sucesivamente hasta el paso 408₂. Cada paso 408_i para $n-2 \geq i \geq 2$ comprende las siguientes operaciones:

-una decodificación 410_i de los datos de paridad de la clase 102_i, usando:

- los datos a priori útiles obtenidos en el paso de decodificación anterior, y
- 25 - un dato de canal evaluado (formado por los datos de paridad y por los datos sistemáticos para códigos de convolución sistemáticos recursivos, estando los sistemáticos formados por el dato sistemático del paso de decodificación anterior que fue sometido a un paso 420_i de desentrelazado que implementa una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_{i+1} del método 300 de codificación en paralelo y después de la eliminación de los datos sistemáticos correspondientes a las clases 102_{i+1→n} de las mismas).

30 El paso 410_i de decodificación proporciona datos denominados extrínsecos y datos para evaluar los datos de la clase 102_i, denominados datos blandos.

El paso 408_i de decodificación comprende a continuación los siguientes pasos:

- un desentrelazado 412_i de los datos denominados extrínsecos, para proporcionar datos desentrelazados, implementando el desentrelazado 412_i una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_i del método 300 de codificación en paralelo.
- 35 - un desmultiplexado 414_i de los datos desentrelazados para separar datos denominados a priori útiles relacionados con los datos de las clases 102_{1→i-1} que se usarán en el siguiente paso de decodificación, de datos denominados a priori relacionados con los datos de la clase 102_i;

40 Los datos para evaluar datos de la clase 102_i son sometidos a un paso 416_i de desentrelazado que implementa una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_i del método 300 de codificación en paralelo. Un paso 418_i de desmultiplexado permite aislar probabilidades para datos de la clase 102_i (para cada bit, la probabilidad debe ser 0 ó 1). Además se puede proporcionar un paso para evaluar datos de la clase 102_i.

El método 400 comprende, después del paso 408₂, un paso 408₁ de decodificación que comprende los siguientes pasos:

- 45 - una decodificación 410₁ de los datos 404₁ de paridad de la clase 102₁, usando:
 - los datos a priori útiles obtenidos en el paso de decodificación anterior, y
 - un dato de canal evaluado (formado por los datos de paridad y por los datos sistemáticos para los códigos de convolución sistemáticos recursivos, estando los sistemáticos formados por el dato sistemático del paso de decodificación anterior que fue sometido a un paso 420₁ de desentrelazado
- 50 que implementa una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el

entrelazado 304_2 del método 300 de codificación en paralelo y después de la eliminación de los datos sistemáticos correspondientes a las clases $102_{2 \rightarrow n}$ de las mismas).

La decodificación 410_1 proporciona datos denominados extrínsecos y datos correspondientes a una evaluación de los datos de la clase 102_1 , llamados datos blandos.

5 Los pasos descritos desde la decodificación 410_n reciben el nombre de fase de decodificación.

El método 400 de decodificación adaptado para la codificación en paralelo comprende también una realimentación, la cual consiste en usar datos extrínsecos proporcionados en un paso de decodificación para repetir un paso de decodificación anterior de la fase de decodificación.

10 Los datos extrínsecos usados para una repetición de un paso de decodificación se entrelazan para recuperar datos de la misma dimensión y en el mismo orden que los datos a la salida del paso de codificación correspondiente.

La realimentación comprende los siguientes pasos:

- entrelazado 422_1 de los datos extrínsecos proporcionados por el paso 410_1 de decodificación y de los datos denominados a priori relacionados con los datos de la clase 102_2 , para obtener datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 422_1 , implementando el entrelazado 422_1 una función de entrelazado similar a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_2 del método 300 de codificación en paralelo;
- 15 - para i desde 2 hasta $n-2$, i pasos 422_i de entrelazado de los datos denominados a priori relacionados con los datos de la clase 102_i y los datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 422_{i-1} , implementando el entrelazado 422_i una función de entrelazado similar a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_{i+1} del método 300 de codificación en paralelo;
- 20 - entrelazado 422_{n-1} de los datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 422_{n-2} , con un dato del tamaño de los datos a priori relacionados con los datos de la clase 102_n pero puesto a cero, implementando el entrelazado 422_{n-1} una función de entrelazado similar a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304_n del método 300 de codificación en paralelo;
- 25 - tener en cuenta los datos entrelazados del entrelazado 422_{n-1} como un dato a priori durante una segunda iteración del paso 410_n de decodificación.

Esta segunda iteración del paso 410_n de decodificación puede ir seguida por una tercera iteración de todos los otros pasos de una fase de decodificación descritos anteriormente.

30 Esta realimentación se puede implementar varias veces, por ejemplo de tres a quince veces. Después de cada iteración, se mejora la evaluación de los datos de cada una de las clases. Después de al menos cinco realimentaciones, ya no siempre es interesante realizar más realimentaciones, dado que la ganancia en la precisión de la evaluación es despreciable en comparación con el tiempo adicional necesario para otra iteración.

Se describirá ahora, haciendo referencia a la Figura 3, una realización concreta del método 300 de codificación de corrección de errores de acuerdo con la invención.

Cada codificación implementa un código de convolución sistemático recursivo.

35 Este código permite obtener datos codificados formados por datos denominados "de paridad" (redundancia) y datos denominados "sistemáticos" (idénticos a los datos a codificar).

Los datos 30 digitales denominados de origen están formados por una trama 102 que comprende tres clases 102_1 , 102_2 y 102_3 .

40 El método 300 de acuerdo con la invención comprende un paso 70 inicial de separación de los datos de cada una de las clases 102_1 , 102_2 y 102_3 .

Los datos de la clase 102_1 se designan mediante el símbolo a_1 .

Los datos de la clase 102_2 se designan mediante el símbolo a_2 .

Los datos de la clase 102_3 se designan mediante el símbolo a_3 .

45 El método 300 de acuerdo con la invención comprende un primer paso 306_1 de codificación de los datos de la clase 102_1 .

Se obtienen los datos P_1 de paridad, es decir, los datos de redundancia relacionados con los datos a_1 .

Los datos P_1 obtenidos se denominan "paridad de la clase 102_1 ".

El método 300 de acuerdo con la invención comprende a continuación (o de forma simultánea) un paso 304₂ de entrelazado de los datos a_1 con los datos a_2 de la clase 102₂:

Se obtienen datos b_1 entrelazados.

5 Los datos b_1 entrelazados se codifican a continuación durante un paso 306₂ de codificación, el cual proporciona datos P_2 de paridad, es decir, datos de redundancia relacionados con los datos b_1 .

Dado que los datos b_1 están formados por los datos a_1 y a_2 mezclados, se aumenta el número de datos de redundancia disponibles correspondientes a los datos a_1 .

Los datos P_2 obtenidos se denominan "paridad de las clases 102₁ y 102₂".

10 El método 300 de acuerdo con la invención comprende a continuación (o de forma simultánea) un paso 304₃ de entrelazado de los datos b_1 con los datos a_3 de la clase 102₃:

Se obtienen datos b_2 entrelazados.

Los datos b_2 entrelazados se codifican a continuación durante un paso 306₃ de codificación, el cual proporciona datos P_3 de paridad, es decir, datos de redundancia relacionados con los datos b_2 .

15 Dado que los datos b_2 están formados por los datos a_1 , a_2 y a_3 mezclados, aumenta el número de datos de redundancia disponibles correspondientes a datos a_1 y a_2 .

Los datos P_3 obtenidos se denominan "paridad de las clases 102₁, 102₂ y 102₃".

Se obtienen en la salida datos A que reúnen todas las paridades P_1 , P_2 y P_3 , así como una salida S_3 denominada sistemática, correspondiente a los datos b_2 a codificar durante el último paso 306₃ de codificación. La salida sistemática es debida al uso de códigos de convolución sistemáticos recursivos.

20 Se describirá ahora, haciendo referencia a la Figura 4, una realización concreta del método 400 de decodificación de acuerdo con la invención, correspondiente al método de codificación de la Figura 3, y en el caso en que cada codificador implementa un código de convolución sistemático recursivo.

Un primer desmultiplexado 402 permite separar las paridades P_1 , P_2 , P_3 y la salida S_3 sistemática entre los datos A recibidos.

25 El método 400 de acuerdo con la invención comprende una primera decodificación que comprende un paso 410₃ de decodificación de la paridad P_3 , en función de la salida S_3 sistemática y de un dato a priori inicialmente puesto a cero.

Se obtienen una salida $L_{\text{soft}}(b_2)$ y datos $L_{\text{ext}}(b_2)$ denominados extrínsecos.

La salida $L_{\text{soft}}(b_2)$ permite evaluar los datos b_2 .

30 A lo largo de todo el texto, L_{soft} , L_{ext} y L_{priori} corresponden a las probabilidades logarítmicas de que cada bit de datos sea 0 ó 1, que son el resultado de un uso ventajoso para esta realización concreta del algoritmo de decodificación denominado MAX LOG MAP.

Por un lado, se implementan los siguientes pasos:

- 35
- desentrelazado 416₃ de la salida $L_{\text{soft}}(b_2)$, implementando el desentrelazado 416₃ una función de desentrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el paso 304₃ de entrelazado;
 - desmultiplexado 418₃ para separar los datos $L_{\text{soft}}(a_3)$ y $L_{\text{soft}}(b_1)$.

La salida $L_{\text{soft}}(a_3)$ corresponde a una evaluación de los datos a_3 de la clase 102₃.

La salida $L_{\text{soft}}(b_1)$ corresponde a una evaluación de los datos b_1 .

De hecho, los datos b_2 corresponden a los datos a_3 entrelazados con los datos b_1 .

40 Los datos $L_{\text{ext}}(b_2)$ denominados extrínsecos comprenden en particular información relacionada con una evaluación de los datos de la clase 102₃.

Por otro lado, se implementan los siguientes pasos:

- desentrelazado 412₃ de la salida $L_{\text{ext}}(b_2)$, implementando el desentrelazado 412₃ una función de desentrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el paso 304₃ de entrelazado.

- demultiplexado 414₃ para separar los datos $L_{\text{priori}}(a_3)$ y los datos $L_{\text{priori}}(b_1)$.

Los datos $L_{\text{priori}}(a_3)$ corresponden a las probabilidades logarítmicas de que cada bit de datos de la clase 102₃ sea 0 ó 1.

Los datos $L_{\text{priori}}(b_1)$ se usan como información a priori en el siguiente paso de decodificación.

- 5 El demultiplexado 414₃ va seguido por una segunda decodificación que comprende un paso 410₂ de decodificación de la paridad P_2 , en función de $L_{\text{priori}}(b_1)$ y de la salida S_3 sistemática a la cual se ha aplicado un desentrelazado 420₂ que implementa una función de desentrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el paso 304₃ de entrelazado, y un demultiplexado para separar información sistemática correspondiente a los datos b_1 y a los datos de la clase a_3 . Sólo los datos b_1 sistemáticos son útiles para esta decodificación.

- 10 Se obtienen una salida $L_{\text{soft}}(b_1)$ y datos $L_{\text{ext}}(b_1)$ denominados extrínsecos.

La salida $L_{\text{soft}}(b_1)$ permite evaluar los datos b_1 .

Por un lado, se implementan los siguientes pasos:

- desentrelazado 416₂ de la salida $L_{\text{soft}}(b_1)$, implementando el desentrelazado 416₂ una función de desentrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el paso 304₂ de entrelazado;

- 15 - demultiplexado 418₂ para separar los datos $L_{\text{soft}}(a_2)$ y los datos $L'_{\text{soft}}(a_1)$.

La salida $L_{\text{soft}}(a_2)$ corresponde a una evaluación de los datos a_2 de la clase 102₂.

Los datos $L_{\text{ext}}(b_1)$ denominados extrínsecos comprenden información relacionada con una evaluación de los datos de las clases 102₁ y 102₂.

Por otro lado, se implementan los siguientes pasos:

- 20 - desentrelazado 412₂ de la salida $L_{\text{ext}}(b_1)$, implementando el desentrelazado 412₂ una función de desentrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el paso 304₂ de entrelazado;
- demultiplexado 414₂ para separar los datos $L_{\text{priori}}(a_2)$ y los datos $L_{\text{priori}}(a_1)$.

Los datos $L_{\text{priori}}(a_2)$ corresponden a las probabilidades de que cada bit de datos de la clase 102₂ sea 0 ó 1.

Los datos $L_{\text{priori}}(a_1)$ se usan como información a priori en el siguiente paso de decodificación.

- 25 El demultiplexado 414₂ va seguido por una tercera decodificación que comprende un paso 410₁ de decodificación de la paridad P_1 , en función de $L_{\text{priori}}(a_1)$ y de la salida S_3 sistemática a la cual se ha aplicado un desentrelazado 420₂ y a continuación otro desentrelazado 420₁, que implementa una función de desentrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en los pasos de entrelazado 304₃ y 304₂ respectivamente, y el demultiplexado apropiado para obtener los datos sistemáticos de la clase a_1 .

- 30 Se obtienen los datos $L_{\text{ext}}(a_1)$ extrínseco y una evaluación $L_{\text{soft}}(a_1)$ de los datos de la clase 102₁.

El método 400 de decodificación tiene una realimentación que comprende los siguientes pasos:

- entrelazado 422₁ de los datos $L_{\text{ext}}(a_1)$ y $L_{\text{priori}}(a_2)$, para obtener un dato $L'_{\text{ext}}(b_1)$ entrelazado, y que implementa una función de entrelazado similar a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304₂ del método 300 de codificación en paralelo;

- 35 - entrelazado 422₂ de los datos $L'_{\text{ext}}(b_1)$ y $L'_{\text{ext}}(a_3)$, para obtener un dato $L_{\text{priori}}(b_2)$ entrelazado, y que implementa una función de entrelazado similar a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 304₃ del método 300 de codificación en paralelo (siendo $L'_{\text{ext}}(a_3)$ un dato del tamaño de a_3 pero que asume valores cero);

- nueva iteración del paso 410₃ de decodificación, teniendo en cuenta un dato $L_{\text{priori}}(b_2)$ a priori;

- 40 - nueva iteración de los pasos posteriores al paso 410₃ de decodificación.

Esta realimentación permite que cada clase se beneficie de la precisión de decodificación obtenida para las otras clases.

Por último, las clases no muy protegidas se pueden decodificar con una mejor precisión que si se hubieran codificado por separado a partir de clases mejor protegidas.

- 45 Las codificaciones descritas utilizan por ejemplo generadores de polinomios.

Los tamaños de las diferentes clases procesadas pueden variar.

Se pueden proporcionar algunas clases que no serán codificadas.

En la Figura 5 se ilustran curvas de tasas de bits erróneos que se pueden obtener con un método de decodificación de acuerdo con la invención.

- 5 La tasa de bits erróneos es el número de bits erróneos en las evaluaciones de los datos codificados de una clase, dividido por el número total de bits analizados mediante el método de decodificación de acuerdo con la invención. De esta forma, es una cantidad sin unidades.

La tasa de bits erróneos se expresa a menudo en función de una relación señal-ruido. En la Figura 5, el eje de abscisas corresponde a una tasa de bits erróneos, el eje de ordenadas corresponde al ratio E_b/N_0 en dB, que es el cociente en dB de una energía por bit dividida por la densidad espectral de potencia del ruido.

10

Se ha tomado el ejemplo en el que:

- después de la codificación, se ha implementado una modulación QPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura) sobre un canal AWGN (Ruido Gaussiano Blanco Aditivo);
- la trama 102 sólo comprende dos clases 102_1 y 102_2 codificadas.

- 15 En la Figura 5, existe un ratio 2/3 entre el tamaño de la clase 102_2 menos protegida y el tamaño de la trama, y un tamaño de trama de 900 bits.

La curva 11 representa la tasa de bits erróneos asociada con la decodificación de la clase 102_1 , tras la primera iteración del paso de decodificación de los datos de la clase 102_1 .

- 20 La curva 12 representa la tasa de bits erróneos asociada con la decodificación de la clase 102_2 , tras la primera iteración del paso de decodificación de los datos de la clase 102_2 .

La curva 11' representa la tasa de bits erróneos asociada con la decodificación de la clase 102_1 , tras la segunda iteración del paso de decodificación de los datos de la clase 102_1 .

La curva 12' representa la tasa de bits erróneos asociada con la decodificación de la clase 102_2 , tras la segunda iteración del paso de decodificación de los datos de la clase 102_2 .

- 25 De este modo, se puede ver que:

- la clase 102_1 , que es la primera clase que se ha codificado, alcanza tras la primera iteración una muy buena tasa de bits erróneos, dado que está disponible mucha información de redundancia para recuperar los datos de la clase 102_1 ;
- los datos de la clase 102_1 codificados en el primer paso de codificación se benefician de una ganancia de decodificación similar a la obtenida en una decodificación de tipo turbo tras la segunda iteración;
- en la primera iteración, la tasa de bits erróneos asociada con los datos de la clase 102_2 es bastante baja, porque sólo hay poca información de redundancia disponible para recuperar los datos de la clase 102_2 ;
- después de una iteración, se mejora extraordinariamente la tasa de bits erróneos asociada con los datos de la clase 102_2 , y ésta es más parecida a la tasa de bits erróneos obtenida para la decodificación de los datos de la clase 102_1 , beneficiándose en particular de la ganancia de decodificación turbo.

35

La influencia de una clase más fuertemente codificada sobre una clase menos codificada depende en particular del ratio del tamaño de la primera clase al tamaño de la segunda clase, en número de bits.

Después de cinco iteraciones, se puede obtener por ejemplo una tasa de bits erróneos de 10^{-2} para una relación señal-ruido menor que 2 dB, con una ganancia de 2,5 dB entre la primera y la última iteración.

- 40 Esta propiedad de la invención es especialmente interesante, porque puede verse que cada clase se beneficia de la precisión de decodificación obtenida para las otras clases y del efecto "turbo".

De esta forma, una clase dada puede estar menos protegida que en la técnica anterior, para una tasa de bits erróneos dada.

- 45 Se puede ver entonces que, para obtener una tasa de bits erróneos dada, se pueden transmitir menos datos de redundancia que en la técnica anterior.

De esta forma, se incrementa la capacidad de un canal de transmisión para una cobertura dada.

De esta forma, se incrementa el alcance del canal de transmisión para una capacidad dada.

Por supuesto, la invención no está limitada a los ejemplos que acaban de describirse y se pueden proporcionar numerosas mejoras a estos ejemplos sin salir del alcance de la invención.

5 Por ejemplo, se puede considerar cualquier tipo de decodificación que implemente en particular diferentes fases de realimentación.

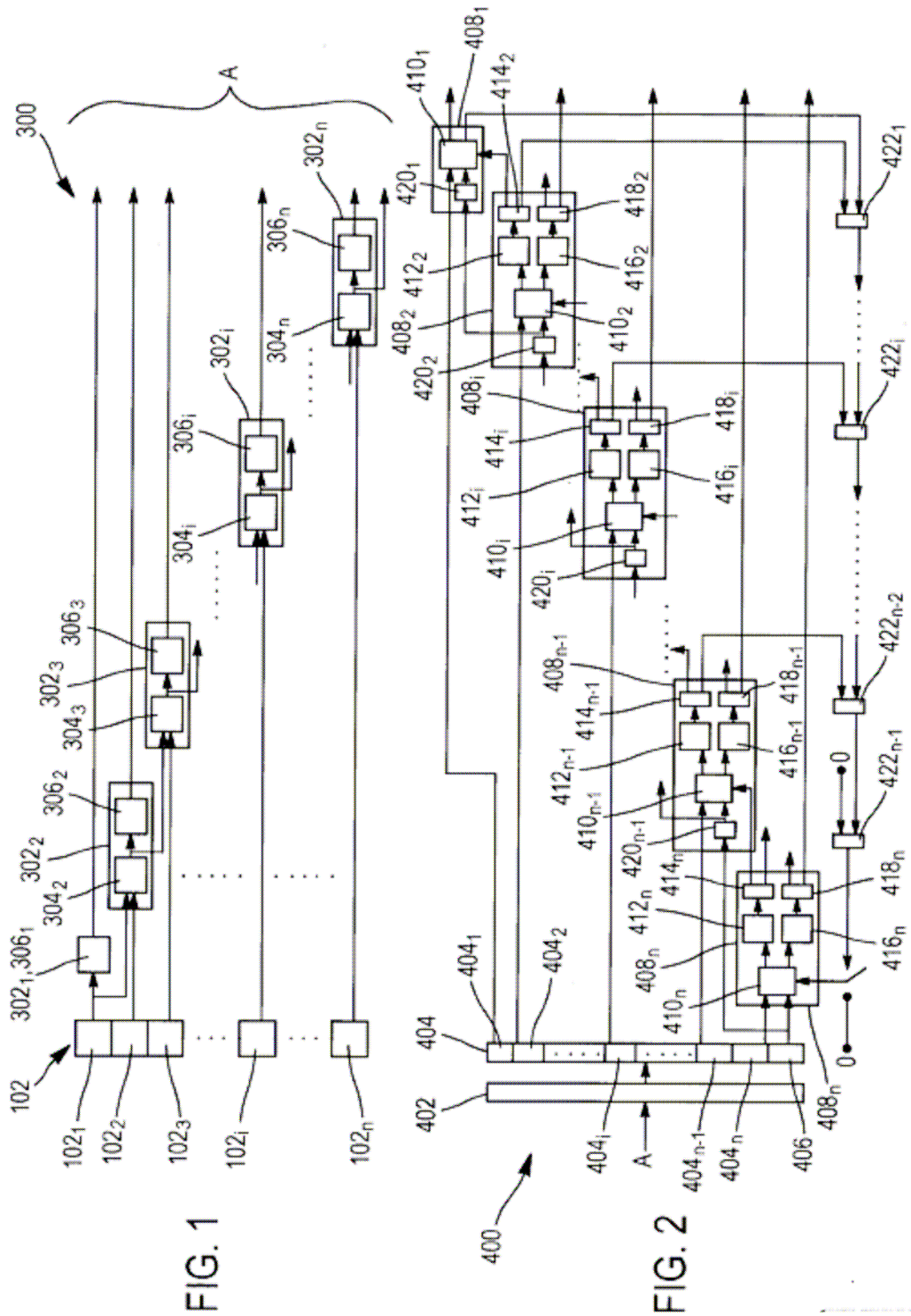
Por ejemplo, la invención se puede combinar con técnicas ya existentes, por ejemplo con técnicas de perforación, que consisten en borrar bits de la trama ya codificada para incrementar el ratio de codificación. En este caso, se puede reducir la redundancia del código para cada clase.

10 La invención también se puede combinar con técnicas de la técnica anterior que consisten en separar datos de una misma trama, pero reuniendo cada paquete de datos varias clases y siendo apropiado cada paquete de datos para ser procesado de acuerdo con la invención.

REIVINDICACIONES

1. Método (300) de codificación de corrección de errores para codificar en paralelo datos (30) digitales denominados de origen, que tienen la forma de una trama (102), donde dichos datos pueden estar clasificados en N clases (102₁, 102₂, 102₃, 102_i), siendo N un número entero igual a al menos 2, caracterizado porque comprende:
 - un primer paso (306₁) de codificación de convolución sistemática recursiva de datos a codificar, formados por los datos de la clase 1 (102₁); y
 - una implementación de los siguientes pasos, para cada n desde 1 hasta M, donde M es un número entero positivo igual o menor que N-1:
 - mezclado n-ésimo (304_{n+1}) de un conjunto formado por los datos de la clase n+1 (102_{n+1}) y los datos sistemáticos de la codificación anterior;
 - codificación (n+1)-ésima (306_{n+1}) de convolución sistemática recursiva de datos a codificar, formados por el resultado del mezclado n-ésimo.
2. El método (300) de codificación de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque se asigna un nivel de prioridad a cada una de las clases (102₁, 102₂, 102₃, 102_i), ordenándose las clases 1 a N en el orden decreciente de su nivel de prioridad.
3. El método (300) de codificación de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque cada paso (304_{n+1}) de mezclado consiste en un entrelazado.
4. Dispositivo de codificación para implementar el método (300) de codificación de corrección de errores en paralelo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, capaz de codificar datos (30) digitales de origen que tienen la forma de una trama (102), donde dichos datos están clasificados en N clases (102₁, 102₂, 102₃, 102_i), siendo N un número entero igual a al menos 2, y caracterizado porque comprende:
 - un primer módulo de codificación de convolución sistemática recursiva para la codificación de datos a codificar formados por los datos de la clase 1 (102₁); y
 - hacer que n vaya desde 1 hasta M, donde M es un número entero positivo igual o menor que N-1, M conjuntos formados cada uno por un mezclador n-ésimo seguido por un módulo (n+1)-ésimo de codificación de convolución sistemática recursivo, estando el mezclador n-ésimo diseñado para recibir los datos de la clase n+1 (102_{n+1}) y los datos sistemáticos de un módulo de codificación anterior, y estando el (n+1)-ésimo módulo de codificación diseñado para la codificación de datos a codificar formados por la salida del mezclador n-ésimo.
5. Método (400) para decodificar datos digitales, caracterizado porque está diseñado para decodificar datos digitales codificados en conformidad con el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3.
6. El método (400) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado porque para cualquier j, k, l entre M+1 y 1:
 - En cada paso j-ésimo (306_j) de codificación del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, corresponde a un paso j (410_j) de decodificación, adaptado para decodificar datos codificados producidos en el paso j-ésimo de codificación;
 - al final de cada paso j de decodificación, se obtienen por un lado datos denominados "blandos" para una evaluación de los datos de la clase j, y se obtienen por otro lado datos extrínsecos;
 y caracterizado porque se implementan los siguientes pasos:
 - desdecodificación k; y a continuación
 - decodificación l ≠ k en función de al menos un dato extrínseco proporcionado por al menos otro paso de decodificación, usado como un dato a priori.
7. El método (400) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado porque comprende además un paso (402) de desmultiplexado inicial que realiza la separación de los datos de paridad de cada clase.
8. El método (400) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 6 ó 7, caracterizado porque para j entre M+1 y 2, después de cada paso j (410_j) de decodificación, el método comprende además las siguientes operaciones:

- desenredado j-1 (412j) de dichos datos extrínsecos, realizando el desenredado j-1 una función inversa a la implementada en el paso j-1 (304j) de mezclado, para proporcionar datos desenredados;
 - desmultiplexado de los datos desenredados para separar datos a priori relacionados con la clase j denominados datos extraídos de datos a priori relacionados con las clases 1 a j-1 denominados datos a priori útiles;
 - proporcionar dichos datos a priori útiles para que sean usados en el paso j-1 (410_{j-1}) de decodificación.
- 5
9. El método (400) de decodificación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado porque para j entre M+1 y 2, después de cada paso j (410_j) de decodificación, el método comprende además las siguientes operaciones:
- desenredado j-1 (412j) de los datos blandos, realizando el desenredado j-1 una función inversa a la implementada en el paso j-1 (304j) de mezclado, para proporcionar datos blandos desenredados;
 - desmultiplexado de los datos blandos desenredados para separar datos blandos relacionados con la clase j denominados datos blandos extraídos de datos blandos relacionados con las clases 1 a j-1.
- 10
10. El método (400) de decodificación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, caracterizado porque al menos un paso j de decodificación (410_j) se repite al menos una vez, en función de datos a priori correspondientes a datos extrínsecos proporcionados por al menos un paso de decodificación de los datos de otra clase.
- 15
11. El método (400) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque para j entre M+1 y 2 y t estrictamente menor que j, el paso j (410_j) de decodificación se repite en función de datos a priori obtenidos en los pasos de decodificación t a j-1.
- 20
12. El método (400) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque para j entre M y 1 y t estrictamente mayor que j, el paso j (410_j) de decodificación se repite en función de datos a priori obtenidos en los pasos de decodificación t a j+1.
- 25
13. El método (400) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado porque una fase de decodificación comprende los siguientes pasos:
- el paso M+1 (410_{M+1}) de decodificación se repite en función de datos a priori obtenidos en los pasos de decodificación 1 a M;
 - los pasos de decodificación M a 1 se repiten usando datos a priori correspondientes a datos extrínsecos proporcionados por el paso de decodificación anterior, de manera que los pasos de decodificación M+1 a 1 (410_{M+1->1}) configuran una fase de decodificación;
 - y porque la fase de decodificación se repite al menos una vez.
- 30
14. Un dispositivo de decodificación caracterizado porque está adaptado para implementar el método de decodificación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 13, comprendiendo dicho dispositivo M+1 módulos de decodificación, siendo capaz cada módulo j de decodificación de decodificar datos codificados producidos en el paso j-ésimo (306_j) de codificación del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, y proporcionando cada módulo j de decodificación datos extrínsecos que pueden ser usados como datos a priori por otro módulo de decodificación, y al menos un dato "blando" para una evaluación de los datos de la clase j.
- 35
15. Producto de programa informático que comprende instrucciones para realizar los pasos del método de codificación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, cuando se ejecuta en un dispositivo informático.
- 40
16. Producto de programa informático que comprende instrucciones para realizar los pasos del método de decodificación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 13, cuando se ejecuta en un dispositivo informático.
- 45



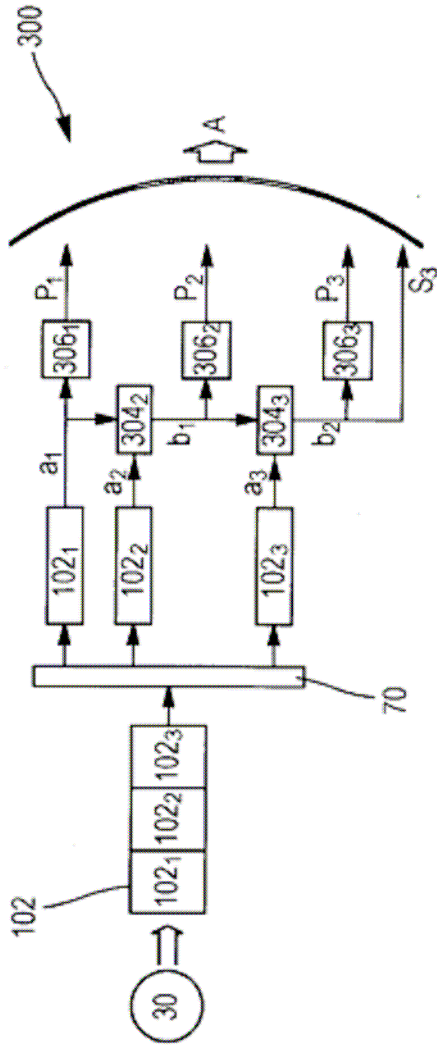


FIG. 3

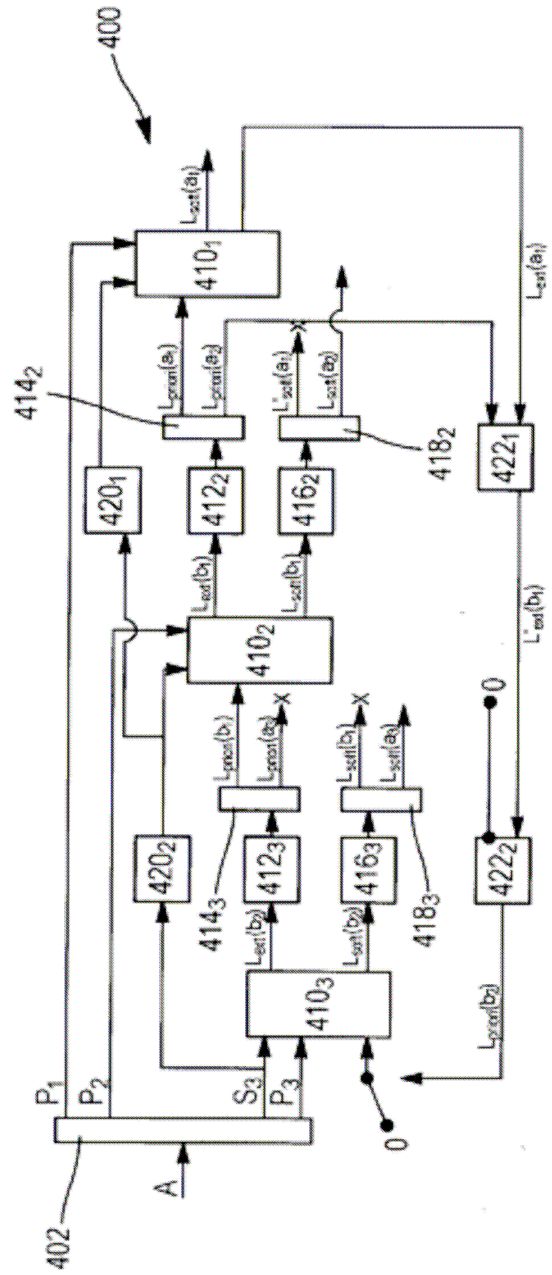


FIG. 4

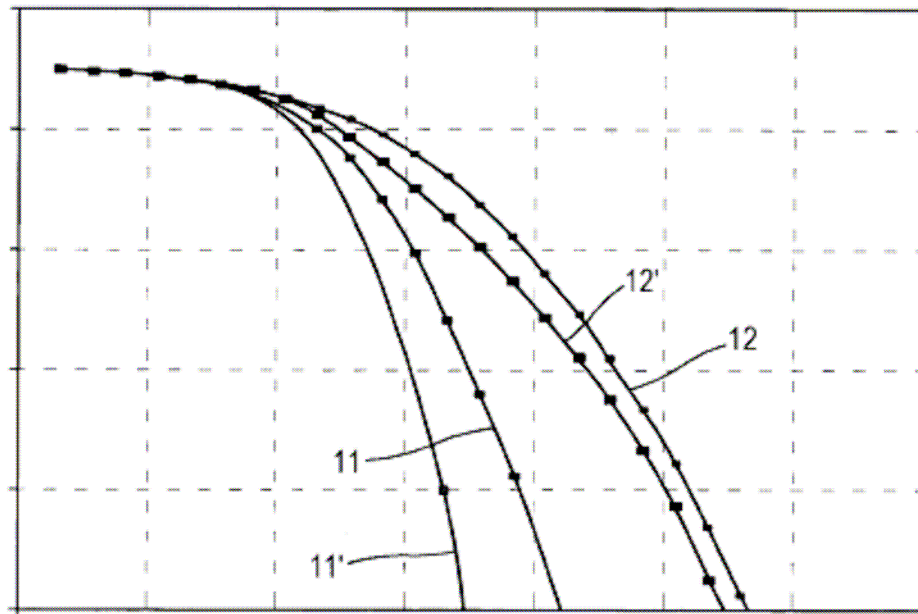


FIG. 5