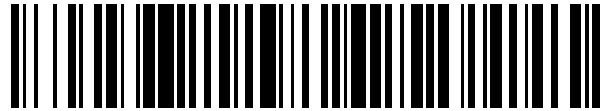


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 486 324**

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 12715860 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.06.2014 EP 2686963**

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

30 Prioridad:

15.03.2011 FR 1152105

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 2 486 324 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 turbocódigos. 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).

Sin embargo, un inconveniente de los turbocódigos 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 de 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.

50 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.

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 recepción, en particular para aplicaciones tales como transmisión de sonido o de vídeo.

5 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.

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.

10 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 serie datos digitales denominados de origen, que tienen forma de trama, donde dichos datos pueden estar clasificados en N clases, siendo N un número entero al menos igual a 2.

El método de codificación de acuerdo con la invención comprende:

- un primer paso de codificación de convolución sistemática recursiva de los datos de la clase 1;
- 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:

20 -mezclado n-ésimo de un conjunto formado por los datos de la clase n+1, los datos sistemáticos y los datos de paridad procedentes de un paso de codificación anterior;

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

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

Por lo tanto, se trata de un mezclado n-ésimo de un conjunto formado por datos de la clase n+1, datos sistemáticos y datos de paridad procedentes de un 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.

30 Los términos "dato de paridad" y "dato sistemático" son términos relacionados con los códigos de convolución sistemáticos recursivos, y son conocidos por las personas con experiencia en la técnica.

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

Estos datos corresponden a las dos salidas de un código de convolución sistemático recursivo.

35 Los datos sistemáticos y los datos de paridad de un paso de codificación forman los datos codificados por dicho paso de codificación.

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.

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

40 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 la transmisión sobre un canal.

45 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.

50 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 una 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.

5 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.

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.

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

Además, el método de acuerdo con la invención permite realizar una codificación más rápida ya que consume menos energía que los métodos del estado del arte.

15 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.

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.

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

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.

25 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.

30 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.

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

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

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.

40 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.

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

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.

50 Cada paso de mezclado puede consistir en una simple concatenación.

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.

5 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 .

10 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 y datos sistemáticos correspondientes al resultado del paso $(M+1)$ -ésimo de codificación.

15 La invención también se refiere a un dispositivo de codificación para implementar el método de codificación de corrección de errores en serie 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.

El 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

20 - 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 sistemático recursivo, estando el mezclador n -ésimo diseñado para recibir los datos de la clase $n+1$, los datos sistemáticos y los datos de paridad 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.

25 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.

Los datos obtenidos al final de la codificación 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.

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

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 (ambos inclusive):

35 - cada paso j -ésimo de codificación del método de acuerdo con la invención, corresponde a un paso 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 datos de la clase j , y se obtienen por otro lado datos denominados extrínsecos;

y se implementan los siguientes pasos:

40 - 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.

Preferiblemente, los datos a priori utilizados para una decodificación $l \neq k$ comprenden información relacionada con los datos codificados.

45 Los datos denominados "a priori" representan preferiblemente 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.

50 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.
- 5 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.
- 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.
- 10 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.
- 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.
- 15 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.
- 20 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.
- 25 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.
- 30 Cada paso de decodificación permite evaluar los datos de una clase.
- 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.
- 35 Un paso de decodificación se puede realizar de manera no sucesiva para cualquiera de las clases, con independencia del orden de codificación.
- El primer paso de codificación 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.
- 40 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.
- Para cualquier j entre M+1 y 2 (ambos inclusive), el método de decodificación de acuerdo con la invención puede comprender además, después de cada paso j de decodificación, las siguientes operaciones:
- demultiplexado j de los datos extrínsecos obtenidos en el paso j de decodificación, para separar datos relacionados con datos de paridad de datos denominados útiles relacionados con datos sistemáticos,
- 45
- desenredado j-1 de dichos datos útiles, realizando el desenredado j-1 una función inversa a la implementada en el paso j-1 de mezclado, para proporcionar datos desenredados:
 - demultiplexado 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.
- 50 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.

Para cualquier j entre $M+1$ y 2 (ambos inclusive), 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;
- 5 - 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 .
- 10 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.
- 15 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.
- 20 De esta manera 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.
- 25 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.
- 30 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.
- 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 (ambos inclusive), 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 $j-1$.
- 35 De esta forma, cada paso de decodificación se puede repetir usando datos a priori obtenidos en pasos de decodificación de clases con mayor prioridad.
- 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 .
- 40 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 (ambos inclusive) 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 $j+1$.
- 45 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 $j+1$.
- A continuación se pueden repetir los pasos de decodificación $j+1$ a t .
- Preferiblemente, una fase de decodificación comprende los siguientes pasos:
- 50 - 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 tal 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.

5 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 a priori proporcionados por el paso 1 de decodificación.

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

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

15 El dispositivo de decodificación de acuerdo con la invención puede comprender $M+1$ 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 se pueden usar como datos a priori para otro módulo de decodificación, y al menos un dato denominado "blando" para una evaluación de la clase j .

20 La invención encuentra aplicación en todos los campos de la 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,
- las comunicaciones radio aeroespaciales,
- la transmisión de datos en robótica o electrónica,
- las aplicaciones de audio y/o vídeo.

25 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.

Descripción de las figuras y realizaciones

30 - La Figura 1 ilustra esquemáticamente un ejemplo del método de codificación denominado "en serie" de acuerdo con la invención,

- La Figura 2 ilustra esquemáticamente un ejemplo del método de decodificación denominado "en serie" de acuerdo con la invención,

35 - La Figura 3 ilustra una realización concreta del método de codificación denominado "en serie" de acuerdo con la invención,

- La Figura 4 ilustra una realización concreta del método de decodificación denominado "en serie" 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.

40 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.

45 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.

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.

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

Cada paso de codificación 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.

5 El método 100 comprende un primer paso 104_1 de codificación, el cual comprende:

- una codificación 110_1 de los datos de la clase 102_1 , y
- un multiplexado 106_1 de los datos a la salida de la codificación 110_1 que, en el caso concreto de códigos de convolución sistemáticos recursivos consisten en una salida sistemática (es decir los datos a codificar, a la entrada del codificador) y una salida de paridad (o datos codificados recursivamente o datos de paridad).

10 Este paso 104_1 va seguido por un segundo paso 104_2 de codificación que realiza:

- un entrelazado 108_2 de los datos multiplexados obtenidos después del multiplexado 106_1 , con los datos de la clase 102_2 ;
- una codificación 110_2 de los datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 108_2 , y

15 - un multiplexado 106_2 de los datos proporcionados por la codificación 110_2 que, en el caso concreto de códigos de convolución sistemáticos recursivos, consisten en una salida sistemática (es decir los datos a codificar, a la entrada del codificador) y una salida de paridad (o datos codificados recursivamente o datos de paridad).

Después del paso 104_2 , el método 100 comprende un paso 104_3 de codificación y así sucesivamente hasta el paso 104_n . Cada paso 104_i para $i \geq 3$ comprende las siguientes operaciones:

- 20
- un entrelazado 108_i de los datos multiplexados proporcionados por el multiplexado 106_{i-1} con los datos de la clase 102_i ;
 - una codificación 110_i de los datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 108_i ; y
 - un multiplexado 106_i de los datos proporcionados por la codificación 110_i .

25 Cada paso 104_i para $i \geq 2$ proporciona un dato de codificación formado por el multiplexado de la salida sistemática de la codificación 110_i (datos entrelazados obtenidos en el entrelazado 108_i) con la salida de paridad de la codificación 110_i (salida de paridad obtenida en la codificación 110_i).

En la salida, mediante el multiplexado 106_n se obtiene la trama A codificada.

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.

30 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 500 de decodificación en serie en conformidad con el método de acuerdo con la invención, en el caso en que cada codificador implementa un código de convolución sistemático recursivo.

35 En el ejemplo representado en la Figura 2, se decodifican los datos A. Estos datos A han sido codificados en conformidad con el método 100 de codificación en serie de acuerdo con la invención.

Después de cada multiplexado 106_i , 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.

Un primer paso 508_n de decodificación de los datos de la clase 102_n comprende los siguientes pasos:

- 40
- una decodificación 510_n de los datos codificados de la clase 102_n , usando los datos A y un dato a priori (el cual para la primera iteración consiste en una serie de valores cero), y que proporciona datos denominados extrínsecos así como datos blandos para evaluar los datos de la clase 102_n ;
 - un desmultiplexado 514_n de los datos extrínsecos, para separar los datos extrínsecos relacionados con los datos de paridad, y datos extrínsecos denominados útiles relacionados con los datos sistemáticos
- 45
- (relacionados con los datos codificados en el paso 104_n de codificación);
 - un desentrelazado 512_n de los datos extrínsecos útiles (relacionados con el paso 104_n de codificación), para proporcionar datos a priori relacionados con las clases $102_{1 \rightarrow n-1}$, y datos a priori relacionados con la clase 102_n , implementando el desentrelazado 512_n una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 108_n del método 100 de codificación en serie.

Los datos blandos para evaluar los datos de la clase 102_n son sometidos a un paso 516_n de desentrelazado que implementa una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 108_n del método 100 de codificación en serie.

5 Un paso de desmultiplexado no mostrado 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 desentrelazado 512_n va seguido por un nuevo paso 508_{n-1} de decodificación de los datos de la clase 102_{n-1} .

Este nuevo paso comprende una decodificación 510_{n-1} de los datos codificados de la clase 102_{n-1} , usando los datos a priori relacionados con las clases $102_{1 \rightarrow n-1}$ obtenidos en el paso de decodificación anterior, y un dato de canal puesto a cero.

10 La decodificación 510_{n-1} proporciona datos denominados extrínsecos, y datos blandos para evaluar los datos de la clase 102_{n-1} .

El paso 508_{n-1} de decodificación comprende a continuación los siguientes pasos:

15 - un desmultiplexado 514_{n-1} de los datos extrínsecos para separar los datos extrínsecos relacionados con los datos de paridad, de datos extrínsecos denominados útiles relacionados con los datos sistemáticos (relacionados con los datos codificados en el paso 104_{n-1} de codificación);

- un desentrelazado 512_{n-1} de los datos extrínsecos útiles (relacionados con el paso 104_{n-1} de codificación), para proporcionar datos a priori relacionados con las clases $102_{1 \rightarrow n-2}$, y datos a priori relacionados con la clase 102_{n-1} , implementando el desentrelazado 512_{n-1} una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 108_{n-1} del método 100 de codificación en serie.

20 Los datos blandos para evaluar los datos de la clase 102_{n-1} son sometidos a un paso 516_{n-1} de desentrelazado que implementa una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 108_{n-1} del método 100 de codificación en serie.

Un paso de desmultiplexado no mostrado 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 los datos de la clase 102_{n-1} .

25 Después del paso 508_{n-1} , el método 500 comprende un paso 508_{n-2} de decodificación y así sucesivamente hasta el paso 508_2 . Cada uno de los pasos 508_i para $n-2 \geq i \geq 2$ comprende las siguientes operaciones:

- una decodificación 510_i de los datos codificados de la clase 102_i , usando los datos a priori relacionados con las clases $102_{1 \rightarrow i}$ obtenidos en el paso de decodificación anterior, y un dato de canal puesto a cero;

30 - un desmultiplexado 514_i de los datos extrínsecos para separar los datos extrínsecos relacionados con los datos de paridad, y los datos extrínsecos denominados útiles relacionados con los datos sistemáticos (relacionados con los datos codificados en el paso 104_i de codificación);

35 - un desentrelazado 512_i de los datos extrínsecos útiles (relacionados con el paso 104_i de codificación), para proporcionar datos a priori relacionados con las clases $102_{1 \rightarrow i-1}$, y datos a priori relacionados con la clase 102_i , implementando el desentrelazado 512_i una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 108_i del método 100 de codificación en serie.

Los datos blandos para evaluar datos de la clase 102_i son sometidos a un paso 516_i de desentrelazado que implementa una función de entrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 108_i del método 100 de codificación en serie.

40 Un paso de desmultiplexado no mostrado permite aislar probabilidades para los datos de la clase 102_i (para cada bit, la probabilidad debe ser 0 ó 1). Se puede proporcionar además un paso para evaluar los datos de la clase 102_i .

Después del paso 508_2 el método 500 comprende un paso 508_1 que comprende las siguientes operaciones:

45 - una decodificación 510_1 de los datos codificados de la clase 102_1 , usando los datos a priori relacionados con las clases 102_1 obtenidos en el paso de decodificación anterior, y un dato de canal puesto a cero, para obtener los datos extrínsecos (relacionados con los datos de paridad y con los datos sistemáticos denominados útiles, y correspondientes a los datos codificados en el paso 104_1 de codificación) y la evaluación relacionada con los datos codificados de la clase 102_1 .

Los pasos descritos desde la decodificación 510_n reciben el nombre de fase de decodificación.

50 El método 500 de decodificación adaptado a la codificación en serie comprende además una realimentación, la cual consiste en usar datos extrínsecos proporcionados por un paso de decodificación para repetir otro paso de decodificación.

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 de un paso de codificación correspondiente.

La realimentación comprende los siguientes pasos:

- 5 - entrelazado 522_1 de datos extrínsecos proporcionados por el paso 510_1 de decodificación y de datos a priori relacionados con la clase 102_2 , para obtener datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 522_1 , implementando el entrelazado 522_1 una función de entrelazado similar a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 108_2 del método 100 de codificación en serie, y a continuación un multiplexado 523_i de los datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 522_1 con los datos extrínsecos relacionados con los datos de paridad de la clase 102_2 ;
- 10 - para i desde 2 hasta $n-2$, i pasos 522_i de entrelazado de los datos multiplexados en el multiplexado 523_{i-1} con los datos a priori relacionados con la clase 102_{i+1} , para obtener datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 522_i , implementando el entrelazado 522_i una función de entrelazado similar a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 108_{i+1} del método 100 de codificación en serie, y a continuación un multiplexado 523_i de los datos entrelazados proporcionados por el entrelazado 522_i con datos denominados extrínsecos relacionados con los datos de paridad de la clase 102_{i+1} ;
- 15 - entrelazado 522_{n-1} de los datos multiplexados proporcionados por el multiplexado 523_{n-1} , 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 522_{n-1} una función de entrelazado similar a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 108_n del método 100 de codificación en serie;
- tener en cuenta los datos entrelazados procedentes del entrelazado 522_{n-1} como dato a priori durante una segunda iteración del paso 510_n de decodificación.

20 Esta segunda iteración del paso 510_n de decodificación puede ir seguida por una tercera iteración de todos los otros pasos de una fase de decodificación descritos anteriormente.

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 clase. 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.

25 Se describirá ahora, haciendo referencia a la Figura 3, una realización concreta del método 100 de codificación de corrección de errores de acuerdo con la invención, en el caso en que cada codificador implementa un código de convolución sistemático recursivo.

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

30 El método 100 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 .

35 El método 100 de acuerdo con la invención comprende un primer paso 110_1 de codificación de los datos de la clase 102_1 .

Se obtienen datos P_1 y S_1 codificados.

40 Los datos P_1 codificados obtenidos se denominan "paridad de la clase 102_1 " y corresponden a datos de redundancia que permiten recuperar los datos a_1 . Los datos S_1 codificados obtenidos se denominan "sistemáticos de la clase 102_1 ".

El método 100 de acuerdo con la invención comprende a continuación:

- un paso 106_2 de multiplexado de la paridad P_1 con la salida S_1 sistemática, para obtener datos A_1 multiplexados; y a continuación
- un paso 108_2 de entrelazado de los datos A_1 multiplexados con los datos a_2 de la clase 102_2 .

45 Se obtienen datos b_1 entrelazados.

Los datos b_1 entrelazados se codifican a continuación durante un paso 110_2 de codificación, el cual proporciona datos P_2 y S_2 codificados.

50 Los datos P_2 codificados obtenidos se denominan "paridad de b_1 ". Estos son datos de redundancia que permiten recuperar los datos b_1 . Dado que los datos b_1 comprenden los datos a_1 y a_2 mezclados, aumenta el número de datos de redundancia disponibles correspondientes a los datos a_1 .

Los datos S_2 codificados obtenidos se denominan "sistemáticos de b_1 ".

El método 100 de acuerdo con la invención comprende a continuación:

- un paso 106_3 de multiplexado de la paridad P_2 con la salida S_2 sistemática, para obtener datos A_2 multiplexados; y a continuación
- un paso 108_3 de entrelazado de los datos A_2 multiplexados con los datos a_3 de la clase 102_3 .

Se obtienen datos b_2 entrelazados.

- 5 Los datos b_2 entrelazados se codifican a continuación durante un paso 110_3 de codificación, el cual proporciona datos P_3 y S_3 codificados.

Los datos P_3 codificados obtenidos se denominan "paridad de b_2 ". Estos son datos de redundancia que permiten recuperar los datos b_2 . Dado que los datos b_2 comprenden los datos a_1 , a_2 y a_3 mezclados, aumenta el número de datos de redundancia disponibles correspondientes a los datos a_1 y a_2 .

- 10 Los datos S_3 codificados obtenidos se denominan "sistemáticos de b_2 ".

Se obtienen en la salida los datos A que reúnen la paridad P_3 y la salida S_3 sistemática.

Se describirá ahora, haciendo referencia a la Figura 4, una realización concreta del método 500 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.

- 15 El método 500 de acuerdo con la invención comprende una primera decodificación que comprende un paso 510_3 de decodificación que usa los datos A y un dato a priori inicialmente puesto a cero.

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

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

- 20 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:

- desentrelazado 516_3 de la salida $L_{\text{soft}}(b_2)$, implementando el desentrelazado 516_3 una función de desentrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el paso 108_3 de entrelazado;

- 25 - desmultiplexado no representado para separar los datos $L_{\text{soft}}(A_2)$ y $L_{\text{soft}}(a_3)$.

La salida $L_{\text{soft}}(a_3)$ corresponde a una evaluación de los datos a_3 de la clase 102_3 .

La salida $L_{\text{soft}}(A_2)$ corresponde a una evaluación de los datos A_2 .

Los datos $L_{\text{ext}}(A)$ denominados extrínsecos comprenden información relacionada con una evaluación de los datos de la clase 102_3 .

- 30 Por otro lado, se implementan los siguientes pasos:

- desmultiplexado 514_3 para separar los datos $L_{\text{ext}}(S_3)$ relacionados con los sistemáticos S_3 de los datos $L_{\text{ext}}(P_3)$ relacionados con la paridad P_3 ;
- desentrelazado 512_3 de la salida $L_{\text{ext}}(S_3)$, implementando el desentrelazado 512_3 una función de desentrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el paso 108_3 de entrelazado.

- 35 - desmultiplexado no representado de los datos desentrelazados, para obtener un dato $L_{\text{priori}}(a_3)$ y $L_{\text{priori}}(A_2)$.

Los datos $L_{\text{priori}}(a_3)$ corresponden a las probabilidades logarítmicas de que cada bit de datos de la clase 102_3 sea 0 ó 1.

Los datos $L_{\text{priori}}(A_2)$ se usan como información a priori en el siguiente paso de decodificación.

- 40 El desmultiplexado no representado para obtener un dato $L_{\text{priori}}(a_3)$ y $L_{\text{priori}}(A_2)$ va seguido por una segunda decodificación que comprende un paso 510_2 de decodificación de la paridad P_2 , en función de $L_{\text{priori}}(A_2)$ y de un dato de canal puesto a cero.

Se obtienen una salida $L_{\text{soft}}(b_1)$ y datos $L_{\text{ext}}(A_2)$ denominados extrínsecos.

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

- 45 Por un lado, se implementan los siguientes pasos:

- desentrelazado 516_2 de la salida $L_{\text{soft}}(b_1)$, implementando el desentrelazado 516_2 una función de desentrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el paso 108_2 de entrelazado;
- desmultiplexado no representado para separar los datos $L_{\text{soft}}(A_1)$ y $L_{\text{soft}}(a_2)$.

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

La salida $L_{\text{soft}}(A_1)$ corresponde a una evaluación de los datos A_1 .

Los datos $L_{\text{ext}}(A_2)$ denominados extrínsecos comprenden información relacionada con una evaluación de los datos de la clase 102₂.

5 Por otro lado, se implementan los siguientes pasos:

- demultiplexado 514₂ para separar los datos $L_{\text{ext}}(S_2)$ relacionados con los sistemáticos S_2 de los datos $L_{\text{ext}}(P_2)$ relacionados con la paridad P_2 ;
- desentrelazado 512₂ de la salida $L_{\text{ext}}(S_2)$, implementando el desentrelazado 512₂ una función de desentrelazado inversa a la función de entrelazado implementada en el paso 108₂ de entrelazado;

10 - demultiplexado no representado de los datos desentrelazados, para obtener un dato $L_{\text{priori}}(a_2)$ y $L_{\text{priori}}(A_1)$.

Los datos $L_{\text{priori}}(a_2)$ corresponden a las probabilidades logarítmicas 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.

15 El demultiplexado para obtener un dato $L_{\text{priori}}(a_2)$ y $L_{\text{priori}}(A_1)$ va seguido por una tercera decodificación que comprende un paso 510₁ de decodificación de la paridad P_1 , en función de $L_{\text{priori}}(A_1)$ y de un dato de canal puesto a cero.

Se obtienen un dato $L_{\text{ext}}(A_1)$ extrínseco y una evaluación $L_{\text{soft}}(a_1)$ de los datos de la clase 102₁.

El método 500 de decodificación tiene una realimentación que comprende los siguientes pasos:

20 - entrelazado 522₁ de los datos $L_{\text{ext}}(A_1)$ y $L_{\text{priori}}(a_2)$, para obtener un dato $L_{\text{priori}}(b_1)$ entrelazado, y que implementa una función de entrelazado similar a la función de entrelazado implementada en el entrelazado 108₂ del método 100 de codificación en serie;

- multiplexado 523₁ de los datos entrelazados en el entrelazado 522₁ con $L_{\text{ext}}(P_2)$, para formar un dato $L'_{\text{ext}}(A_2)$;

25 - entrelazado 522₂ de los datos $L'_{\text{ext}}(A_2)$ 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 108₃ del método 100 de codificación en serie (siendo $L'_{\text{ext}}(a_3)$ un dato del tamaño de a_3 pero que asume una serie de valores cero);

- nueva iteración del paso 510₃ de decodificación, teniendo en cuenta $L_{\text{priori}}(b_2)$ como un dato a priori;

30 - nueva iteración de los pasos que siguen al paso 510₃ de decodificación.

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

35 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.

40 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. Por lo tanto, 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.

45

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 102₁ y 102₂ codificadas.

En la Figura 5, existe un ratio 2/3 entre el tamaño de la clase 102₂ 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 102₁, tras la primera iteración del paso de decodificación de los datos de la clase 102₁.

5 La curva 12 representa la tasa de bits erróneos asociada con la decodificación de la clase 102₂, tras la primera iteración del paso de decodificación de los datos de la clase 102₂.

La curva 11' representa la tasa de bits erróneos asociada con la decodificación de la clase 102₁, tras la segunda iteración del paso de decodificación de los datos de la clase 102₁.

10 La curva 12' representa la tasa de bits erróneos asociada con la decodificación de la clase 102₂, tras la segunda iteración del paso de decodificación de los datos de la clase 102₂.

De este modo, se puede ver que:

- la clase 102₁, 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 102₁;
- 15 - los datos de la clase 102₁ 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 102₂ es bastante baja, porque sólo hay poca información de redundancia disponible para recuperar los datos de la clase 102₂;
- 20 - después de una iteración, se mejora extraordinariamente la tasa de bits erróneos asociada con los datos de la clase 102₂, y ésta es más parecida a la tasa de bits erróneos obtenida para la decodificación de los datos de la clase 102₁, beneficiándose en particular de la ganancia de decodificación turbo.

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.

25 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.

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.

30 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.

35 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.

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

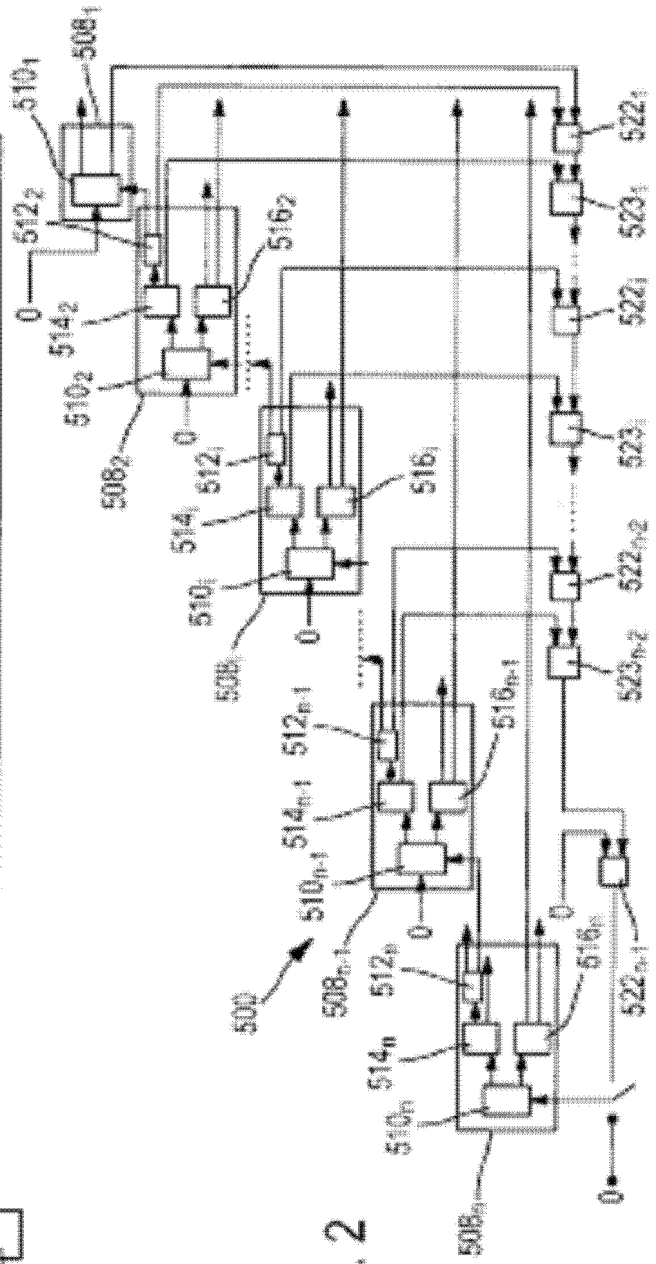
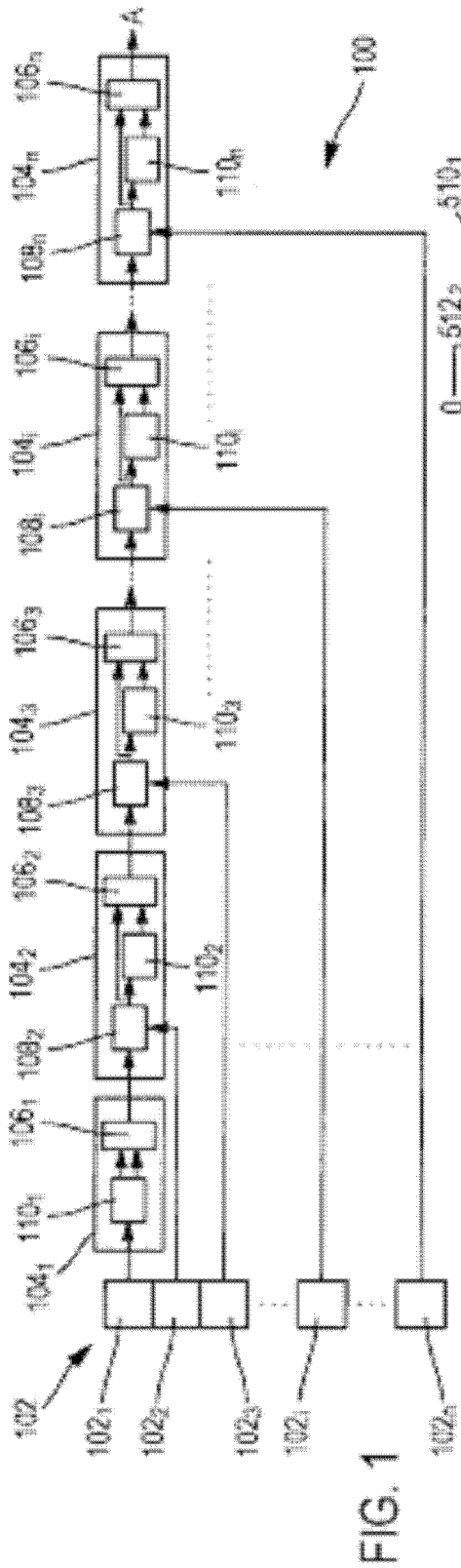
40 Por ejemplo, la invención se puede combinar con técnicas ya existentes, por ejemplo con técnicas de perforación, que consisten en borrar bits de la trama ya codificada para incrementar el ratio de codificación. En este caso, se puede reducir la redundancia del código para cada clase.

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 (100) de codificación de corrección de errores para codificar en serie datos (30) digitales de origen, que tienen la forma de una trama (102), en el cual dichos datos pueden estar clasificados en N clases, siendo N un número entero igual a al menos 2, caracterizado por que comprende:
 - 5 - un primer paso (110₁) de codificación de convolución sistemática recursiva de los datos de la clase 1 (102₁);
 - 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:
 - 10 - mezclado n-ésimo (108_{n+1}) de un conjunto formado por los datos de la clase n+1 (102_{n+1}), los datos sistemáticos y los datos de paridad de un paso de codificación anterior;
 - codificación (n+1)-ésima (110_{n+1}) de convolución sistemática recursiva de datos formados por el resultado del mezclado n-ésimo.
2. El método (100) de codificación de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que se asigna un nivel de prioridad a cada una de las clases (102₁, 102₂, 102₃, 102_i), ordenándose las clases 1 a N en orden decreciente de sus niveles de prioridad.
3. El método (100) de codificación de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que cada paso (108_{n+1}) de mezclado consiste en un entrelazado.
4. Dispositivo de codificación para implementar el método (100) de codificación de corrección de errores en serie de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, capaz de codificar datos (30) digitales de origen que tengan 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 definido para que sea igual a al menos 2, y caracterizado por que comprende:
 - 20 - un primer módulo de codificación de convolución sistemático recursivo para la codificación de datos a codificar formados por los datos de la clase 1 (102₁); y
 - 25 - 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 sistemático recursivo, estando el mezclador n-ésimo diseñado para recibir los datos de la clase n+1 (102_{n+1}), los datos sistemáticos y los datos de paridad 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 (500) para decodificar datos digitales, caracterizado por que está diseñado para decodificar datos digitales codificados en conformidad con un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3.
6. El método (500) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por que para cualquier j, k, l entre M+1 y 1:
 - 35 - cada paso j-ésimo (110_j) de codificación del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 corresponde a un paso j (510_j) de decodificación, adaptado para decodificar datos codificados producidos en el paso j-ésimo de codificación;
 - 40 - 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 por que se implementan los siguientes pasos:
 - decodificación 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 (500) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por que para cualquier j entre M+1 y 2, el método comprende además después de cada paso j de decodificación, las siguientes operaciones:
 - 45 - desmultiplexado j (514_j) de los datos extrínsecos obtenidos en el paso j de decodificación, para separar datos relacionados con datos de paridad de datos denominados útiles relacionados con datos sistemáticos,
 - 50 - desenredado j-1 (512_j) de dichos datos útiles, realizando el desenredado j-1 una función inversa a la función implementada en el paso j-1 de mezclado (108_j), 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 datos a priori útiles para que sean usados en el paso $j-1$ de decodificación.
- 5 8. El método (500) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 6 ó 7, caracterizado por que para cualquier j entre $M+1$ y 2, después de cada paso j de decodificación, el método comprende además las siguientes operaciones:
- desenredado $j-1$ (516i) de los datos blandos obtenidos, realizando el desenredado $j-1$ una función inversa a la función implementada en el paso $j-1$ de mezclado (108j), 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 9. El método (500) de decodificación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado por que al menos un paso j de decodificación (510_{j-1}) 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 10. El método (500) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por que para j entre $M+1$ y 2 y t estrictamente menor que j , el paso j de decodificación (510_j) se repite en función de datos a priori obtenidos en los pasos de decodificación t a $j-1$.
- 20 11. El método (500) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por que para j entre M y 1 y t estrictamente mayor que j , el paso j de decodificación (510_j) se repite en función de datos a priori obtenidos en los pasos de decodificación t a $j+1$.
- 25 12. El método (500) de decodificación de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por que una fase de decodificación comprende los siguientes pasos:
- el paso $M+1$ de decodificación (510_{M+1}) se repite en función de datos a priori obtenidos en los pasos 1 a M de decodificación;
 - los pasos M a 1 de decodificación se repiten usando datos a priori correspondientes a datos extrínsecos proporcionados por el paso de decodificación anterior, de tal manera que los pasos de decodificación $M+1$ a 1 ($510_{M+1 \rightarrow 1}$) constituyen una fase de decodificación;
- 30 y caracterizado por que la fase de decodificación se repite al menos una vez.
- 35 13. Dispositivo de decodificación caracterizado por que está adaptado para implementar el método (500) de decodificación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 12, 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 de codificación (110_j) 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 la clase j .
- 40 14. 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.
15. Producto de programa informático que comprende instrucciones para realizar los pasos del método de decodificación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 12, cuando se ejecuta en un dispositivo informático.



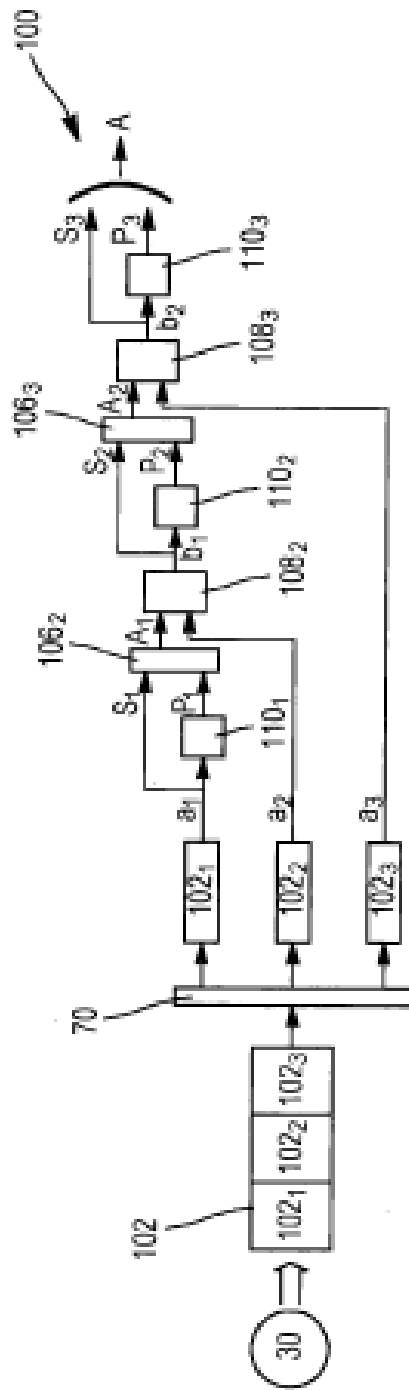


FIG. 3

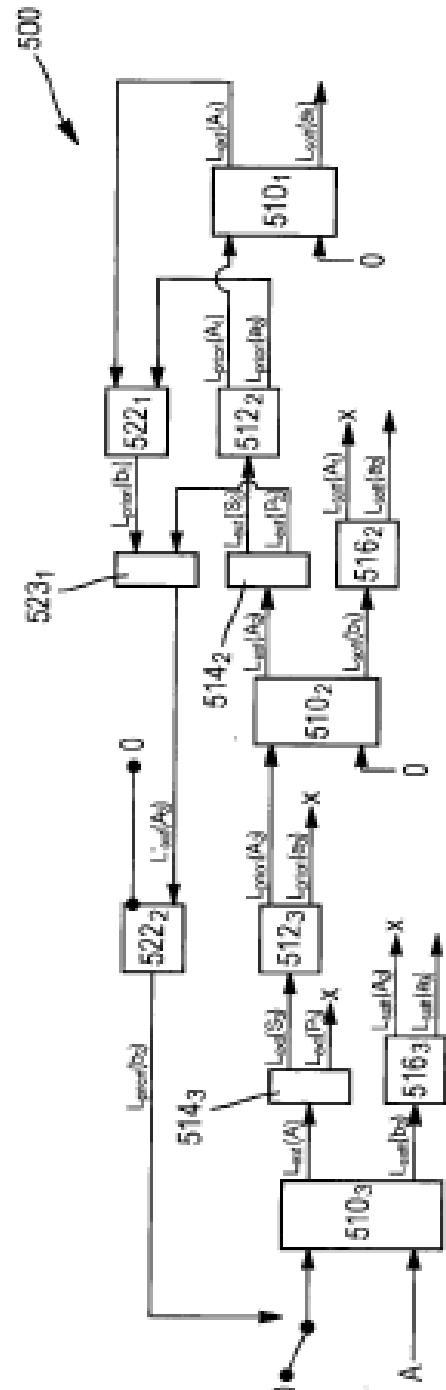


FIG. 4

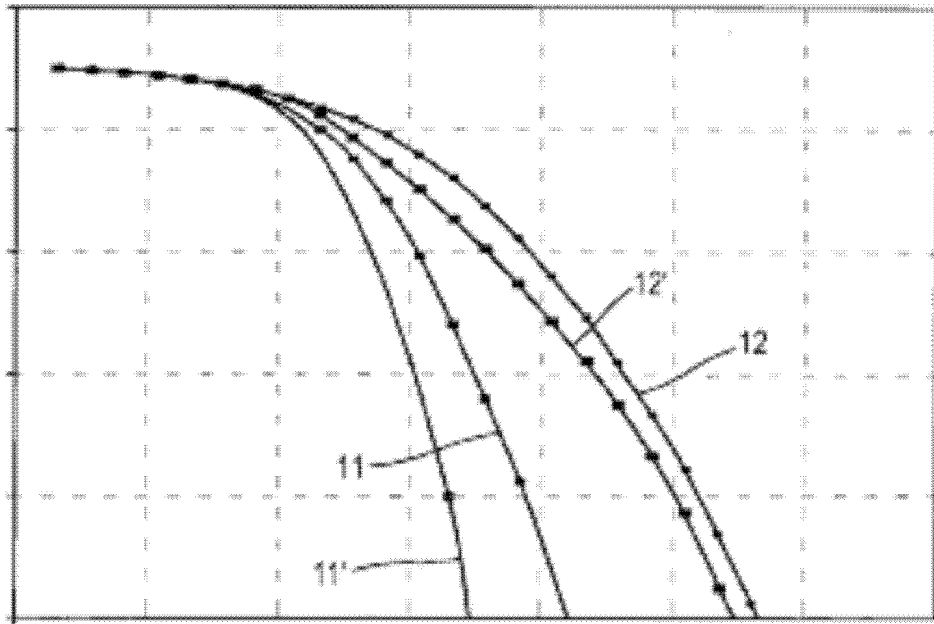


FIG. 5