

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 617**

51 Int. Cl.:
G11B 20/10 (2006.01)
H03M 13/29 (2006.01)
H03M 13/45 (2006.01)
G11B 20/14 (2006.01)
G11B 20/18 (2006.01)
H03M 13/39 (2006.01)
H03M 13/41 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **04747345 .9**
96 Fecha de presentación: **05.07.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1659696**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.05.2006**

54 Título: **Descodificación reticular de códigos limitados en longitud de marcha que tienen una tabla de códigos de longitud de entrada variable**

30 Prioridad:
28.08.2003 JP 2003303963
15.10.2003 JP 2003355532

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
09.07.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
09.07.2012

73 Titular/es:
Sony Corporation
1-7-1 Konan Minato-ku
Tokyo, JP

72 Inventor/es:
MIYAUCHI, Toshiyuki;
IIDA, Yasuhiro y
SHINOHARA, Yuji

74 Agente/Representante:
de Elizaburu Márquez, Alberto

ES 2 384 617 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

Descodificación reticular de códigos limitados en longitud de marcha que tienen una tabla de códigos de longitud de entrada variable.

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un aparato y a un método de descodificación, a un medio de almacenamiento de programa y a un programa, y, más particularmente, a un aparato y un método de descodificación, un medio de almacenamiento de programa y un programa, que permiten una descodificación de alto rendimiento de un código de modulación codificado de acuerdo con una tabla de longitud variable.

Técnica anterior

15 Cuando una señal se graba en un medio de almacenamiento tal como un disco magnético o un disco óptico, la señal es codificada por modulación antes de ser grabada, de tal manera que, cuando la señal grabada es reproducida, la amplitud de la señal leída puede ser controlada y puede reproducirse correctamente una señal de reloj. En el procedimiento de reproducción, la forma de onda original se reproduce teniendo en cuenta el hecho de que la señal reproducida desde un medio es influida por una señal inmediatamente anterior, y se determinan los datos de más alta probabilidad a partir de la señal reproducida, sobre la base de la característica de la señal grabada por medio de un esquema de PRML (Probabilidad Máxima de Respuesta Parcial –“Partial Response Maximum-Likelihood”) o esquema similar.

20 La Figura 1 muestra un ejemplo de un aparato de grabación / reproducción convencional 1 que utiliza la técnica de PRML. El aparato de grabación / reproducción 1 incluye un codificador de modulación 11, un canal de comunicación de PR 12, y un descodificador 13.

25 El codificador de modulación 11 incluye un una tabla de codificación 41-1 de códigos de modulación que se utilizan para la codificación de una señal de entrada bajo una restricción concreta. El codificador de modulación 11 codifica una señal de entrada en un código de modulación particular de acuerdo con la tabla de codificación 41-1 y suministra como salida una señal codificada resultante producida bajo la restricción particular, a un canal de comunicación de PR (Respuesta Parcial –“Partial Response”) 12. Un ejemplo específico de la restricción es una restricción libre de DC. El uso de la restricción libre de DC provoca que las diversas ocurrencias de 0s y de 1s lleguen a ser sustancialmente iguales durante un periodo de tiempo suficientemente largo. Otro ejemplo de la restricción es una restricción (d, k) que requiere que los números mínimo y máximo de 0s sucesivos sean d y k, respectivamente.

30 El canal de comunicación de PR 12 incluye una unidad de grabación / reproducción 21 y un ecualizador 22. En el canal de comunicación de PR 12, la grabación / reproducción se lleva a cabo, por ejemplo, en un canal de grabación / reproducción de PR2 (Respuesta Parcial, Clase 2 –“Partial Response Class 2”). La unidad de grabación / reproducción 21 convierte la señal codificada recibida desde el codificador de modulación 11 en una señal codificada NRZI (sin retorno a cero e invertida –“non return to zero inverted”), y almacena la señal codificada en NRZI resultante en un medio de almacenamiento montado en, o insertado o incluido dentro de, la unidad de grabación / reproducción 21, por medio de un método de grabación de borde de marca. Por otra parte, en la operación de reproducción, la unidad de grabación / reproducción 21 obtiene por lectura la señal codificada desde el medio de almacenamiento, a través del canal de PR-2, y suministra la señal codificada leída al ecualizador 22. El ecualizador 22 lleva a cabo la ecualización de PR utilizando la interferencia de forma de onda sobre la señal codificada recibida, para así conseguir una característica de ecualización de objetivo o pretendida. La señal de ecualización resultante es suministrada al descodificador 13.

35 El descodificador 13 incluye un descodificador de Viterbi de PR 31 y un descodificador de modulación 32 y sirve para descodificar la señal suministrada desde el ecualizador 22. A partir de la señal recibida desde el canal de comunicación de PR 12, el descodificador de Viterbi de PR 31 determina, basándose en la codificación NRZI y en el canal de PR-2, la representación reticular que indica las transiciones de estados instante a instante asociadas con el procedimiento de codificación, y lleva a cabo la descodificación de Viterbi de acuerdo con la representación reticular determinada de la codificación NRZI y del canal de PR-2. Una señal descodificada por Viterbi resultante se suministra al descodificador de modulación 32. El descodificador de modulación 32 incluye una tabla de codificación 41-2 que es la misma que la tabla de codificación 41-1 dispuesta en el codificador de modulación 11 (en lo sucesivo, se hará referencia de forma genérica a las tablas de codificación 41-1 y 41-2 como tablas de codificación, si no es necesario distinguirlas unas de otras). El descodificador de modulación 32 lleva a cabo una descodificación por modulación en la señal suministrada desde el descodificador de Viterbi de PR 31 y suministra como salida una señal descodificada por modulación resultante a una etapa siguiente (no mostrada).

40 En los últimos años, se ha hecho popular el uso de un código de corrección de errores de alto rendimiento, tal como un código turbo o un código de LDPC (Comprobación de Paridad de Baja Densidad –“Low Density Parity Check”),

en diversas aplicaciones de comunicaciones y de radiodifusión. Existe una creciente necesidad de utilizar dicho código de corrección de errores de alto rendimiento también en aplicaciones asociadas con medios de almacenamiento. Por ejemplo, cuando se utiliza un código turbo en el aparato de grabación / reproducción 1 anteriormente descrito, se dispone, de manera adicional, un codificador turbo en una etapa situada inmediatamente antes del codificador de modulación 11, y se dispone, adicionalmente, un descodificador turbo para descodificar el código turbo, en una etapa situada a continuación del descodificador de modulación 32. En esta estructura, no solo se suministra como entrada información que adopta un valor de 0 o 1 (información de disco duro pero también información almacenada como software o información de decisión almacenada como software), que indica el grado de probabilidad de la información almacenada en disco duro, al descodificador de turbo situado en la etapa que sigue al descodificador de modulación 32. Es decir, es necesario que se suministre una entrada almacenada como software al descodificador del código turbo o del código de LDPC. Esto significa que, cuando se descodifica un código de modulación por parte del descodificador de modulación 32 situado en la etapa inmediatamente precedente al codificador turbo o al codificador de LDPC, es necesario determinar la salida almacenada como software.

En general se determina una salida almacenada como software y asociada con un código, mediante el uso de una representación reticular que indica transiciones de secuencia temporal correspondientes a una tabla de transiciones de estado que indican un procedimiento de codificación de instante a instante por medio de un algoritmo de BCJR (Bahl-Cocke-Jeinek-Raviv) o de un SOVA (algoritmo de Viterbi de Salida almacenada como software –“Soft-Output Viterbi Algorithm”). La representación reticular puede ser determinada fácilmente cuando se descodifica una señal de entrada utilizando un código de convolución. Sin embargo, cuando se lleva a cabo la descodificación utilizando un código de modulación no lineal, no es, necesariamente, fácil determinar la representación reticular. Investigaciones recientes han revelado que es posible una representación reticular para algunos tipos de códigos de modulación utilizando una simple tabla de codificación, tal como un código (1, 7) RLL (Limitado en Longitud de Marcha –“Run Length Limited”) de acuerdo con la norma de la ECMA ((Asociación de Fabricantes Electrónicos e Informáticos)-195), utilizada en la grabación / reproducción en, o desde, un disco magneto-óptico, y, por tanto, puede concatenarse un descodificador turbo con un descodificador de modulación utilizando un código (1, 7) RLL (“Descodificación turbo con código limitado en longitud de marcha, para etapa óptica” –“Turbo Decoding with Run Length Limited Code for Optical Stage” (E. Yamada et al., The Japan Society of Applied Physics [Sociedad Japonesa de Física Aplicada], Vol. 41, págs. 1753-1756, marzo de 2002) (al que se hace referencia en lo sucesivo como Documento no patente 1)). En los códigos RLL, el número de “0s” entre un “1” y el siguiente “1”, en un código de modulación, es limitado, y un código RLL particular con una longitud de marcha mínima d que indica el número mínimo de “0s” comprendidos entre “1s” adyacentes, y una longitud de marcha máxima k , se representa por (d, k) RLL.

La Figura 2 muestra un ejemplo de una configuración de un aparato de grabación / reproducción convencional que utiliza un código de RLL concatenado con un código turbo. En este ejemplo mostrado en la Figura 2, el codificador de modulación 11 que se ha mostrado en la Figura 1 se ha reemplazado por un codificador 61, y el descodificador 13 se ha reemplazado por un descodificador 62. Se hará también referencia a las Figuras 1 y 2 a la hora de describir la presente invención, más adelante.

El codificador 61 incluye un codificador turbo 71, un dispositivo de intercalación 72 y un codificador RLL (limitado en longitud de marcha –“Run Length Limited”) 73. El codificador turbo 71 incluye un codificador 91 de elementos, un dispositivo de intercalación 92, un codificador 93 de elementos y un conversor a decimal 94. El codificador turbo 71 lleva a cabo la codificación turbo sobre una señal de entrada y suministra una señal turbocodificada resultante al dispositivo de intercalación 72.

Se aplica, simultáneamente, una entrada de señal procedente del exterior al codificador 91 de elementos y al dispositivo de intercalación 92. El codificador 91 de elementos genera una cadena 1 de bits de paridad a partir de la señal de entrada, y suministra como salida la cadena 1 de bits de paridad resultante al conversor a decimal 94. El dispositivo de intercalación 92 intercala la señal que también fue suministrada como entrada al codificador 91 de elementos, y suministra una señal intercalada resultante al codificador 93 de elementos. El codificador 93 de elementos genera una cadena 2 de bits de paridad a partir de la señal intercalada suministrada desde el dispositivo de intercalación 92, y suministra la cadena 1 de bits de paridad resultante al conversor a decimal 94. El conversor a decimal 94 convierte a decimal la cadena 1 de bits de paridad y la cadena 2 de bits de paridad, y multiplexa la cadena de paridad 1 así como la cadena 2 de bits de paridad convertidas a decimal que resultan, con lo que se genera una señal turbocodificada. La señal turbocodificada resultante se suministra al dispositivo de intercalación 72.

El dispositivo de intercalación 72 intercala una señal turbocodificada suministrada desde el codificador turbo 61 y suministra la señal intercalada resultante al codificador RLL 73. El codificador RLL 73 tiene una tabla de codificación (1, 7) RLL 101. El codificador RLL 73 lleva a cabo la codificación (1, 7) RLL sobre la señal recibida desde el dispositivo de intercalación 72, de acuerdo con la tabla de codificación RLL 101 y suministra como salida la señal resultante por el canal de comunicación de PR 12.

El descodificador 62 incluye un descodificador de PR-SISO (entrada de almacenamiento como software-salida de almacenamiento como software –“Soft-Input Soft-Output”) 81, un descodificador de RLL-SISO 82, un dispositivo de

reversión de intercalación 83 y un descodificador turbo 84, y sirve para descodificar la señal suministrada desde el ecualizador 22. A partir de la señal recibida desde el canal de comunicación de PR 12, el descodificador de PR-SISO 81 determina, basándose en la codificación NRZI y en el canal de PR-2, la representación reticular que indica transiciones de estado secuenciales en el tiempo en el procedimiento de codificación de instante a instante representado en la tabla de transiciones de estado, y, a continuación, lleva a cabo una descodificación de SISO (entrada de almacenamiento como software-salida de almacenamiento como software –“Soft-Input Soft-Output”) basándose en la representación reticular determinada de la codificación NRZI y del canal de PR-2. La señal descodificada como SISO resultante (información “blanda” o de almacenamiento como software) se suministra al descodificador de RLL-SISO 82.

El descodificador de RLL-SISO 82 determina, basándose en la tabla de codificación (1, 7) RLL 101 dispuesta en el codificador PLL 73, la representación reticular que indica las transiciones de estado secuenciales en el tiempo del procedimiento de codificación de instante a instante representado en la tabla de transiciones de estado, y lleva a cabo la descodificación de SISO sobre la señal recibida desde el descodificador de PR-SISO 81 de acuerdo con la representación reticular determinada de (1, 7) RLL. La señal descodificada en SISO resultante es suministrada al dispositivo de reversión de intercalación 83.

Haciendo referencia a las Figuras 3 y 4, se describe seguidamente una representación reticular de la codificación (1, 7) RLL. La Figura 3 muestra un ejemplo de una tabla de transiciones de estado de la codificación (1, 7) RLL, y la Figura 4 muestra un ejemplo de una representación reticular, esto es, una representación de transiciones secuenciales en el tiempo indicadas en la tabla de transiciones de estado que se ha mostrado en la Figura 3. En el ejemplo mostrado en la Figura 3, la tabla de transiciones de estado representa un procedimiento de codificación dentro de un periodo que va desde un tiempo en curso a un tiempo siguiente. En esta tabla de transiciones de estado que se ha representado en la Figura 3, para una mejor comprensión, se ha añadido información de estado que indica el “estado de tiempo previo” y el “estado de tiempo en curso”, a la tabla de codificación (1, 7) RLL 101.

En la tabla de transiciones de estado que se muestra en la Figura 3, se describen de derecha a izquierda, en cada fila, el “estado de tiempo previo”, la “salida de tiempo previo”, la “entrada de tiempo previo”, la “salida de tiempo en curso”, la “entrada de tiempo en curso” y el “estado de tiempo en curso”, y se describen, de arriba abajo, una transición desde un “estado de tiempo previo” de S0, en el que la “salida de tiempo previo” es 0 y la “entrada de tiempo previo” es 00, una transición desde un “estado de tiempo previo” de S1, en el que la “salida de tiempo previo” es 0 y la “entrada de tiempo previo” es 01, una transición desde un “estado de tiempo previo” de S2, en el que la “salida de tiempo previo” es 0 y la “entrada de tiempo previo” es 10, una transición desde un “estado de tiempo previo” de S3, en el que la “salida de tiempo previo” es 0 y la “entrada de tiempo previo” es 11, una transición desde un “estado de tiempo previo” de S4, en el que la “salida de tiempo previo” es 1 y la “entrada de tiempo previo” es 00, y una transición desde un “estado de tiempo previo” de S5, en el que la “salida de tiempo previo” es 1 y la “entrada de tiempo previo” es 01.

En la representación reticular que se ha mostrado en la Figura 4, los círculos del lado izquierdo indican “estados en el tiempo previo” mostrados en la Figura 3, las flechas indican transiciones desde los respectivos “estados en el tiempo previo” a “estados en el tiempo en curso”, los símbolos situados a la derecha y a la izquierda de una barra de cada etiqueta situada en cada flecha indican una “entrada de tiempo en curso” y una “salida de tiempo en curso” correspondientes, mostradas en la Figura 3, y los círculos situados a la derecha de las cabezas de las respectivas flechas indican “estados en el tiempo en curso” mostrados en la Figura 3.

De esta forma, en los ejemplos que se han mostrado en las Figuras 3 y 4, cuando el “estado en el tiempo previo” es S0, se produce una transición que depende de la entrada dada, de la forma que sigue. Si se introduce 00 como la “entrada en el tiempo en curso”, entonces la “salida en el tiempo en curso” viene dada por 001 y el “estado en el tiempo en curso” se convierte en S4. Si se introduce 01 como la “entrada en el tiempo en curso”, entonces la “salida en el tiempo en curso” viene dada por 001 y el “estado en el tiempo en curso” se convierte en S5. Si se introduce 10 como la “entrada en el tiempo en curso”, entonces la “salida en el tiempo en curso” viene dada por 000 y el “estado en el tiempo en curso” pasa a ser S2. Si se introduce 11 como la “entrada en el tiempo en curso”, entonces la “salida en el tiempo en curso” viene dada por 000 y el “estado en el tiempo en curso” se convierte en S3. Cuando el estado en el tiempo previo es S1, se produce una transición que depende de la entrada dada, de la forma que sigue. Si se introduce 00 como la “entrada en el tiempo en curso”, entonces la “salida en el tiempo en curso” viene dada por 001 y el “estado en el tiempo en curso” pasa a ser S4. Si se introduce 01 como la “entrada en el tiempo en curso”, entonces la “salida en el tiempo en curso” viene dada por 001 y el “estado en el tiempo en curso” se convierte en S5. Si se introduce 10 como la “entrada en el tiempo en curso”, entonces la “salida en el tiempo en curso” viene dada por 000 y el “estado en el tiempo en curso” pasa a ser S2. Si se introduce 11 como la “entrada en el tiempo en curso”, entonces la “salida en el tiempo en curso” viene dada por 000 y el “estado en el tiempo en curso” pasa a ser S3.

Cuando el estado en el tiempo previo es S2, tiene lugar una transición que depende de la entrada dada, de la forma que sigue. Si se introduce 00 como la “entrada en el tiempo en curso”, entonces la “salida en el tiempo en curso” viene dada por 101 y el “estado en el tiempo en curso” se convierte en S4. Si se introduce 01 como la “entrada en el tiempo en curso”, entonces la “salida en el tiempo en curso” viene dada por 101 y el “estado en el tiempo en curso”

se convierte en S5. Si se introduce 10 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo en curso" pasa a ser S2. Si se introduce 11 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo en curso" se convierte en S3. Cuando el estado en el tiempo previo es S3, se produce una transición que depende de la entrada dada, de la forma que sigue. Si se introduce 00 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo en curso" pasa a ser S0. Si se introduce 01 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo en curso" se convierte en S1. Si se introduce 10 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo en curso" pasa a ser S2. Si se introduce 11 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo en curso" pasa a ser S3.

Cuando el estado en el tiempo previo es S4, tiene lugar una transición que depende de la entrada dada, de la forma que sigue. Si se introduce 00 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo en curso" se convierte en S4. Si se introduce 01 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo en curso" se convierte en S5. Si se introduce 10 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo en curso" pasa a ser S2. Si se introduce 11 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo en curso" se convierte en S3. Cuando el estado en el tiempo previo es S5, se produce una transición que depende de la entrada dada, de la forma que sigue. Si se introduce 00 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo en curso" pasa a ser S0. Si se introduce 01 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo en curso" se convierte en S1. Si se introduce 10 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo en curso" pasa a ser S2. Si se introduce 11 como la "entrada en el tiempo en curso", entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo en curso" pasa a ser S3.

Como se ha descrito anteriormente, en la representación reticular (tabla de transición de estados) de la codificación (1, 7) RLL se han representado posibles transiciones en un tiempo concreto para los seis estados respectivos S0 a S5. En cualquier estado, si se proporciona una señal de entrada, se determina de forma única o inequívoca una señal de salida. De esta forma, el descodificador de RLL-SISO 82 puede llevar a cabo correctamente la descodificación de SISO de acuerdo con la representación reticular (1, 7) RLL.

Haciendo referencia, de nuevo, a la Figura 2, el descodificador de RLL-SISO 82 suministra la señal descodificada en SISO al dispositivo de reversión de intercalación 83. El dispositivo de reversión de intercalación 83 revierte o deshace la intercalación de la señal suministrada desde el descodificador de RLL-SISO 82 de un modo inverso a la intercalación llevada a cabo por el dispositivo de intercalación 72, y el dispositivo de reversión de intercalación 83 suministra la señal resultante, revertida en su intercalación, al descodificador turbo 84.

El descodificador turbo 84 incluye un interpolador 111, un descodificador 112 de elementos, un dispositivo de intercalación 113, un descodificador 114 de elementos y un dispositivo de reversión de intercalación 115. El descodificador turbo 84 lleva a cabo una descodificación turbo sobre la señal (información "blanda" o de almacenamiento como software) recibida desde el dispositivo de reversión de intercalación 83, y suministra como salida una señal descodificada resultante al exterior (no mostrado). El interpolador 111 lleva a cabo una interpolación sobre la señal recibida desde el dispositivo de reversión de intercalación 83 y suministra una señal resultante al descodificador 112 de elementos y al descodificador 114 de elementos. El descodificador 112 de elementos lleva a cabo una descodificación de SISO sobre la señal recibida desde el interpolador 111 y suministra la señal descodificada en SISO resultante, conjuntamente con información de fiabilidad, al descodificador 114 de elementos, a través del dispositivo de intercalación 113. El descodificador 114 de elementos lleva a cabo una descodificación de SISO sobre la señal recibida desde el interpolador 111 mediante el uso de la información de fiabilidad recibida desde el descodificador 112 de elementos. La señal descodificada en SISO resultante, así como la información de fiabilidad, son suministradas al descodificador 112 de elementos a través del dispositivo de reversión de intercalación 115. El procedimiento anterior de descodificación de elementos se itera varias veces. Tras la iteración del procedimiento de descodificación de elementos, el descodificador 114 de elementos lleva a cabo una decisión final y suministra como salida un resultado de la decisión para una etapa siguiente (no mostrada).

Ha de apreciarse que se utiliza el algoritmo de BCJR o el SOVA en la descodificación de SISO, en el descodificador de PR-SISO 81, en el descodificador de RLL-SISO 82, en el descodificador 112 de elementos y en el descodificador 114 de elementos que se han mostrado en la Figura 2.

En el aparato de grabación / reproducción 51 según se ha descrito anteriormente, el descodificador de RLL-SISO 82 determina la representación reticular de la codificación (1, 7) RLL de acuerdo con la tabla de codificación (1, 7) RLL 101, y se obtiene fácilmente información de almacenamiento como software. Esto permite que el descodificador turbo 84 sea situado en la etapa que sigue al descodificador de RLL-SISO 82.

- La publicación de Z. Fang et al.: "Joint Turbo Channel Detection and RLL Decoding for (1, 7) Coded Partial Response Recording Channels" ("Detección de canales turbo de unión y decodificación RLL para canales de grabación de respuesta parcial codificada (1, 7)"), ICC '2003, IEE, 11-15, mayo de 2003, páginas 2919-2923 (XP10642979), describe la aplicación de códigos turbo sobre canales de grabación ecualizados de respuesta parcial (PR –"partial response") codificada en RLL (1, 7). En esta publicación se sugiere una solución reticular combinada para realizar conjuntamente una detección de canal y una detección RLL de "entrada de almacenamiento como software-salida de almacenamiento como software" (SISO –"Soft-Input Soft-Output"). Esto elimina la necesidad de un "codificador de SISO RLL" en el recorrido o camino de realimentación desde el descodificador turbo hasta el detector de canal. El "detector combinado" es un detector basado en una retícula de SISO cuya retícula es la combinación de la retícula de canal de PR y la retícula de código RLL, y que realiza la detección de canal la decodificación RLL conjuntamente. La salida del detector combinado la forman los valores de canal de almacenamiento como software para la secuencia turbocodificada, y estos se suministran directamente al descodificador turbo tras la reversión de la intercalación.
- En la publicación de Thobaben, R. Et al.: "On Iterative Source-Channel Decoding for Variable-Length Encoded Markov Sources Using a Bit-Level Trellis" ("Acerca de la decodificación de canal de fuente iterativa para fuentes de Markov codificadas en longitud variable que utilizan retículas en el nivel de los bits"), 4th IEEE Workshop on Signal Processing [4º taller del IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica –"Institute of Electrical and Electronics Engineering") sobre el tratamiento de señal], Roma, Italia, 15-18 de junio, páginas 50-54, XP01071338, se divulga un aparato para llevar a cabo la decodificación reticular de códigos de Huffman, es decir, de códigos de longitud de salida variable codificados de acuerdo con una tabla de codificación. La retícula de decodificación corresponde a una tabla de codificación.
- En los años recientes, se ha venido utilizando un código de 17PP (Preservación de Paridad / Prohibición de RMTR (Longitud de Marcha de Transición Mínima Repetida –"Repeated Minimum Transition Runlength")) en la grabación / reproducción en discos ópticos de alta densidad. En el código de 17PP se utiliza una complicada tabla de codificación de longitud variable según se describe, por ejemplo, en la Patente norteamericana N° 6.496.541 B1.
- En la tabla de codificación de longitud variable asociada con el código de 17PP, la longitud de bits de una "entrada" no es fija, a diferencia del código (1, 7) RLL, en el que la entrada tiene una longitud de bits fija tal como "00" o "01". Esto significa que, cuando se proporciona una "entrada" tal como 00, no es necesaria una "salida" inequívocamente determinada. De esta forma, a diferencia del código (1, 7) RLL, resulta difícil determinar la representación reticular del código de 17PP a partir de la tabla de codificación de longitud variable del código de 17PP, debido a que la longitud de bits de la entrada no es fija. Incluso en el caso de que sea posible determinar la representación reticular directamente a partir de la tabla de transiciones de estado que indica un procedimiento de codificación de instante a instante, la representación reticular se hace muy complicada e incluye un ingente número de estados. De esta forma, la decodificación de SISO de un código de modulación que utiliza una tabla de longitud variable, tal como un código de 17PP, es prácticamente imposible.
- Descripción de la Invención
- A la vista de lo anterior, es un propósito de la presente invención mejorar el rendimiento de codificación de un código de modulación codificado de acuerdo con una tabla de longitud variable.
- La presente invención proporciona un aparato de decodificación de acuerdo con la reivindicación 1.
- El código de modulación puede ser un código de modulación 17PP (Preservación de Paridad / Prohibición de Longitud de Marcha de Transición Mínima Repetida –"Parity Preserve / Prohibit Repeated Minimum Transition Runlength").
- Los medios de decodificación pueden llevar a cabo la decodificación utilizando una entrada "blanda" o de almacenamiento como software.
- Los medios de decodificación pueden llevar a cabo la decodificación utilizando un algoritmo de Viterbi de decisión de almacenamiento como software.
- Los medios de decodificación pueden llevar a cabo una decodificación de salida de almacenamiento como software.
- Los medios de decodificación pueden llevar a cabo la decodificación mediante el uso de un algoritmo de BCJR (Bahl-Cocke-Jeinek-Raviv).
- Los medios de decodificación pueden llevar a cabo la decodificación utilizando un SOVA (algoritmo de Viterbi de salida de almacenamiento como software –"Soft-Output Viterbi Algorithm").

Los medios de introducción de código pueden suministrar como entrada un código de modulación ecualizado en PR (Respuesta Parcial –“Partial Response”), y los medios de descodificación pueden descodificar el código de modulación de acuerdo con una retícula combinada obtenida por combinación de una retícula de PR y una retícula de código de modulación.

5 La presente invención proporciona también un método de descodificación de acuerdo con la reivindicación 9.

10 La presente invención también proporciona un dispositivo de almacenamiento de programa que incluye un programa de acuerdo con la reivindicación 10.

15 La presente invención también proporciona un programa de acuerdo con la reivindicación 11.

20 En la presente invención según se ha descrito anteriormente, el código de modulación se descodifica basándose en la retícula de código de modulación representada por caminos correspondientes, en un modo de uno o a uno, o unívoco, a transiciones de estado globales en el procedimiento de codificación del código de modulación de acuerdo con la tabla de longitud variable.

25 El aparato de descodificación puede ser un aparato de descodificación de una forma independiente, o bien puede consistir en un bloque responsable de la codificación, dispuesto en un aparato de grabación / reproducción o en un dispositivo de comunicación.

Breve descripción de los dibujos

30 La Figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un aparato de grabación / reproducción convencional;

La Figura 2 es un diagrama de bloques que muestra otro ejemplo de un aparato de grabación / reproducción convencional;

35 La Figura 3 es un diagrama que muestra un ejemplo de una tabla de transiciones de estado utilizada en el aparato de grabación / reproducción que se ha mostrado en la Figura 2;

40 La Figura 4 es un diagrama que muestra un ejemplo de una representación reticular correspondiente a la tabla de transiciones de estado que se ha mostrado en la Figura 3;

La Figura 5 es un diagrama de bloques que muestra una realización de un aparato de grabación / reproducción de acuerdo con la presente invención;

45 La Figura 6 es un diagrama que muestra un ejemplo de una tabla de codificación que se utiliza en el aparato de grabación / reproducción que se muestra en la Figura 5;

La Figura 7 es un diagrama que muestra un ejemplo de una tabla de transiciones de estado correspondiente a la tabla de codificación mostrada en la Figura 6;

50 La Figura 8 es un diagrama que muestra otro ejemplo de una tabla de transiciones de estado correspondiente a la tabla de codificación que se ha mostrado en la Figura 6;

La Figura 9 es un diagrama que muestra aún otro ejemplo de una tabla de transiciones de estado correspondiente a la tabla de codificación mostrada en la Figura 6;

La Figura 10 es un diagrama que muestra un ejemplo de una representación reticular de la tabla de transiciones de estado mostrada, según un criterio por partes, en las Figuras 7 a 9;

55 La Figura 11 es un diagrama que muestra un ejemplo de una representación reticular basada en la representación reticular mostrada en la Figura 10;

La Figura 12 es un diagrama que muestra otro ejemplo de una tabla de transiciones de estado correspondiente a la tabla de codificación que se ha mostrado en la Figura 6;

La Figura 13 es un diagrama que muestra otro ejemplo de una tabla de transiciones de estado correspondiente a la tabla de codificación mostrada en la Figura 6;

60 La Figura 14 es un diagrama que muestra un ejemplo de una representación reticular de la tabla de transiciones de estado mostrada, según un criterio por partes, en las Figuras 12 y 13;

La Figura 15 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento de grabación llevado a cabo por el aparato de grabación / reproducción que se ha mostrado en la Figura 5;

65 La Figura 16 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento de reproducción llevado a cabo por el aparato de grabación / reproducción que se ha mostrado en la Figura 5;

La Figura 17 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento de descodificación de SISO 17PP en la etapa S24 de la Figura 16;

La Figura 18 es un diagrama que muestra comparativamente la proporción o tasa de errores de bit conseguida en la descodificación basada en la representación reticular que se muestra en la Figura 11, y la conseguida en la descodificación de acuerdo con una técnica convencional;

La Figura 19 es un diagrama de bloques que muestra otra realización de un aparato de grabación / reproducción de acuerdo con la presente invención;

La Figura 20 es un diagrama de bloques que muestra aún otra realización de un aparato de grabación / reproducción de acuerdo con la presente invención;

La Figura 21 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de una modificación del aparato de

grabación / reproducción que se ha mostrado en la Figura 5;

La Figura 22 es un diagrama que muestra una tabla de transiciones de estado que indica, en forma de tabla, una representación reticular combinada de un código de 17PP y un canal PR1221;

La Figura 23 es un diagrama que muestra una tabla de transiciones de estado que indica, en forma de tabla, una representación reticular combinada de un código de 17PP y un canal PR1221;

La Figura 24 es un diagrama que muestra una representación reticular combinada de tablas de transiciones de estado mostradas en las Figuras 22 y 23;

La Figura 25 es un diagrama que muestra un sumario de salidas contenidas en la representación reticular combinada que se muestra en la Figura 24;

La Figura 26 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento de reproducción llevado a cabo por el aparato de grabación / reproducción que se ha mostrado en la Figura 21;

La Figura 27 es un diagrama que muestra comparativamente la proporción o tasa de errores de bit conseguida en la descodificación por el aparato de grabación / reproducción mostrado en la Figura 5, y la conseguida en la descodificación por el aparato de grabación / reproducción mostrado en la Figura 21;

La Figura 28 es un diagrama que muestra una tabla de transiciones de estado que indica, en forma de tabla, una representación reticular combinada de un código de 17PP y un canal PR121;

La Figura 29 es un diagrama que muestra una tabla de transiciones de estado que indica, en forma de tabla, una representación reticular combinada de un código de 17PP y un canal PR121; y

La Figura 30 es un diagrama de bloques que muestra otra realización de un aparato de grabación / reproducción de acuerdo con la presente invención.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

A continuación se describen realizaciones de la presente invención con referencia a los dibujos.

La Figura 5 muestra una realización de un aparato de grabación / reproducción 151 de acuerdo con la presente invención. El aparato de grabación / reproducción 151 registra y reproduce una señal en, o desde, un medio de almacenamiento tal como un disco óptico mediante el uso, como código de modulación, de un código de 17PP (Preservación de Paridad / Prohibición de RMTR (Longitud de Marcha de Transición Mínima Repetida –“Repeated Minimum Transition Runlength”). En la Figura 5, las partes similares a las de la Figura 2 se han denotado por números de referencia similares, de manera que se omite una descripción duplicada de las mismas.

El codificador 161 y el descodificador 162 del aparato de grabación / reproducción 151 que se muestra en la Figura 5 son similares, respectivamente, al codificador 61 y al descodificador 62 del aparato de grabación / reproducción 51 anteriormente descrito con referencia a la Figura 2, a excepción de que el codificador 161 tiene un codificador de 17PP en lugar del codificador RLL 73, y el descodificador 162 tiene un descodificador de 17PP-SISO 181 en lugar del descodificador de RLL-SISO 82.

En este aparato de grabación / reproducción 151 que tiene la estructura descrita en lo anterior, el dispositivo de intercalación 72 intercala una señal turbocodificada suministrada desde el codificador turbo 71 y suministra la señal intercalada resultante al codificador de 17PP 171. El codificador de 17PP 171 tiene una tabla de codificación 201 asociada con el código de 17PP de longitud variable, tal y como se ha mostrado en la Figura 6. El codificador de 17PP 171 lleva a cabo una codificación de 17PP sobre una señal recibida desde el dispositivo de intercalación 72, de acuerdo con la tabla de codificación de 17PP 201, y suministra como salida la señal resultante por el canal de comunicación de PR 12.

La Figura 6 muestra un ejemplo de una tabla de grabación de 17PP 201. En el ejemplo mostrado en la Figura 6, la tabla de codificación de 17PP 201 incluye una tabla de codificación 211 para uso en la codificación normal, y una tabla de codificación 212 para uso en el reemplazo.

En la tabla de codificación 211 para uso en la codificación normal se describen, de izquierda a derecha en cada fila, una “cadena de bits de entrada”, una “cadena de bits de salida” y una “condición”. La condición se aplica únicamente a un caso en el que la cadena de bits de entrada es “11”, según se describe en la fila de abajo.

La tabla de codificación 211 describe, de la fila de arriba a la fila de abajo, que la “cadena de bits de salida” viene dada por “010100100100” cuando la “cadena de bits de entrada” es “00000000”, y que la “cadena de bits de salida” viene dada por “000100100100” cuando la “cadena de bits de entrada” es “00001000”. Se describe también que la “cadena de bits de salida” viene dada por “010100100” cuando la “cadena de bits de entrada” es “0000000”, que la “cadena de bits de salida” viene dada por “010100100” cuando la “cadena de bits de entrada” es “000001”, que la “cadena de bits de salida” viene dada por “000100000” cuando la “cadena de bits de entrada” es “000010”, y que la “cadena de bits de salida” viene dada por “000100100” cuando la “cadena de bits de entrada” es “000011”.

En la tabla de codificación 211 se describe también el hecho de que la “cadena de bits de salida” viene dada por “000100” cuando la “cadena de bits de entrada” es “0001”, que la “cadena de bits de salida” viene dada por “010100” cuando la “cadena de bits de entrada” es “0010”, que la “cadena de bits de salida” viene dada por “010100” cuando la

“cadena de bits de entrada” es “0011”, que la “cadena de bits de salida” viene dada por “010” cuando la “cadena de bits de entrada” es “01”, y que la “cadena de bits de salida” viene dada por “001” cuando la “cadena de bits de entrada” es “10”. Por otra parte, cuando la “cadena de bits de entrada” es “11”, si la “salida de tiempo previo final” es “1”, la “cadena de bits de salida” viene dada por “000”, pero si la “salida de tiempo previo final” es “0”, la “cadena de bits de salida” viene dada por “101”.

En la tabla de codificación 212 para uso en el reemplazo se describen, de izquierda a derecha, un “bit de entrada destinado a ser reemplazado”, una “cadena de bits destinada a ser suministrada como salida como resultado del reemplazo”, y una “condición para el reemplazo”. Más específicamente, en esta tabla de codificación 212 se describe que, cuando el “bit de entrada destinado a ser reemplazado” es “110111”, si se satisface la condición para el reemplazo, es decir, si la “cadena de bits de salida de tiempo siguiente” es “010”, entonces la “cadena de bits destinada a ser suministrada como salida como resultado del reemplazo” viene dada por “001000000”.

De esta forma, el codificador de 17PP 171 lleva a cabo una codificación de 17PP de acuerdo con la tabla de codificación 211, excepto para un caso especial en el que la condición para el reemplazo se satisface para una cadena de bits de entrada particular. En el caso especial, es decir, cuando la “cadena de bits de entrada” es “110111”, si la “cadena de bits de salida de tiempo siguiente” es “010”, el codificador de 17PP 171 lleva entonces a cabo una codificación de 17PP de acuerdo con la tabla de codificación 212 para uso en el reemplazo.

Como se ha descrito anteriormente, en la tabla de codificación 201, el número de bits sometidos a examen en la codificación no es constante sino que varía dentro del intervalo comprendido entre 1 y 4 (es decir, la longitud de código es variable), y resulta imposible conocer el número de bits codificados hasta que se codifica una entrada específica dada.

Haciendo referencia de nuevo a la Figura 5, el descodificador 162 incluye un descodificador de PR-SISO 81, un descodificador de 17PP-SISO 181, un dispositivo de reversión de intercalación 83, y un descodificador turbo 84. A partir de la señal recibida desde el canal de comunicación de PR 12, el descodificador de PR-SISO 81 determina, basándose en la codificación NRZI en el canal de PR-2, la representación reticular que indica las transiciones de estado secuenciales en el tiempo asociadas con el procedimiento de codificación de temporal o temporal, y lleva a cabo, a continuación, una descodificación de SISO basándose en la representación reticular determinada de la codificación NRZI y el canal de PR-2. La señal descodificada en SISO resultante (información “blanda” o de almacenamiento como software) es suministrada al descodificador de 17PP-SISO 181.

El descodificador de 17PP-SISO 181 determina (genera) la representación reticular del código de 17PP de acuerdo con la tabla de codificación de 17PP 201 dispuesta en el codificador de 17PP 171 y lleva a cabo la descodificación en SISO sobre la señal suministrada desde el descodificador de PR-SISO 81, basándose en la representación reticular del código de 17PP determinada mediante el uso del algoritmo de BCJR o del SOVA. La señal descodificada en SISO resultante es suministrada al dispositivo de reversión de intercalación 83.

Es de apreciar que un aparato de descodificación o un aparato de reproducción para obtener por lectura una señal codificada desde un medio de almacenamiento y descodificar la señal codificada, puede realizarse utilizando el canal de comunicación de PR 12 y el descodificador 162 mostrados en la Figura 5.

La representación reticular del código de 17PP se describe en lo que sigue con referencia a las Figuras 7 a 10. Las Figuras 7 a 9 muestran un ejemplo de un conjunto de tablas de transiciones de estado representadas en la tabla de codificación 201 de código de 17PP que se ha mostrado en la Figura 6, a fin de indicar todas las transiciones posibles que puedan producirse en un periodo que va desde un tiempo en curso a un tiempo siguiente. La Figura 10 muestra un ejemplo de una representación reticular que indica transiciones de secuencia temporal dentro del conjunto de tablas de transiciones de estado que se muestran en las Figuras 7 a 9.

En las Figuras 7 a 9, el “estado de tiempo en curso”, la “entrada de tiempo en curso”, la “salida de tiempo en curso”, el “estado de tiempo siguiente” y el “estado de tiempo siguiente” se describen de derecha a izquierda en cada fila. En la tabla de transiciones de estado que se ha mostrado en la Figura 7, se describen transiciones de estado para los “estados de tiempo en curso” de S0 a S2, de la fila de arriba a la fila de abajo. En la tabla de transiciones de estado que se muestra en la Figura 8, se describen transiciones de estado para los “estados de tiempo en curso” de S3 a S16, de la fila de arriba a la fila de abajo. En la tabla de transiciones de estado mostrada en la Figura 9, se describen transiciones de estado para los “estados de tiempo en curso” de S17 a S20, de la fila de arriba a la fila de abajo. Es decir, la tabla de codificación 201 de código de 17PP que se muestra en la Figura 6 se convierte en las tablas de transiciones de estado en las que se describen las transiciones para 21 “estados de tiempo en curso”, de S0 a S20.

En esta codificación de 17PP, de acuerdo con la “condición” descrita en la tabla de codificación 201 que se ha mostrado en la Figura 6, si la salida de tiempo previo final es 1, la codificación comienza desde el estado de S0, pero si la salida de tiempo previo final es 0, la codificación comienza desde el estado de S1.

tiempo en curso" es S7, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S11. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S8, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S12. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S9, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S13. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S10, si la "entrada en el tiempo en curso" es 01, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S1. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S11, si la "entrada en el tiempo en curso" es 11, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S1.

Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S12, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S14, o bien la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S15. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S13, si la "entrada en el tiempo en curso" es 10, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S14, o bien la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S15. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S14, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 100 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S1. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S15, si la "entrada en el tiempo en curso" es 01, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S1. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S15, si la "entrada en el tiempo en curso" es 10, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S0. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S15, si la "entrada en el tiempo en curso" es 11, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 101 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S2, o bien la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S16. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S16, si la "entrada en el tiempo en curso" es 01, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S18.

En el ejemplo de la tabla de transiciones de estado que se muestra en la Figura 9, se describe que, cuando el "estado en el tiempo en curso" es S17, si la "entrada en el tiempo en curso" es 01, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S1. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S17, si la "entrada en el tiempo en curso" es 10, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S0. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S17, si la "entrada en el tiempo en curso" es 11, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 101 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S19. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S17, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S14, o la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S5, o bien la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S6, o bien la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S9, o la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S7. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S18, si la "entrada en el tiempo en curso" es 11, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo en curso" pasa a ser S20.

Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S19, si la "entrada en el tiempo en curso" es 10, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S0. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S19, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S4, o la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S9, o bien la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S7. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S19, si la "entrada en el tiempo en curso" es 11, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S3, o la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S16. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S20, si la "entrada en el tiempo en curso" es 01, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S1. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S20, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S5, o la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S8, o bien la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S6.

En la representación reticular del código de 17PP que se muestra en la Figura 10, los círculos denotan estados, las flechas con puntos únicos denotan transiciones de estado que pueden producirse cuando la señal de entrada es "00", las flechas con puntos dobles denotan transiciones de estado que pueden tener cuando la señal de entrada es "01", las flechas discontinuas de trazos largos denotan transiciones de estado que pueden producirse cuando la señal de entrada es "10", y las flechas de trazos cortos denotan transiciones de estado que pueden tener lugar cuando la señal de entrada es "11". Una etiqueta dispuesta en cada flecha indica una cadena de bits de una señal de salida.

Como se ha descrito anteriormente, en la tabla de transiciones de estado del código de 17PP que se ha mostrado en las Figuras 7 a 9 y en la representación reticular del código de 17PP mostrada en la Figura 10, se describen todas las posibles entradas y salidas que pueden tener lugar en el procedimiento de comunicación en un instante para cada estado. Por ejemplo, en el estado de S0 existen seis posibles transiciones desde la “entrada de tiempo en curso” de 00 (las flechas de un único punto que se muestran en la Figura 10), existe una única posible transición desde la “entrada de tiempo en curso” de 01 (una flecha de puntos dobles que se muestra en la Figura 10), existe una sola posible transición desde el “estado de tiempo en curso” de 10 (una flecha de trazos largos que se muestra en la Figura 10), y existen dos posibles transiciones desde la “entrada de tiempo en curso” de 11 (las flechas de trazos cortos mostradas en la Figura 10). En el estado de S8, existe tan solo una única transición posible desde la “entrada de tiempo en curso” de 00 (una flecha de puntos únicos que se muestra en la Figura 10), y no hay ninguna transición posible desde ninguna de las “entradas de tiempo en curso” 01, 10 y 11. Como se ha descrito en lo anterior, en un cierto estado, puede existir una pluralidad de transiciones (denotadas por flechas en la Figura 10) desde la misma “entrada en el tiempo en curso”. Esto significa que, cuando la representación reticular indica únicamente transiciones que pueden producirse en un instante tal como el que se ha mostrado en la Figura 10, es imposible determinar qué flecha deberá seleccionarse y, por tanto, la codificación resulta imposible mediante el uso únicamente de dicha representación reticular. El problema anterior puede ser evitado mediante la combinación de una pluralidad de representaciones reticulares similares a la que se ha mostrado en la Figura 10, de tal manera que las transiciones secuenciales en el tiempo de todo el procedimiento de codificación quedan completamente representadas.

La Figura 11 muestra otro ejemplo de una representación reticular basada en la representación reticular mostrada en la Figura 10. En esta representación reticular que se muestra en la Figura 11, a diferencia de la representación reticular mostrada en la Figura 10, en la que tan solo se ha representado el procedimiento de codificación en un instante, tres representaciones reticulares mostradas en la Figura 10 se combinan conjuntamente de tal manera que se represente una secuencia de transiciones de estado del tiempo t1 al tiempo t4. Es de apreciar que, si bien las transiciones de estado representadas en la Figura 11 incluyen tan solo las que se producen en tres tiempos secuenciales, la representación reticular que realmente se utiliza incluye todas las transiciones, desde el comienzo hasta el final del procedimiento de codificación.

En el ejemplo de la tabla de transiciones de estado mostrada en la Figura 11, una flecha en negrita o de trazo grueso P1 indica una transición que puede producirse cuando se da “00” como una señal de entrada en un estado de S0 en el tiempo t1, y una flecha de trazo grueso P2 indica una transición que puede producirse cuando se da “00” como una señal de entrada en el estado de S6 en el tiempo t2, y una flecha de trazo grueso P3 indica una transición que puede producirse cuando se proporciona “01” como una señal de entrada en un estado de S10 en el instante t3, con lo que se indica una secuencia de transiciones de estado.

Es decir, las flechas P1 a P3 indican transiciones de estado secuenciales que se producen de tal manera que, si se suministra como entrada 00, como la “entrada de tiempo en curso” en el estado de S0, en el instante t1, se suministra como salida 010 a modo de la “salida de tiempo en curso” y se produce una transición de estado hasta el “estado de tiempo siguiente” de S6 en el tiempo t2, y entonces, si se suministra como entrada 00, como la “entrada de tiempo en curso” en el estado de S6, en el instante t2, se suministra como salida 100 a modo de la “salida de tiempo en curso” y se produce una transición de estado hasta el “estado de tiempo siguiente” de S10 en el tiempo t3, y además, si se suministra como entrada 01, como la “entrada de tiempo en curso” en el estado de S10, en el instante t3, se suministra como salida 100 a modo de la “salida de tiempo en curso” y tiene lugar una transición de estado hasta el “estado de tiempo siguiente” de S1 en el tiempo t4.

Las transiciones denotadas por las respectivas flechas en los tiempos respectivos se explican con mayor detalle en lo que sigue. En el estado de S0, en el tiempo t1, posibles transiciones para la “entrada de tiempo en curso” de 00 incluyen las que se han indicado por cinco flechas con un punto único, además de la transición indicada por la flecha de trazo grueso P1 (es decir, hay un total de seis posibles transiciones correspondientes a flechas con puntos únicos que se muestran en la Figura 10). Sin embargo, si se suministra como entrada 00, como la “entrada de tiempo en curso” en el estado de S0, en el tiempo t1, y si, como respuesta, se suministra como salida 010 a modo de la “salida de tiempo en curso” y se produce el estado de transición hasta el “estado de tiempo siguiente” de S6, en el instante t2, entonces, en el estado resultante S6, existe tan solo una única transición posible para la “entrada de tiempo en curso” de 00, según se indica por la flecha de trazo grueso P2 (correspondiente a la flecha con puntos únicos que se ha mostrado en la Figura 10). En este estado S6, si se suministra como entrada 00, como la “entrada de tiempo en curso” en el instante t2, se suministra como salida 100 a modo de la “salida de tiempo en curso” y se produce la transición de estado hasta el “estado de tiempo siguiente” de S10 en el tiempo t3. También en este estado resultante S10 hay una única transición posible para la “entrada de tiempo en curso” de 01, según se ha indicado por la flecha de trazo grueso P3 (correspondiente a una flecha con puntos dobles mostrada en la Figura 10).

Es decir, tan solo es posible una única transición en el estado de S0 y en el instante t2, como también en el estado de S10 y en el instante t3, y, por tanto, la salida para la entrada “000001” dada en el estado S0 y en el instante t1 queda unívocamente determinada como “010100100”. Es decir, en esta representación reticular, cuando se proporciona una entrada, una salida (palabra de código) correspondiente a la entrada dada se determina por un

recorrido o camino (que incluye unas flechas de trazo grueso P1 a P3).

Como se ha descrito anteriormente, incluso en un estado en el que existen dos o más transiciones posibles desde el tiempo t_1 hasta el tiempo t_2 , es posible encontrar un camino único dentro de un periodo más largo. De esta forma, en esta representación reticular, cada camino completo (tal como un camino que incluye flechas de trazo grueso P1 a P3 en la Figura 11) corresponde a una única transición de estado global dentro del procedimiento de codificación completo, es decir, existe una correspondencia de uno a uno, o biunívoca, entre caminos de la representación reticular y transiciones desde cadenas de entrada dadas hasta salidas (palabras de código). Por lo tanto, es posible determinar una salida para una entrada dada mediante el uso de esta representación reticular.

En el algoritmo de descodificación de Viterbi o en el algoritmo de descodificación de BCJR, en general, una tabla de transiciones de estado que indica un procedimiento de codificación en un cierto instante, es convertida a la forma de una retícula que representa transiciones secuenciales en el tiempo, y se lleva a cabo una descodificación de acuerdo con la retícula, según se describe, por ejemplo, en la publicación "The Viterbi Algorithm" ["El algoritmo de Viterbi"] (G. D. Forney, Proc. IEEE, Vol. 61, N° 3, 1973) o en la publicación "Optimal Decoding of Linear Codes for Minimizing Symbol Error Rate" ["Descodificación óptima de códigos lineales para minimizar la tasa de errores de símbolo"] (L. R. Bahl et al., IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. IT-20, 1974). El presente Solicitante ha realizado un análisis matemático sobre los algoritmos de descodificación. El análisis ha puesto de manifiesto que cada algoritmo es capaz de funcionar correctamente si existe una correspondencia de uno a uno, o biunívoca, entre transiciones globales dentro del procedimiento de codificación y caminos de la representación reticular, según se ha descrito anteriormente. Esto significa que el código de 17PP puede ser descodificado utilizando el algoritmo de descodificación de Viterbi o el algoritmo de descodificación de BCJR de acuerdo con una representación reticular según se ha mostrado en la Figura 11 (Figura 10).

Como se ha descrito anteriormente, debido a que la representación reticular puede ser producida de tal manera que existe una correspondencia biunívoca entre transiciones globales dentro del procedimiento de codificación y caminos completos de la representación reticular, el código de 17PP puede ser descodificado utilizando el algoritmo de descodificación de Viterbi o el algoritmo de descodificación de BCJR.

Es decir, el procedimiento de codificación del código de 17PP puede ser representado por una representación reticular que tiene 21 estados según se muestran en la Figura 10. Si se unen en serie una pluralidad de representaciones reticulares mostradas en la Figura 10 de tal manera que las transiciones secuenciales en el tiempo se representen tal y como se ha mostrado en la Figura 11, la descodificación de Viterbi o la descodificación de BCJR pueden llevarse a cabo de acuerdo con la representación reticular resultante. Es de apreciar que la representación reticular que tiene 21 estados presenta un tamaño que puede ser manejado por medio de hardware o de software.

Nótese que la representación reticular del código de 17PP no se limita a la que se muestra en la Figura 11, sino que son posibles diversas representaciones. Por ejemplo, algunos estados de la representación reticular que se ha mostrado en la Figura 10 pueden ser eliminados, de manera que es posible reducir el número total de transiciones desde estados, tal y como se describirá más adelante con referencia a la Figura 14, y puede conectarse en serie una pluralidad de representaciones reticulares resultantes para formar una única representación reticular, como con la representación reticular que se muestra en la Figura 11, con lo que se obtiene una representación reticular del código de 17PP.

Las Figuras 12 a 14 muestran otro ejemplo de un conjunto de representaciones reticulares del código de 17PP. Las Figuras 12 y 13 muestran un ejemplo del conjunto de tablas de transiciones de estado obtenidas rescribiendo la tabla de codificación 201 del código de 17PP que se ha mostrado en la Figura 6, para así indicar claramente las transiciones de estado que pueden tener lugar en un periodo que va desde un tiempo en curso hasta un tiempo siguiente dentro del procedimiento de codificación (nótese que, en contraste con el conjunto de tablas de transiciones de estado que se muestra en las Figuras 7 a 9, en el que hay 21 estados, el número de estados se reduce a 15 en el presente conjunto de tablas de transiciones de estado). La Figura 14 muestra un ejemplo de una representación reticular, esto es, una representación de transiciones secuenciales en el tiempo, del conjunto de tablas de transiciones de estado mostrado en las Figuras 12 y 13.

En las Figuras 12 y 13, se describen el "estado de tiempo en curso", la "salida de tiempo en curso", el "estado de tiempo siguiente" y el "estado de tiempo siguiente" de izquierda a derecha en la cada fila. En la tabla de transiciones de estado mostrada en la Figura 12, se describen transiciones de estado para los "estados de tiempo en curso" de S0 a S4, de la fila de arriba a la fila de abajo. En la tabla de transiciones de estado que se muestra en la Figura 13, se describen transiciones de estado para los "estados de tiempo en curso" de S5 a S14, de la fila de arriba a la fila de abajo. En el conjunto de tablas de estados de transición que se muestra en las Figuras 12 y 13, los 21 "estados de tiempo en curso" contenidos en el conjunto de tablas de estados de transición que se muestra en las Figuras 7 a 9, se reducen a 15 estados, del estado S0 al estado S14.

En la tabla de estados de transición que se muestra en la Figura 12, se describe que, cuando el "estado en el tiempo en curso" es S0, si la "entrada en el tiempo en curso" es 01, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada

la "entrada en el tiempo en curso" es 10, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S0. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S9, si la "entrada en el tiempo en curso" es 11, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 101 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S2, o bien la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S10.

Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S10, si la "entrada en el tiempo en curso" es 01, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S12. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S11, si la "entrada en el tiempo en curso" es 01, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S1. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S11, si la "entrada en el tiempo en curso" es 10, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S0. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S11, si la "entrada en el tiempo en curso" es 11, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 101 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S13. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S11, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S5, o bien la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S4.

Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S12, si la "entrada en el tiempo en curso" es 11, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S14. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S13, si la "entrada en el tiempo en curso" es 10, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S0. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S13, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S5. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S13, si la "entrada en el tiempo en curso" es 11, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 000 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S3, o bien la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 001 y el "estado en el tiempo siguiente" se convierte en S10. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S14, si la "entrada en el tiempo en curso" es 01, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S1. Cuando el "estado en el tiempo en curso" es S14, si la "entrada en el tiempo en curso" es 00, entonces la "salida en el tiempo en curso" viene dada por 010 y el "estado en el tiempo siguiente" pasa a ser S4.

En la representación reticular del código de 17PP que se muestra en la Figura 14, al igual que en la representación reticular mostrada en la Figura 10, los círculos denotan estados, las flechas con puntos únicos denotan transiciones de estado que pueden tener lugar cuando la señal de entrada es "00", las flechas con puntos dobles denotan transiciones de estado que pueden producirse cuando la señal de entrada es "01", las flechas de trazos largos denotan transiciones de estado que pueden tener lugar cuando la señal de entrada es "10", y las flechas de trazos cortos denotan transiciones de estado que pueden producirse cuando la señal de entrada es "11". Una etiqueta situada en cada flecha indica una cadena de bits de una señal de salida.

Como se ha descrito anteriormente, el procedimiento de codificación del código de 17PP puede también representarse en forma de una representación reticular que tiene 15 estados. Es de apreciar que los diversos conjuntos de representaciones reticulares que tienen 15 estados, cada uno de los cuales es similar al que se ha descrito anteriormente, pueden ser también conectados o unidos en serie de tal manera que representen transiciones secuenciales en el tiempo, de una manera similar a lo que se hace con la representación reticular que tiene 21 estados y que se ha descrito anteriormente con referencia a la Figura 10. En esta forma conectada en serie, al igual que con el ejemplo que se muestra en la Figura 11, existe una correspondencia de uno a uno, o biunívoca, entre transiciones globales contenidas en el procedimiento de codificación y caminos completos de la representación reticular. En consecuencia, esta representación reticular que tiene 15 estados puede utilizarse también en la descodificación de Viterbi y en la descodificación de BCJR. Debido a que la representación reticular que se muestra en la Figura 14 tiene un número menor de estados que la representación reticular que tiene 21 estados, esta representación reticular puede ser manejada más fácilmente por dispositivos físicos o hardware, o por programas o software, que la representación reticular que tiene 21 estados.

A continuación se describe el procedimiento de grabación llevado a cabo por el aparato de grabación / reproducción 151, con referencia al diagrama de flujo que se muestra en la Figura 15.

En la etapa S1, el codificador turbo 71 lleva a cabo la codificación turbo sobre una señal de entrada y suministra como salida la señal turbocodificada resultante al codificador de 17PP 171, a través del dispositivo de intercalación 72. Una vez completada la etapa S1, el procedimiento prosigue con la etapa S2. Los detalles del procedimiento de codificación turbo de la etapa S1 se describen más adelante. Una señal de entrada procedente del exterior se aplica de forma simultánea al codificador 91 de elementos y al dispositivo de intercalación 92. El codificador 91 de elementos genera una cadena de bits de paridad 1 a partir de la señal de entrada y suministra la cadena de bits de paridad 1 resultante al conversor a decimal 94. El dispositivo de intercalación 92 intercala la señal que se suministró también como entrada al codificador 91 de elementos, y suministra la señal intercalada resultante al codificador 93 de elementos. El codificador 93 de elementos genera una cadena de bits de paridad 2 a partir de la señal intercalada suministrada desde el dispositivo de intercalación 92, y suministra la cadena de bits de paridad resultante 2 al

conversor a decimal 94. El conversor a decimal 94 convierte a decimal la cadena de bits de paridad 1 y la cadena de bits de paridad 2, y multiplexa la cadena de bits de paridad 1 y la cadena de bits de paridad 2 convertidas a decimal resultantes. La señal multiplexada se suministra al codificador de 17PP 171 a través del dispositivo de intercalación 72.

5 En la etapa S2, el codificador de 17PP 171 lleva a cabo la codificación de 17PP sobre la señal que se suministra como entrada a través del dispositivo de intercalación 72, de acuerdo con la tabla de codificación 201 de código de 17PP, y suministra como salida la señal resultante por el canal de comunicación de PR 12. Una vez completada la etapa S2, el procedimiento prosigue con la etapa S3.

10 En la etapa S3, la unidad de grabación / reproducción 21 convierte la señal codificada recibida desde el codificador de 17PP 171 en una señal NRZI (sin retorno a cero e invertida –“non return to zero inverted”) y almacena la señal codificada en NRZI resultante en un medio de almacenamiento montado en, o insertado o incluido dentro de, la unidad de grabación / reproducción 21, por medio de un método de grabación de borde de marca. Una vez completada la etapa S3, se pone fin al procedimiento de grabación.

15 Se describe en lo que sigue, con referencia al diagrama de flujo que se muestra en la Figura 6, el procedimiento de reproducción llevado a cabo por el aparato de grabación / reproducción 151 para reproducir la señal grabada en el procedimiento de grabación descrito en lo anterior.

20 En la etapa S21, la unidad de grabación / reproducción 21 lee la señal codificada registrada o grabada en el medio de almacenamiento, a través del canal de PR-2, y suministra la señal codificada leída al ecualizador 22. Una vez completada la etapa S21, el procedimiento se remite a la etapa S22. En la etapa S22, el ecualizador 22 lleva a cabo una ecualización de PR utilizando interferencia de forma de onda sobre la señal codificada suministrada, para así conseguir una característica de ecualización pretendida o de objetivo. La señal ecualizada en PR resultante se suministra al descodificador 162. Una vez completada la etapa S22, el procedimiento prosigue con la etapa S23.

25 En la etapa S23, a partir de la señal recibida desde el canal de comunicación de PR 12, el descodificador de PR-SISO determina, basándose en la codificación NRZI y en el canal de PR-2, la representación reticular que indica transiciones de estado secuenciales en el tiempo dentro del procedimiento de codificación de instante a instante, y lleva a cabo una descodificación de SISO utilizando el algoritmo de BCJR o el SOVA, de acuerdo con la representación reticular determinada de la codificación NRZI y el canal de PR-2. La señal descodificada en SISO resultante (información de almacenamiento como software) se suministra al descodificador de 17PP-SISO 181. Una vez completada la etapa S23, el procedimiento continúa con la etapa S24.

30 En la etapa S24, el descodificador de 17PP-SISO 181 lleva a cabo un procedimiento de descodificación de 17PP-SISO. El procedimiento de descodificación de 17PP-SISO se describe con mayor detalle con referencia al diagrama de flujo que se muestra en la Figura 17. En la etapa S41 mostrada en la Figura 17, el descodificador de 17PP-SISO 181 recibe la señal descodificada en SISO (señal de almacenamiento como software) desde el descodificador de PR-SISO 81. A continuación, en la etapa siguiente S42, el descodificador de 17PP-SISO 181 determina (genera) la representación reticular del código de 17PP basándose en la tabla de codificación de 17PP 201. En la etapa S43, el descodificador de 17PP-SISO 181 realiza la descodificación de SISO sobre la señal recibida desde el descodificador de PR-SISO 81, mediante el uso del algoritmo de descodificación de Viterbi o del algoritmo de descodificación de BCJR, de acuerdo con la representación reticular de 17PP determinada. Una vez completada la etapa S43, el procedimiento prosigue con la etapa S44. En la etapa S44, el descodificador de 17PP-SISO 181 suministra la señal descodificada en SISO resultante (información de almacenamiento como software) al descodificador turbo 84, a través del dispositivo de reversión de intercalación 83. Una vez completada la etapa S44, el procedimiento retorna a la etapa S25 de la Figura 16.

35 En la etapa S25 de la Figura 16, el descodificador turbo 84 lleva a cabo el procedimiento de descodificación turbo. Más específicamente, el interpolador 111 del descodificador turbo 84 lleva a cabo una interpolación de la señal (información de almacenamiento como software) recibida desde el dispositivo de reversión de intercalación 83 y suministra la señal resultante al descodificador 112 de elementos y al descodificador 114 de elementos. El descodificador 112 de elementos lleva a cabo la descodificación de SISO sobre la señal recibida desde el interpolador 111 y suministra la señal descodificada en SISO resultante, conjuntamente con información sobre la fiabilidad, al descodificador 114 de elementos, a través del dispositivo de intercalación 113. El descodificador 114 de elementos lleva a cabo la descodificación de SISO sobre la señal recibida desde el interpolador 111, mediante el uso de la información sobre la fiabilidad recibida desde el descodificador 112 de elementos. La señal descodificada en SISO resultante y la formación sobre la fiabilidad son suministradas al descodificador 112 de elementos a través del dispositivo de reversión de intercalación 115. El anterior procedimiento de descodificación de elementos es iterado o repetido varias veces. Tras la iteración del procedimiento de descodificación de elementos, el descodificador 114 de elementos lleva a cabo una decisión final y suministra como salida un resultado de la decisión a una etapa siguiente (no mostrada). De esta forma se completa el procedimiento de reproducción.

60 En el procedimiento de reproducción según se ha descrito en lo anterior, se determina la representación reticular del

código de 17PP y la señal se descodificad en SISO mediante el uso del algoritmo de descodificación de Viterbi o del algoritmo de descodificación de BCJR, de acuerdo con la representación reticular. En consecuencia, puede utilizarse en el aparato de grabación / reproducción 151 una combinación del código de 17PP y del código turbo. Esto permite una mejora en el procedimiento de descodificación, tal y como se muestra en la Figura 18.

La Figura 18 muestra comparativamente el rendimiento de descodificación del aparato de grabación / reproducción 151 de acuerdo con la presente invención, así como el del aparato de grabación / reproducción 1 de acuerdo con la técnica convencional. En la comparación en términos del rendimiento de descodificación que se muestra en la Figura 18, se utiliza una combinación del código de 17PP y el código turbo como código de modulación en el aparato de grabación / reproducción 151 de acuerdo con la presente invención, en tanto que únicamente se utiliza el código de 17PP como código de modulación en el aparato de grabación / reproducción 1 de acuerdo con la técnica convencional.

En la Figura 18, el eje vertical representa la proporción o tasa de errores de bit, y el eje horizontal representa la relación de potencias entre señal y ruido. Una línea continua indica la tasa de errores de bit conseguida por la presente invención, y una línea de puntos indica la tasa de errores de bit conseguida por la técnica convencional utilizando únicamente el código de 17PP. En la Figura 18, el número de bits de información por cada código turbo es 1.174, la proporción de codificación del código turbo es 19/20, y el número de iteraciones de codificación es 10.

Puede observarse en la Figura 18 que la relación de potencias entre señal y ruido permitida para obtener una tasa de errores de bit de 10^{-5} , es aproximadamente 13,4 (dB) en el aparato de grabación / reproducción 1 de acuerdo con la técnica convencional, y aproximadamente 10,6 (dB) en el aparato de grabación / reproducción 151 de acuerdo con la presente invención. De esta forma, en el aparato de grabación / reproducción 151, el uso de la combinación del código de 17PP y el código turbo hace posible una ganancia de codificación mayor que 2,5 (dB), en comparación con la conseguida por el aparato de grabación / reproducción convencional 1 que utiliza únicamente el código de 17PP.

Como se ha descrito anteriormente, el uso de la combinación del código de 17PP y el código turbo hace posible la mejora del rendimiento de codificación.

La Figura 19 muestra una realización de un aparato de grabación / reproducción 251 de acuerdo con la presente invención. En la Figura 19, las partes similares a las de la Figura 5 se han denotado por símbolos de referencia análogos y se omite una descripción por duplicado de las mismas.

En la Figura 19, el aparato de grabación / reproducción 251 incluye un codificador 261 y un descodificador 262 que son similares, respectivamente, al codificador 161 y al descodificador 162 del aparato de grabación / reproducción 151 que se ha descrito anteriormente con referencia a la Figura 5, a excepción de que el codificador 261 tiene un codificador de LDPC (Comprobación de Paridad de Baja Densidad –“Low Density Parity Check”) 271 en lugar del codificador turbo 71, y el descodificador 262 tiene un descodificador de LDPC 281 en lugar del descodificador turbo 81.

Es decir, el codificador 261 incluye el codificador de LDPC 271, un dispositivo de intercalación 72 y un codificador de 17PP 171. El codificador de LDPC 271 lleva a cabo la codificación de LDPC sobre una señal de entrada y suministra una señal codificada en LDPC resultante al codificador 17PP 171, a través del dispositivo de intercalación 72. El codificador de 17PP 171 tiene una tabla de codificación 201 asociada con el código de 17PP de longitud variable. El codificador de 17PP 171 lleva a cabo una codificación de 17PP sobre una señal recibida desde el dispositivo de intercalación 72, de acuerdo con la tabla de codificación de 17PP 201, y suministra como salida la señal resultante por el canal de comunicación de PR 12.

El descodificador 206 incluye un descodificador de RP-SISO 81, un descodificador de 17PP-SISO 181, un dispositivo de reversión de intercalación 83 y el descodificador de LDPC 281. El descodificador de 17PP-LDPC 181 determina la representación reticular del código de 17PP de acuerdo con la tabla de codificación de 17PP 201 dispuesta en el codificador de 17PP 171, y lleva a cabo la descodificación de SISO sobre la señal suministrada desde el descodificador de PR-SISO 81, utilizando el algoritmo de BCJR o el SOVA de acuerdo con la representación reticular determinada del código de 17PP. Una señal descodificada en SISO resultante (información de almacenamiento como software) se suministra al descodificador de LDPC 281 a través del dispositivo de reversión de intercalación 83.

El descodificador de LDPC 281 lleva a cabo una descodificación iterativa en la señal (información de almacenamiento como software) recibida desde el descodificador e 17PP-ISO 181, de acuerdo con el SPA (Algoritmo de Suma-Producto –“Sum-Product Algorithm”). Se suministra como salida una señal descodificada resultante a un estado siguiente (no mostrado).

Como se ha descrito en lo anterior, el descodificador de 17PP-SISO 181 determina la representación reticular del código de 17PP y lleva a cabo una descodificación de SISO utilizando el algoritmo de BCJR o el SOVA, de acuerdo

5 con la representación reticular determinada del código de 17PP, y, por tanto, puede ser concatenado un código de LDPC en lugar de un código turbo. Es decir, el procedimiento de grabación / reproducción puede ser llevado a cabo utilizando el código de LDPC en lugar del código turbo. El aparato de grabación / reproducción construido tal y como se muestra en la Figura 19 tiene también un mejor rendimiento de descodificación que el que puede conseguirse utilizando solo el código de 17PP.

10 La Figura 20 muestra otra realización de un aparato de grabación / reproducción de 301 de acuerdo con la presente invención. El aparato de grabación / reproducción 301 registra y reproduce una señal en, o desde, un medio de almacenamiento tal como un disco óptico, mediante el uso de un código de 17PP como código de modulación, al igual que con el aparato de grabación / reproducción 151. En la Figura 20, las partes similares a las de la Figura 1 se han denotado por símbolos de referencia análogos y se ha omitido una descripción por duplicado de las mismas.

15 Es decir, el aparato de grabación / reproducción 301 que se muestra en la Figura 20 es similar al aparato de grabación / reproducción 1 mostrado en la Figura 1, a excepción de que se utiliza el codificador de 17PP 171 mostrado en la Figura 5, en lugar del codificador de modulación 11, y, en el descodificador 311 del aparato de grabación / reproducción 301, se utiliza el descodificador de PR-SISO 81 mostrado en la Figura 5, en lugar del descodificador de PR-Viterbi 31, y se emplea el descodificador de 17PP 321 en lugar del descodificador de modulación 32.

20 El codificador 17PP 171 tiene una tabla de codificación 201 del código de 17PP de longitud variable. El codificador de 17PP 171 lleva a cabo una codificación de 17PP sobre una señal recibida desde el dispositivo de intercalación 72, de acuerdo con la tabla de codificación de 17PP 201, y suministra como salida la señal resultante a través del canal de comunicación de PR 12.

25 El descodificador 311 incluye un descodificador de PR-SISO 81 y un descodificador de Viterbi de 17PP 321. A partir de la señal recibida desde el canal de comunicación de PR 12, el descodificador de SISO 81 determina, basándose en la codificación NRZI y en el canal de PR-2, la representación reticular que indica transiciones de estado secuenciales en el tiempo, en el procedimiento de codificación de instante a instante representado en la tabla de transiciones de estado, y lleva entonces a cabo una descodificación de SISO basándose en la representación reticular determinada de la codificación NRZI y del canal de PR-2. La señal descodificada en SISO resultante (información de almacenamiento como software) es suministrada al descodificador de 17PP-Viterbi 321.

35 El descodificador de Viterbi de 17PP 321 determina la representación reticular del código de 17PP basándose en la tabla de codificación 17PP 201 dispuesta en el codificador 17PP 171, y lleva a cabo una descodificación de Viterbi con decisión de almacenamiento como software sobre la señal recibida desde el descodificador de PR-SISO 81, de acuerdo con la representación reticular determinada del código de 17PP. Se suministra como salida una señal resultante descodificada en Viterbi con decisión de almacenamiento como software, a una etapa siguiente (no mostrada).

40 En el aparato de grabación / reproducción 302 según se ha descrito anteriormente, se utiliza el código de 17PP como código de modulación y se determina la representación reticular del código de 17PP. Además, basándose en la representación reticular determinada del código de 17PP, puede llevarse a cabo fácilmente una descodificación de Viterbi con decisión de almacenamiento como software. De esta forma, el aparato de grabación / reproducción 301 tiene un mejor rendimiento de descodificación que el que puede conseguirse mediante el aparato de grabación / reproducción 1 que se ha mostrado en la Figura 1.

50 Como se ha descrito anteriormente, en un código de modulación que utiliza una tabla de codificación de longitud variable, la representación reticular se determina y utiliza en la descodificación de Viterbi con decisión de almacenamiento como software. Esta técnica hace posible llevar a cabo una descodificación de Viterbi con decisión de almacenamiento como software, de alto rendimiento, mediante la ejecución de una cantidad realista de cálculos.

55 Por otra parte, en un código de modulación que utiliza una tabla de codificación de longitud variable, la representación reticular se determina y utiliza en la descodificación de SISO mediante el uso del algoritmo de descodificación de BCJR o del SOVA. Esto hace posible la concatenación de un código que necesita información de almacenamiento como software, tal como un código turbo o un código de LDPC, como código de corrección de errores, y, por lo tanto, puede conseguirse una mejora adicional en el rendimiento de descodificación.

60 En el aparato de grabación / reproducción 151 que se ha mostrado en la Figura 5, y también en el aparato de grabación / reproducción 251 que se muestra en la Figura 19, la representación reticular de las transiciones de estado del código de 17PP y la representación reticular de las transiciones de estado del canal de comunicación de PR 12 pueden ser combinadas en una única representación reticular, y la descodificación puede llevarse a cabo de acuerdo con la representación reticular resultante, de una manera similar a como se describe en el Documento No Patente 1. La información de almacenamiento como software obtenida como resultado de la descodificación puede ser suministrada al descodificador de código turbo o al descodificador de código de LDPC situado en la siguiente etapa. Es decir, en la Figura 5 o 19, el descodificador de PR-SISO 81 y el descodificador de 17PP-SISO 181 pueden

ser combinados uno con otro para formar un único bloque, según se muestra en la Figura 21.

La Figura 21 muestra otra realización de un aparato de grabación / reproducción 351 de acuerdo con la presente invención. En la Figura 21, las partes similares a las de la Figura 5 se han denotado por símbolos de referencia análogos, y se ha omitido una descripción por duplicado de las mismas.

El aparato de grabación / reproducción 351 que se muestra en la Figura 21 tiene un descodificador 361 que es similar al descodificador 162 del aparato de grabación / reproducción 151 anteriormente descrito con referencia a la Figura 5, a excepción de que el descodificador de PR-SISO 81 y el descodificador de 17PP-SISO 181 se han combinado formando un descodificador de 17PP-PR-SISO 371. Nótese que el canal de comunicación de PR 12 que se muestra en la Figura 21 no es un canal de grabación / reproducción de PR-2 (PR121), sino un canal de grabación / reproducción de PR1221.

Como se ha mostrado en la Figura 21, el canal de comunicación de PR 12 incluye una unidad de grabación / reproducción 21 y un ecualizador 22, y lleva a cabo un procedimiento de grabación / reproducción en el canal de grabación / reproducción de PR1221. La unidad de grabación / reproducción 21 lleva a cabo una codificación NRZI sobre una señal codificada recibida desde el codificador 17PP 171, y almacena la señal codificada en NRZI resultante en un medio de almacenamiento montado en, o insertado o incluido dentro de, la unidad de grabación / reproducción 21, por medio de un método de grabación de borde de marca. Por otra parte, en la operación de reproducción, la unidad de grabación / reproducción 21 lee la señal codificada desde el medio de almacenamiento a través del canal de PR1221 y suministra la señal codificada que se ha leído al ecualizador 22. El ecualizador 22 lleva a cabo una ecualización de PR utilizando una interferencia de forma o perfil de onda, sobre la señal codificada que se ha suministrado, a fin de conseguir una característica de ecualización de objetivo o pretendida. La señal ecualizada resultante es suministrada al descodificador 361.

El descodificador 361 incluye un descodificador de 17PP-PR-SISO 371, un dispositivo de reversión de intercalación 83 y un descodificador turbo 84. El descodificador de 17PP-PR-SISO 371 lleva a cabo una descodificación de SISO sobre la señal suministrada desde el canal de comunicación de PR 12, mediante el uso del algoritmo de BCJR o del SOVA de acuerdo con una representación reticular combinada, la cual se obtiene combinando una representación reticular que indica transiciones secuenciales en el tiempo en un procedimiento de codificación de instante a instante de la codificación NRZI y el canal de PR1221, y una representación reticular del código de 17PP determinada sobre la base de la tabla de codificación 201 del código de 17PP, dispuesta en el codificador de 17PP 171 (en lo sucesivo, se hará referencia a esta representación reticular combinada como la representación reticular combinada del código de 17PP y el canal de PR1221 (canal de comunicación)). La señal descodificada en SISO resultante (información de almacenamiento como software) se suministra al descodificador turbo 84 a través del dispositivo de reversión de intercalación 83.

La representación reticular combinada del código de 17PP y el canal de PR1221 se describe en detalle en lo que sigue con referencia a las Figuras 22 a 25. Esta representación reticular combinada se obtiene combinando la representación reticular del código de PP que tiene 15 estados, la cual se ha descrito anteriormente con referencia a las Figuras 12 y 14, y la representación reticular del canal de PR1221 que tiene 6 estados (no mostrada), utilizada por el descodificador de PR-SISO 81 para llevar a cabo un procedimiento de grabación / reproducción en el canal de grabación / reproducción de PR1221, dentro del canal de comunicación de PR 12 mostrado en la Figura 5.

Las Figuras 22 y 23 muestran un ejemplo de un conjunto o juego de tablas de transiciones de estado que indican un procedimiento de grabación completo llevado a cabo en un periodo que va desde el tiempo en curso hasta un tiempo siguiente. La Figura 24 muestra un ejemplo de una representación reticular, es decir, una representación de transiciones secuenciales en el tiempo, del conjunto de tablas de transiciones de estado mostrado en las Figuras 22 y 23. La Figura 25 muestra las posibles señales de salida en la representación reticular combinada que se ha mostrado en la Figura 24.

En las Figuras 22 y 23 se describen, de derecha a izquierda en cada fila, el "estado de tiempo en curso", la "salida de tiempo en curso", el "estado de tiempo siguiente" y el "estado de tiempo siguiente". En cada "estado de tiempo en curso" y en también en cada "estado de tiempo siguiente", un número situado en una posición a la izquierda indica un estado S del código de 17PP, y un número situado en una posición a la derecha indica un estado s del canal de PR1221. Con el fin de evitar la confusión entre el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221, el estado del código de 17PP se denota por S (en letra mayúscula), y el estado del canal de PR1221 se denota por s (en letra minúscula).

En la representación reticular combinada que se muestra en la Figura 24, los estados S del código de 17PP se ilustran en las posiciones más exteriores, los estados s del canal de PR1221 se representan dentro de respectivos círculos, las flechas con puntos únicos denotan transiciones de estado que pueden producirse cuando la señal de entrada es "00", las flechas con puntos dobles denotan transiciones de estado que pueden tener lugar cuando la señal de entrada es "01", las flechas de trazos largos denotan transiciones de estado que pueden producirse cuando la señal de entrada es "10", y las flechas de trazos cortos denotan transiciones de estado que pueden tener lugar

cuando la señal de entrada es "11". En aras de la facilidad de ilustración, en la Figura 25 se representan las señales suministradas como salida en la representación reticular combinada que se muestra en la Figura 24.

La Figura 25 muestra posibles señales de salida en la representación reticular combinada que se muestra en la Figura 24. En la Figura 25, los estados s del canal de PR1221 se han representado dentro de respectivos círculos, y una etiqueta en cada flecha indica una señal que se suministra como salida cuando se produce una transición de uno de los estados del canal de PR1221 a otro estado en la representación reticular combinada que se muestra en la Figura 24. Los símbolos representados entre paréntesis en la posición más a la izquierda indican los estados de tres registros del canal de comunicación de PR 12, en cada estado del canal de PR1221. Más específicamente, los tres registros del canal de comunicación de PR se encuentran en un estado (-, -, -) cuando el canal de PR1221 está en un estado s_0 , en un estado (+, -, -) cuando el canal de PR1221 se encuentra en un estado s_1 , en un estado (+, +, -) cuando el canal de PR1221 se encuentra en un estado s_2 , en un estado (-, -, +) cuando el canal de PR1221 se encuentra en un estado s_3 , en un estado (-, +, +) cuando el canal de PR1221 se encuentra en un estado s_4 , y en un estado (+, +, +) cuando el canal de PR1221 se encuentra en un estado s_5 .

Cada transición de estado mostrada en las Figuras 24 y 25 se describe en lo que sigue en el mismo orden que el que se ha descrito en la tabla de transiciones de estado mostrada en la Figura 22. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S_0 y el estado en curso del canal de PR1221 es s_1 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (+, -, -)), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 0, 2, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_1 y s_3 , respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida 0, 4, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_0 y s_4 , respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S_0 y el estado en curso del canal de PR1221 es s_1 , si se suministra como entrada 00, se suministra como salida 0, 4, 6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_5 y s_5 , respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 0, 2, 0 y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S_4 y s_3 en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S_0 y el estado en curso del canal de PR1221 es s_1 , si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida 0, 4, 6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_3 y s_5 , respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 0, 4, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S_1 y s_4 en el tiempo siguiente.

Cuando el estado en curso del código de 17PP es S_0 y el estado en curso del canal de PR1221 es s_4 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (-, +, +)), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 0, -2, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_1 y s_2 , respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida 0, -4, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_0 y s_1 , respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S_0 y el estado en curso del canal de PR1221 es s_4 , si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 0, -4, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_5 y s_0 , respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 0, -2, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S_4 y s_2 en el instante siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S_0 y el estado en curso del canal de PR1221 es s_4 , si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida 0, -4, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_3 y s_0 , respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 0, -4, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S_1 y s_1 en el tiempo siguiente.

Cuando el estado en curso del código de 17PP es S_1 y el estado en curso del canal de PR1221 es s_0 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (-, -, -)), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida -6, -4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_1 y s_2 , respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida -6, -6, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_0 y s_1 , respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S_1 y el estado en curso del canal de PR1221 es s_0 , si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida -6, -6, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_5 y s_0 , respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida -6, -4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S_4 y s_2 en el instante siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S_1 y el estado en curso del canal de PR1221 es s_0 , si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida -4, 0, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S_2 y s_4 , respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida -6, -6, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S_1 y s_1 en el tiempo siguiente.

Cuando el estado en curso del código de 17PP es S_1 y el estado en curso del canal de PR1221 es s_2 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (+, +, -)), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 4, 4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal

el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 0, -2, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S4 y s2 en el instante siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S2 y el estado en curso del canal de PR1221 es s4, si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida 0, -4, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S3 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 0, -4, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S10 y s1 en el tiempo siguiente.

Quando el estado en curso del código de 17PP es S3 y el estado en curso del canal de PR1221 es s0 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (-, -, -)), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida -6, -4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S11 y s2, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida -6, -6, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S0 y s1, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S3 y el estado en curso del canal de PR1221 es s0, si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida -6, -6, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S5 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida -6, -4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S4 y s2 en el instante siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S3 y el estado en curso del canal de PR1221 es s0, si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida -4, 0, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S2 y s4, respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida -6, -6, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S10 y s1 en el tiempo siguiente.

Quando el estado en curso del código de 17PP es S3 y el estado en curso del canal de PR1221 es s5 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (+, +, +)), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 6, 4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S11 y s3, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida 6, 6, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S0 y s4, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S3 y el estado en curso del canal de PR1221 es s5, si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 6, 6, 6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S5 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 6, 4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S4 y s3 en el instante siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S2 y el estado en curso del canal de PR1221 es s5, si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida 4, 0, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S2 y s1, respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 6, 6, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S10 y s4 en el tiempo siguiente.

Cada transición de estado que se muestra en las Figuras 24 y 25 se describirá en lo que sigue de manera adicional, en el mismo orden que el que se ha descrito en la tabla de transiciones de estado mostrada en la Figura 23. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S4 y el estado en curso del canal de PR1221 es s2 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (+, +, -)), si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 2, 0, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S6 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida 4, 6, 6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S1 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente. En el caso de que se suministre como entrada 11, se suministra como salida 2, 0, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S1 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S4 y el estado en curso del canal de PR1221 es s3 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (-, -, +)), si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida -2, 0, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S6 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida -4, -6, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S1 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente. En el caso de que se suministre como entrada 11, se suministra como salida -2, 0, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S1 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente.

Quando el estado en curso del código de 17PP es S5 y el estado en curso del canal de PR1221 es s0 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (-, -, -)), si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida -4, 0, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S7 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida -4, 0, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S1 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S5 y el estado en curso del canal de PR1221 es s5 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (+, +, +)), si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 4, 0, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S7 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 4, 0, -4, y el estado del código

ES 2 384 617 T3

- 5 entrada 01, entonces se suministra como salida 0, 4, 6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S12 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S10 y el estado en curso del canal de PR1221 es s4 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (+, -, -)), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 0, -4, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S12 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente.
- 10 Cuando el estado en curso del código de 17PP es S11 y el estado en curso del canal de PR1221 es s2 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (+, +, -)), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 4, 4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S1 y s3, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida 4, 6, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S0 y s4, respectivamente, en el tiempo siguiente. En el caso de que se suministre como entrada 11, se suministra como salida 2, 0, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S13 y s1, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S11 y el estado en curso del canal de PR1221 es s2, si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 4, 6, 6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S5 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 4, 4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S4 y s3, respectivamente, en el tiempo siguiente.
- 15
- 20 Cuando el estado en curso del código de 17PP es S11 y el estado en curso del canal de PR1221 es s3 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (-, -, +)), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida -4, -4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S1 y s2, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida -4, -6, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S0 y s1, respectivamente, en el tiempo siguiente. En el caso de que se suministre como entrada 11, se suministra como salida -2, 0, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S13 y s4, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S11 y el estado en curso del canal de PR1221 es s3, si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida -4, -6, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S5 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida -4, -4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S4 y s2, respectivamente, en el tiempo siguiente.
- 25
- 30
- 35 Cuando el estado en curso del código de 17PP es S12 y el estado en curso del canal de PR1221 es s0 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (-, -, -)), si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida -6, -6, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S14 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S12 y el estado en curso del canal de PR1221 es s5 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (+, +, +)), si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida 6, 6, 6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S14 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente.
- 40
- 45 Cuando el estado en curso del código de 17PP es S13 y el estado en curso del canal de PR1221 es s1 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (+, -, -)), si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida 0, 4, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S0 y s4, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 0, 4, 6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S5 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S13 y el estado en curso del canal de PR1221 es s1, si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida 0, 4, 6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S3 y s5, respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 0, 4, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S10 y s4 en el tiempo siguiente.
- 50
- 55 Cuando el estado en curso del código de 17PP es S13 y el estado en curso del canal de PR1221 es s4 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (-, +, +)), si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida 0, -4, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S0 y s1, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 0, -4, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S5 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S13 y el estado en curso del canal de PR1221 es s4, si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida 0, -4, -6, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S3 y s0, respectivamente, en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 0, -4, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser, respectivamente, S10 y s1 en el tiempo siguiente.
- 60
- 65 Cuando el estado en curso del código de 17PP es S14 y el estado en curso del canal de PR1221 es s0 (es decir,

cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (-, -, -), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida -6, -4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S1 y s2, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida -6, -4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S4 y s2, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S14 y el estado en curso del canal de PR1221 es s5 (es decir, cuando los registros del canal de comunicación de PR 12 se encuentran en un estado (+, +, +)), si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 6, 4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S1 y s3, respectivamente, en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 6, 4, 0, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR1221 pasan a ser S4 y s3, respectivamente, en el tiempo siguiente.

Como se ha descrito anteriormente, la retícula combinada del código de 17PP y del canal de PR1221 puede ser representada en la forma que incluye 32 conjuntos de estados. Si cada conjunto de estados se representa por (estado del código de 17PP, estado del canal de PR1221), los 32 conjuntos de estados aparecen en las tablas de transiciones de estado que se muestran en las Figuras 22 y 23, en el orden que se expone a continuación: (S0, s1), (S0, s4), (S1, s0), (S1, s2), (S1, s3), (S1, s5), (S2, s1), (S2, s4), (S3, s0), (S3, s5), (S4, s2), (S4, s3), (S5, s0), (S5, s5), (S6, s0), (S6, s5), (S7, s0), (S7, s5), (S8, s0), (S8, s5), (S9, s0), (S9, s5), (S10, s1), (S10, s4), (S11, s2), (S11, s3), (S12, s0), (S12, s5), (S13, s1), (S13, s4), (S14, s0) y (S14, s5). Es de apreciar que una pluralidad de representaciones reticulares, cada una de las cuales es similar a la anteriormente descrita, puede ser conectada o unida en serie de una manera similar a la forma en la que se han unido en serie una pluralidad de representaciones reticulares que tiene 21 estados y que se han mostrado en la Figura 10, de tal manera que existe una correspondencia de uno a uno, o biunívoca, entre transiciones globales dentro del procedimiento de codificación y caminos completos de la representación reticular, al igual que en la representación reticular combinada que se ha mostrado en la Figura 11. La descodificación de Viterbi o la descodificación de BCJR pueden llevarse a cabo fácilmente de acuerdo con la representación reticular unida en serie que resulta.

La representación reticular del código de 17PP tiene 15 estados, en tanto que la representación reticular de la codificación NRZI y del canal de PR1221 tiene 6 estados. Si la representación reticular del código de 17PP y la representación reticular del canal de PR1221 son simplemente combinadas entre sí, la representación reticular resultante tiene 90 estados. Sin embargo, cuando la representación reticular del código de 17PP y la representación reticular de la codificación NRZI y del canal de PR1221 se combinan, el número de estados puede reducirse a 32. En el caso del descodificador de PR 81 que se ha mostrado en la Figura 5, se calculan todas las transiciones de estado. En contraste con ello, en la presente representación reticular, las transiciones de estado que no son permitidas en el código de 17PP no se calculan, y las transiciones de estado que son equivalentes entre sí no se calculan por duplicado. Como resultado de ello, se requiere una menor cantidad de cálculos, y el cálculo puede llevarse a cabo de manera más fácil por medio de dispositivos físicos o hardware, o de programación o software. Se consigue, por otra parte, una mejora en el rendimiento de la descodificación.

A continuación, se describe el procedimiento de reproducción llevado a cabo por el aparato de grabación / reproducción 351, con referencia al diagrama de flujo que se muestra en la Figura 26.

En la etapa S121, la unidad de grabación / reproducción 21 obtiene por lectura la señal codificada del medio de almacenamiento a través del canal de PR1221 y suministra la señal codificada leída al ecualizador 22. Tras completarse la etapa S121, el procedimiento prosigue con la etapa S122. En la etapa S122, el ecualizador 22 lleva a cabo la ecualización de PR utilizando la interferencia de forma o perfil de onda sobre la señal codificada que se proporciona, a fin de conseguir una característica de ecualización pretendida o de objetivo. La señal ecualizada resultante es suministrada al descodificador 361. Tras ello, el procedimiento prosigue con la etapa S123.

En la etapa S123, el descodificador de 17PP-PR-SISO 371 recibe una señal desde el canal de comunicación de PR 12. En la etapa siguiente S124, el descodificador de 17PP-PR-SISO 371 determina la representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR1221, que se obtiene mediante la combinación de una representación reticular que indica transiciones secuenciales en el tiempo dentro del procedimiento de codificación de instante a instante de la codificación NRZI y del canal de PR1221, y una representación reticular del código de 17PP determinada basándose en la tabla de codificación 201 de código de 17PP dispuesta en el codificador de 17PP 171, y el descodificador de 17PP-PR-SISO 371 lleva a cabo una descodificación de SISO sobre la señal recibida desde el canal de comunicación de PR 12, mediante el uso del algoritmo de descodificación de Viterbi o el algoritmo de descodificación de BCJR, de acuerdo con la representación reticular combinada determinada. En la etapa S125, el descodificador de 17PP-PR-SISO 371 suministra la señal descodificada en SISO resultante (información de almacenamiento como software) al descodificador turbo 84, a través del dispositivo de reversión de intercalación 83. Una vez completada la etapa S125, el procedimiento se remite a la etapa S126.

En la etapa S126, el descodificador turbo 84 lleva a cabo el procedimiento de descodificación turbo. Este procedimiento de descodificación turbo se realiza de una manera similar a la de la etapa S25 que se ha mostrado en la Figura 16, y, por tanto, se omite una descripción por duplicado de la misma.

65

Como se ha descrito en lo anterior, la representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR-1221, así como la señal, es descodificada en SISO utilizando el algoritmo de descodificación de Viterbi o el algoritmo de descodificación de BCJR, de acuerdo con la representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR1221. Esto permite una mejora del rendimiento de la descodificación, tal y como se muestra en la Figura 27.

La Figura 27 muestra comparativamente el rendimiento de descodificación del aparato de grabación / reproducción 151 mostrado en la Figura 5, así como el del aparato de grabación / reproducción 351 que se muestra en la Figura 21. Como se ha descrito anteriormente, el aparato de grabación / reproducción 151 lleva a cabo el procedimiento de descodificación de acuerdo con la representación reticular de la codificación NRZI y del canal de PR1221, y con la representación reticular del código de 17PP. Por otra parte, el aparato de grabación / reproducción 351 lleva a cabo el procedimiento de descodificación de acuerdo con la representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR1221.

En la Figura 27, el eje vertical representa la proporción o tasa de errores de bit, y el eje horizontal representa la relación de potencias entre señal y ruido. Una línea continua representa la tasa de errores de bit que indica el rendimiento de descodificación del aparato de grabación / reproducción 151 que lleva a cabo el procedimiento de codificación de acuerdo con la representación reticular de la codificación NRZI y del canal de PR1221, y con la representación reticular del código de 17PP. Una línea de puntos representa la tasa de errores de bit que indica el rendimiento de descodificación del aparato de grabación / reproducción 351 que lleva a cabo el procedimiento de descodificación de acuerdo con la representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR1221. En la Figura 27, el número de bits de información por cada código turbo es 1.174, la proporción o tasa de codificación del código turbo es 19/20, y el número de iteraciones de codificación es 10.

Puede observarse en la Figura 27 que la relación de potencias entre señal y ruido que se permite para obtener una tasa de errores de bit de 10^{-5} es aproximadamente 10,7 (dB) en el aparato de grabación / reproducción 151 que se muestra en la Figura 5, y aproximadamente 10,2 (dB) en el aparato de grabación / reproducción 351 mostrado en la Figura 21. De esta forma, en el aparato de grabación / reproducción 351, el usuario de la representación reticular combinada del código de 17PP y el canal de PR1221 permite una ganancia de codificación mayor que aproximadamente 0,5 (dB) de la que se consigue con el aparato de grabación / reproducción 151 que utiliza la representación reticular de la codificación NRZI y del canal de PR1221, y la representación reticular del código de 17PP.

En la presente realización, como se ha descrito anteriormente, el descodificador de PR-SISO 81 y el descodificador de 17PP-SISO 181 se combinan en el bloque de señal (descodificador de 17PP-PR-SISO 371) según se muestra en la Figura 21, y el procedimiento de descodificación se lleva a cabo de acuerdo con la representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR1221. En este procedimiento de codificación, las transiciones de estado que no son permitidas en el código de 17PP no se calculan, y las transiciones de estado que son equivalentes entre sí no se calculan por duplicado. Como resultado de ello, la codificación se lleva a cabo de una manera óptima con una menor cantidad de cálculos, y el cálculo puede realizarse más fácilmente mediante hardware o software. Se consigue, de esta forma, un mejor rendimiento de descodificación que el que puede alcanzarse mediante el uso de la representación reticular del canal de PR1221 y la representación reticular del código de 17PP.

Si bien la combinación del código de 17PP y el código turbo se utiliza en el aparato de grabación / reproducción 351 que se muestra en la Figura 21, la representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR1221 puede ser también utilizada cuando se usa la combinación del código de 17PP y el código de LDPC en el aparato de grabación / reproducción 251 que se ha mostrado en la Figura 19.

En el aparato de grabación / reproducción 351 anteriormente descrito con referencia a la Figura 21, el procedimiento de grabación / reproducción que se sirve del canal de grabación / reproducción de PR 1221, se lleva a cabo en el canal de comunicación de PR 12, y el descodificador de 17PP-PR-SISO 371 lleva a cabo la descodificación de SISO de acuerdo con la representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR1221. Sin embargo, el canal de grabación / reproducción del canal de comunicación de PR 12 no está limitado al canal de PR1221. Por ejemplo, el canal de comunicación de PR 12 puede llevar a cabo un procedimiento de grabación / reproducción utilizando un canal de grabación / reproducción de PR121 (PR2). En este caso, el descodificador de 17PP-PR-SISO 371 lleva a cabo la descodificación de SISO de acuerdo con la representación reticular codificada del código de 17PP y del canal de PR121.

La representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR121 se describe en detalle, a continuación, con referencia a las Figuras 28 y 29. La representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR121 se obtiene combinando la representación reticular del código de PP, que tiene 15 estados y que se ha descrito anteriormente con referencia a las Figuras 12 y 14, y la representación reticular del canal de PR121, que tiene 4 estados (no mostrada) y que se utiliza por el descodificador de PR-SISO 81 para llevar a cabo un procedimiento de grabación / reproducción en el canal de grabación / reproducción de PR121, en el canal de comunicación de PR 12 mostrado en la Figura 5.

Las Figuras 28 y 29 muestran tablas de transiciones de estado que indican, bajo la forma de un conjunto de tablas, la representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR121. Las representaciones reticulares combinadas del código de 17PP y del canal de PR121 pueden ser también representadas de una forma similar a aquella en la que se ha representado la retícula combinada del código de 17PP y del canal de PR1221, tal y como se muestra en las Figuras 24 y 25, si bien no se proporciona aquí una descripción adicional de esta forma.

En las Figuras 28 y 29, el “estado de tiempo en curso”, la “salida de tiempo en curso”, el “estado de tiempo siguiente” y el “estado de tiempo siguiente” se describen de derecha a izquierda en cada fila. En cada “estado de tiempo en curso” y en cada “estado de tiempo siguiente”, un número situado en una posición a la izquierda indica un estado S del código de 17PP, y un número situado en una posición a la derecha indica un estado s del canal de PR121. A fin de evitar la confusión entre el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121, el estado del código de 17PP se denota por S (en letra mayúscula) y el estado del canal de PR121 se denota por s (en letra minúscula).

Más específicamente, en las tablas de transiciones de estado que se muestran en las Figuras 28 y 29 se describe que, cuando el estado en curso del código de 17PP es S0 y el estado del canal de PR121 es s1, si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 2, 2, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S1 y s0 en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida 2, 4, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser S0 y s2, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S0 y el estado del canal de PR121 es s1, si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 2, 4, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S5 y s3 en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 2, 2, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S4 y s0 en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S0 y el estado del canal de PR121 es s1, si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida 2, 4, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S3 y s3 en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 2, 4, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S10 y s2 en el tiempo siguiente.

Cuando el estado en curso del código de 17PP es S0 y el estado del canal de PR121 es s2, si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida -2, -2, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S1 y s3 en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida -2, -4, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser S0 y s1, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S0 y el estado del canal de PR121 es s2, si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida -2, -4, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S5 y s0 en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida -2, -2, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S4 y s3 en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S0 y el estado del canal de PR121 es s2, si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida -2, -4, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S3 y s0 en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida -2, -4, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S10 y s1 en el tiempo siguiente.

Cuando el estado en curso del código de 17PP es S1 y el estado del canal de PR121 es s0, si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida -4, -2, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S1 y s3 en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida -4, -4, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser S0 y s1, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S1 y el estado del canal de PR121 es s0, si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida -4, -4, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S5 y s0 en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida -4, -2, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S4 y s3 en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S1 y el estado del canal de PR121 es s0, si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida -2, 2, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S2 y s2 en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida -4, -4, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S10 y s1 en el tiempo siguiente.

Cuando el estado en curso del código de 17PP es S1 y el estado del canal de PR121 es s3, si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 4, 2, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S1 y s0 en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida 4, 4, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser S0 y s2, respectivamente, en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S1 y el estado del canal de PR121 es s3, si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 4, 4, 4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S5 y s3 en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida 4, 2, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S4 y s0 en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S1

5 Cuando el estado en curso del código de 17PP es S13 y el estado del canal de PR121 es s2, si se suministra como entrada 10, entonces se suministra como salida -2, -4, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S0 y s1 en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida -2, -4, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S5 y s0 en el tiempo siguiente. Cuando el estado en curso del código de 17PP es S13 y el estado del canal de PR121 es s2, si se suministra como entrada 11, entonces se suministra como salida -2, -4, -4, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S3 y s0 en el tiempo siguiente, o bien se suministra como salida -2, -4, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser S10 y s1, respectivamente, en el tiempo siguiente.

10 Cuando el estado en curso del código de 17PP es S14 y el estado del canal de PR121 es s0, si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida -4, -2, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S1 y s3 en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida -4, -2, 2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S4 y s3 en el tiempo siguiente.

15 Cuando el estado en curso del código de 17PP es S14 y el estado del canal de PR121 es s3, si se suministra como entrada 01, entonces se suministra como salida 4, 2, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S1 y s0 en el tiempo siguiente, pero si se suministra como entrada 00, entonces se suministra como salida 4, 2, -2, y el estado del código de 17PP y el estado del canal de PR121 pasan a ser, respectivamente, S4 y s0 en el tiempo siguiente.

20 Como se ha descrito anteriormente, la representación reticular combinada de código de 17PP y del canal de PR121 puede ser representada en la forma que incluye 30 conjuntos de estados. Si cada conjunto de estados se representa por (estado de código de 17PP, estado de canal de PR 121), los 30 conjuntos de estados aparecen en la tabla de transiciones de estado que se muestra en las Figuras 28 y 29, en el orden que se expone en lo que sigue: (S0, s1), (S0, s2), (S1, s0), (S1, s3), (S2, s1), (S2, s2), (S3, s0), (S3, s3), (S4, s0), (S4, s3), (S5, s0), (S5, s3), (S6, s0), (S6, s3), (S7, s0), (S7, s3), (S8, s0), (S8, s3), (S9, s0), (S9, s3), (S10, s1), (S10, s2), (S11, s0), (S11, s3), (S12, s0), (S12, s3), (S13, s1), (S13, s2), (S14, s0) y (S14, s3). Nótese que una pluralidad de representaciones reticulares, cada una de las cuales es similar a la que se ha descrito anteriormente, pueden conectarse o unirse en serie de una forma similar a la manera en que se han unido en serie una pluralidad de representaciones reticulares que tienen 21 estados y que se muestran en la Figura 10, de tal modo que existe una correspondencia de uno a uno, o biunívoca, entre transiciones globales dentro del procedimiento de codificación y caminos completos de la representación reticular, tal como en la representación reticular combinada que se muestra en la Figura 11. Puede llevarse a cabo fácilmente la descodificación de Viterbi o la descodificación de BCJR de acuerdo con la representación reticular conectada en serie resultante.

25 La representación reticular del código de 17PP tiene 15 estados, en tanto que la representación reticular de la codificación NRZI y del canal de PR1221 tiene 4 estados. Si la representación reticular del código de 17PP y la representación reticular del canal de PR1221 se combinan simplemente una con otra, la representación reticular resultante tiene 60 estados. Sin embargo, cuando la representación reticular del código de 17PP y la representación reticular de la codificación NRZI y del canal de PR121 se combinan, el número de estados puede reducirse a 30. En consecuencia, en este procedimiento de descodificación, al igual que con la representación reticular combinada del código de 17PP y del canal de PR1221, se consigue una gran reducción en la cantidad de cálculos. Es decir, en el presente procedimiento de descodificación, las transiciones de estado que no son permitidas en el código de 17PP no se calculan, si bien esas transiciones de estado son calculadas por el descodificador de PR-SISO 81 del aparato de grabación / reproducción 151 que se muestra en la Figura 5. Por otra parte, se evitan los cálculos duplicados de las transiciones de estado que son equivalentes entre sí. Como resultado de ello, la descodificación se lleva a cabo de una manera óptima con una menor cantidad de cálculos, y el cálculo puede realizarse más fácilmente mediante hardware o software. Se consigue, por lo demás, una mejora en el rendimiento de la descodificación.

35 En la realización que se ha descrito en lo anterior, cada descodificador determina una representación reticular cuando se lleva a cabo la descodificación de SISO. Alternativamente, la representación reticular puede ser determinada por adelantado, y la descodificación de SISO puede llevarse a cabo utilizando la representación reticular predeterminada.

40 En las realizaciones descritas anteriormente, se ha supuesto que la codificación y la descodificación se realizan en un aparato de grabación / reproducción. Sin embargo, la codificación y la descodificación de acuerdo con la presente invención no están limitadas al procedimiento de grabación / reproducción. La presente invención puede también aplicarse a la codificación y la descodificación llevadas a cabo en un sistema de transmisión en el que una señal codificada es transmitida a través de una red.

45 Los procedimientos anteriormente descritos pueden llevarse a cabo por medio de hardware o software. En el caso de que el procedimiento se lleve a cabo mediante software, el aparato de grabación / reproducción 151 que se ha mostrado en la Figura 5, el aparato de grabación / reproducción 251 mostrado en la Figura 19, el aparato de

grabación / reproducción 301 que se ha mostrado en la Figura 20 y el aparato de grabación / reproducción 351 mostrado en la Figura 21, pueden realizarse, cada uno de ellos, por ejemplo, en la forma de un aparato de grabación / reproducción 401 tal como el que se muestra en la Figura 30.

5 Como se muestra en la Figura 30, una CPU (Unidad Central de Procesamiento –“Central Processing Unit”) 411 lleva a cabo diversos procedimientos de acuerdo con un programa almacenado en una ROM (memoria de solo lectura – “Read Only Memory”) 412 o de acuerdo con un programa cargado en una RAM (memoria de acceso aleatorio – “Random Access Memory”) 413, desde una unidad de almacenamiento 418. La RAM 413 también se utiliza para almacenar datos que son necesarios para que la CPU 411 lleve a cabo los procedimientos.

10 La CPU 411, la ROM 412 y la RAM 413 están conectadas entre sí a través de un bus 414. El bus 414 está también conectado a una interfaz de entrada / salida 415.

15 La interfaz de entrada / salida 415 está conectada a una unidad de entrada 416 que incluye un teclado, un ratón y/o elementos similares, una unidad de salida 417 que incluye un dispositivo de presentación visual tal como un CRT (tubo de rayos catódicos –“Cathode Ray Tube”) o un LCD (dispositivo de presentación visual de cristal líquido – “Liquid Crystal Display”), un altavoz y/o elementos similares, la unidad de almacenamiento 418, tal como un disco duro, así como una unidad de comunicación 419 que incluye un modulador-desmodulador o módem, un adaptador de terminal y/o elementos similares. La unidad de comunicación 419 hace posible la comunicación por redes (no mostradas).

20 La interfaz de entrada / salida 415 está también conectada a un dispositivo de accionamiento 420, según se requiera. Un medio de almacenamiento tal como un disco magnético 421, un disco óptico 422 un disco magneto-óptico 423, o una memoria de semiconductor 424, está montado en el dispositivo de accionamiento 420, según se requiera, y un programa informático se lee desde el medio de almacenamiento y se instala en la unidad de almacenamiento 418, según se requiera.

25 Cuando la secuencia de tratamiento es ejecutada por software, un programa que constituye el software puede ser instalado desde un medio de almacenamiento o a través de una red, en una computadora, la cual se proporciona como hardware dedicado, o de uso exclusivo, o bien puede instalarse en una computadora de propósito general capaz de llevar a cabo diversos procedimientos de acuerdo con los diversos programas instalados en ella.

30 Ejemplos específicos de medios de almacenamiento susceptibles de utilizarse para el propósito anterior incluyen, como se muestra en la Figura 30, un disco magnético 421 (tal como un disco flexible), un disco óptico 422 (tal como un DVD (Disco Versátil Digital –“Digital Versatile Disk”), un disco magneto-óptico 423 (tal como un MD (Mini-Disk, marca comercial)), y una memoria de semiconductor 424, en forma de un medio de empaquetamiento en el que se almacena un programa y que se suministra a un usuario por separado de una computadora. Puede suministrarse también un programa a un usuario mediante la preinstalación de este en una ROM 412 incorporada o en una unidad de almacenamiento 418 tal como un disco duro instalado dentro de la computadora.

35 Una secuencia de etapas de tratamiento anteriormente descritas puede, o no, llevarse a cabo de manera secuencial en el tiempo, en el mismo orden que el orden en que se han descrito anteriormente las etapas. Por ejemplo, pueden llevarse a cabo etapas de forma paralela o de forma independiente.

40 Aplicabilidad industrial

45 De acuerdo con la presente invención, es posible llevar a cabo una decodificación de SISO sobre un código de modulación codificado de acuerdo con una tabla de longitud variable, y se consigue una mejora en el rendimiento de la decodificación. Por otra parte, de acuerdo con la presente invención, es posible utilizar una combinación de un código de modulación basado en una tabla de longitud variable y un código turbo o un código de LDPC, lo que permite una mejora en el rendimiento de la codificación.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un aparato de descodificación (162) destinado a descodificar un código de modulación limitado en longitud de marcha, el cual puede ser codificado de acuerdo con una tabla de codificación, de tal manera que dicho aparato de descodificación (162) comprende medios de introducción (81) de código, destinados a introducir el código de modulación, y medios de descodificación (181), destinados a descodificar el código de modulación introducido a través de los medios de introducción (81) de código, de tal modo que dicha tabla de codificación es una tabla de longitud variable (201) en la que las longitudes de bits de entrada son variables, y dicho aparato está **caracterizado por que**
- dichos medios de descodificación están configurados para descodificar el código de modulación basándose en una pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación, cada una de las cuales representa todas las transiciones posibles que pueden producirse en un tiempo presente o en curso para cada estado y para cada conjunto de posibles bits de entrada de tiempo en curso, de tal manera que dicha pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación están conectadas o unidas en serie a una única representación reticular que incluye todas las transiciones desde el comienzo hasta el final del procedimiento de codificación del código de modulación, de acuerdo con la tabla de longitud variable (201), por recorridos o caminos correspondientes, de una manera biunívoca, a transiciones de estado globales dentro de dicho procedimiento de codificación, de tal manera que cada una de la pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación es tal, que, en un cierto estado, existen una pluralidad de transiciones para el mismo conjunto de bits de entrada de tiempo presente o en curso.
- 2.- Un aparato de descodificación de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el código de modulación es un código de modulación de 17PP (Preservación de Paridad / Prohibición de Longitud de Marcha de Transición Mínima Repetida).
- 3.- Un aparato de descodificación de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual los medios de descodificación llevan a cabo la descodificación utilizando una entrada de almacenamiento como software.
- 4.- Un aparato de descodificación de acuerdo con la reivindicación 3, en el cual los medios de descodificación llevan a cabo la descodificación utilizando un algoritmo de Viterbi con decisión de almacenamiento como software.
- 5.- Un aparato de descodificación de acuerdo con la reivindicación 3, en el cual los medios de descodificación llevan a cabo una descodificación de salida de almacenamiento como software.
- 6.- Un aparato de descodificación de acuerdo con la reivindicación 5, en el cual los medios de descodificación llevan a cabo la descodificación utilizando un algoritmo de BCJR (Bahl-Cocke-Jeinek-Raviv).
- 7.- Un aparato de descodificación de acuerdo con la reivindicación 5, en el cual los medios de descodificación llevan a cabo la descodificación utilizando un SOVA (algoritmo de Viterbi de salida de almacenamiento como software).
- 8.- Un aparato de descodificación de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual los medios de introducción de código introducen un código de modulación ecualizado en PR (Respuesta Parcial); y los medios de descodificación descodifican el código de modulación de acuerdo con una retícula combinada obtenida mediante la combinación de una retícula de PR y una retícula de código de modulación.
- 9.- Un método de descodificación para descodificar un código de modulación limitado en longitud de marcha, el cual puede ser codificado de acuerdo con una tabla de codificación, de tal manera que dicho método comprende las etapas de:
- suministrar como entrada el código de modulación; y
 descodificar la entrada del código de modulación en la etapa de suministrar como entrada el código, de tal manera que dicha tabla de codificación es una tabla de longitud variable (201) en la que las longitudes de bits de entrada son variables, estando el método **caracterizado por** las etapas de:
- descodificar el código de modulación basándose en una pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación, cada una de las cuales representa todas las transiciones posibles que pueden producirse en un tiempo presente o en curso para cada estado y para cada conjunto de bits de entrada de tiempo en curso posibles, de tal manera que dicha pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación se conecta o une en serie a una única representación reticular que incluye todas las transiciones desde el comienzo hasta el final del procedimiento de codificación del código de modulación, de acuerdo con la tabla de longitud variable (201), por recorridos o caminos correspondientes, de una manera biunívoca, a transiciones de estado globales dentro de dicho procedimiento de codificación, de tal manera que cada una de la pluralidad de representaciones

reticulares de código de modulación es tal, que, en un cierto estado, existen una pluralidad de transiciones para el mismo conjunto de bits de entrada de tiempo presente o en curso.

5 10.- Un medio de almacenamiento de programa que incluye un programa almacenado en su interior para hacer que una computadora lleve a cabo un procedimiento de descodificación para descodificar un código de modulación limitado en longitud de marcha que puede ser codificado de acuerdo con una tabla de codificación, de tal manera que el programa comprende las etapas de:

10 suministrar como entrada el código de modulación; y
 descodificar la entrada del código de modulación en la etapa de suministrar como entrada el código, de tal manera que dicha tabla de codificación es una tabla de longitud variable (201) en la que las longitudes de bits de entrada son variables, estando el método
caracterizado por las etapas de:

15 descodificar el código de modulación basándose en una pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación, cada una de las cuales representa todas las transiciones posibles que pueden producirse en un tiempo presente o en curso para cada estado y para cada conjunto de bits de entrada de tiempo en curso posibles, de tal manera que dicha pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación se conecta o une en serie a una única representación reticular que incluye todas
 20 las transiciones desde el comienzo hasta el final del procedimiento de codificación del código de modulación, de acuerdo con la tabla de longitud variable (201), por recorridos o caminos correspondientes, de una manera biunívoca, a transiciones de estado globales dentro de dicho procedimiento de codificación, de tal manera que cada una de la pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación es tal, que, en un cierto estado, existen una pluralidad de
 25 transiciones para el mismo conjunto de bits de entrada de tiempo presente o en curso.

11.- Un programa para hacer que una computadora lleve a cabo un procedimiento de descodificación para descodificar un código de modulación limitado en longitud de marcha que puede ser codificado de acuerdo con una tabla de codificación, de tal manera que dicho programa comprende las etapas de:

30 suministrar como entrada el código de modulación; y
 descodificar la entrada del código de modulación en la etapa de suministrar como entrada el código, de tal manera que dicha tabla de codificación es una tabla de longitud variable (201) en la que las longitudes de bits de entrada son variables, estando el método
 35 **caracterizado por** las etapas de:

40 descodificar el código de modulación basándose en una pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación, cada una de las cuales representa todas las transiciones posibles que pueden producirse en un tiempo presente o en curso para cada estado y para cada conjunto de bits de entrada de tiempo en curso posibles, de tal manera que dicha pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación se conecta o une en serie a una única representación reticular que incluye todas las transiciones desde el comienzo hasta el final del procedimiento de codificación del código de modulación, de acuerdo con la tabla de longitud variable (201), por recorridos o caminos correspondientes, de una manera biunívoca, a transiciones de estado globales dentro de dicho procedimiento de codificación, de tal manera que cada una de la pluralidad de representaciones reticulares de código de modulación es tal, que, en un cierto estado, existen una pluralidad de
 45 transiciones para el mismo conjunto de bits de entrada de tiempo presente o en curso.

FIG. 1

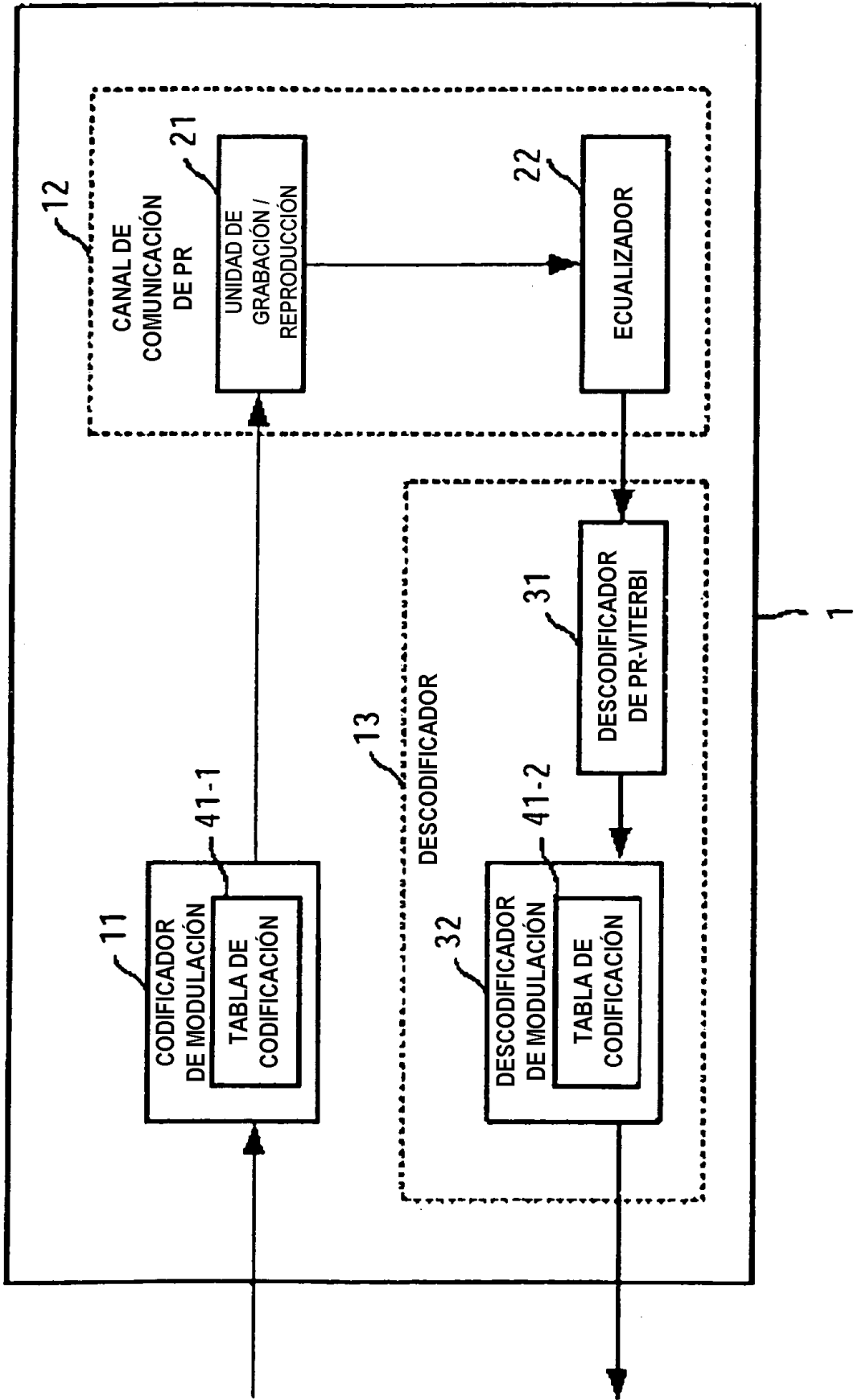


FIG. 2

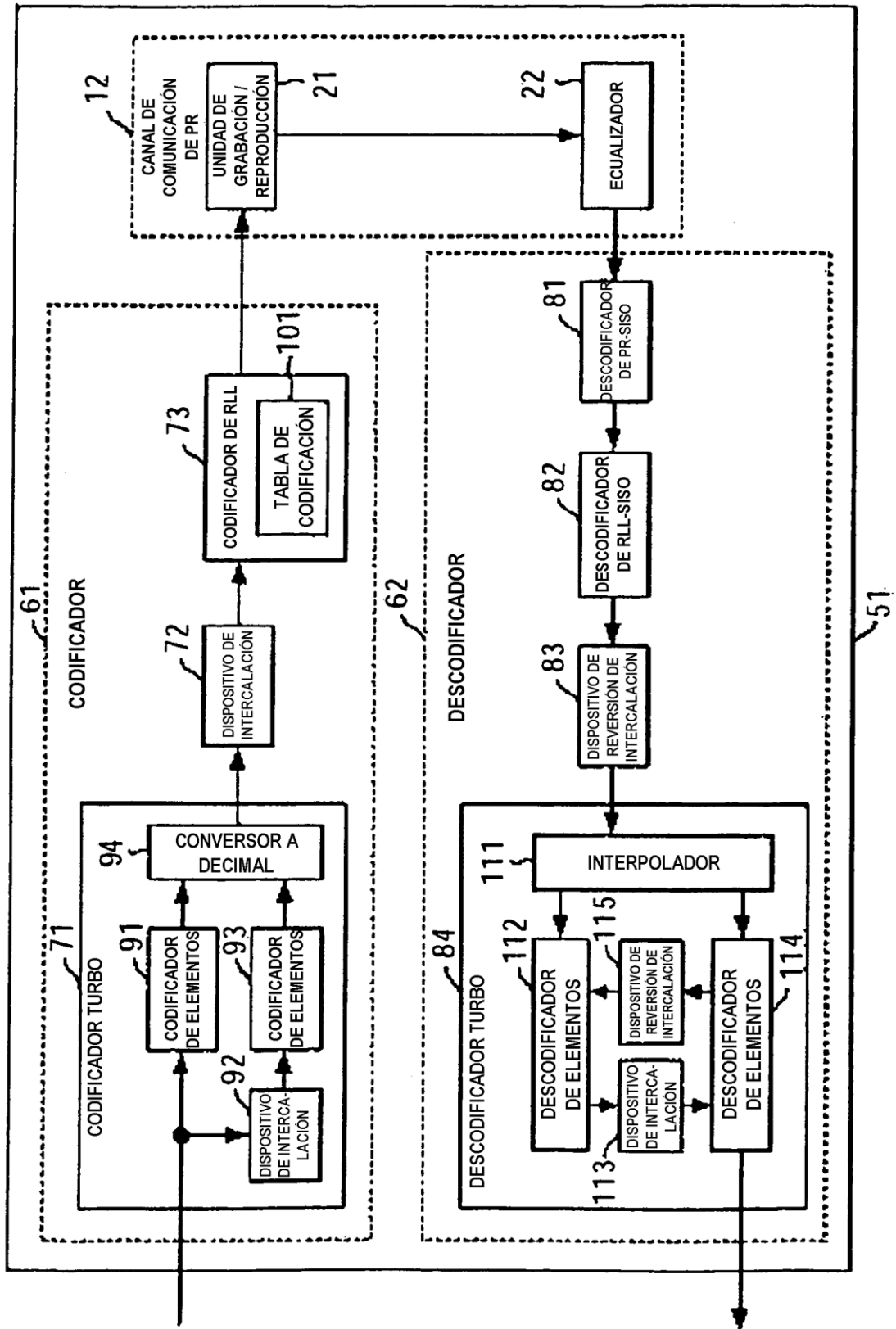


FIG. 3

ESTADO DE TIEMPO PREVIO	SALIDA DE TIEMPO PREVIO	ENTRADA DE TIEMPO PREVIO	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO EN CURSO
S0	0	00	001	00	S4
	0	00	001	01	S5
	0	00	000	10	S2
	0	00	000	11	S3
S1	0	01	001	00	S4
	0	01	001	01	S5
	0	01	000	10	S2
	0	01	000	11	S3
S2	0	10	101	00	S4
	0	10	101	01	S5
	0	10	010	10	S2
	0	10	010	11	S3
S3	0	11	010	00	S0
	0	11	100	01	S1
	0	11	100	10	S2
	0	11	100	11	S3
S4	1	00	001	00	S4
	1	00	001	01	S5
	1	00	010	10	S2
	1	00	010	11	S3
S5	1	01	010	00	S0
	1	01	000	01	S1
	1	01	000	10	S2
	1	01	000	11	S3

FIG. 4

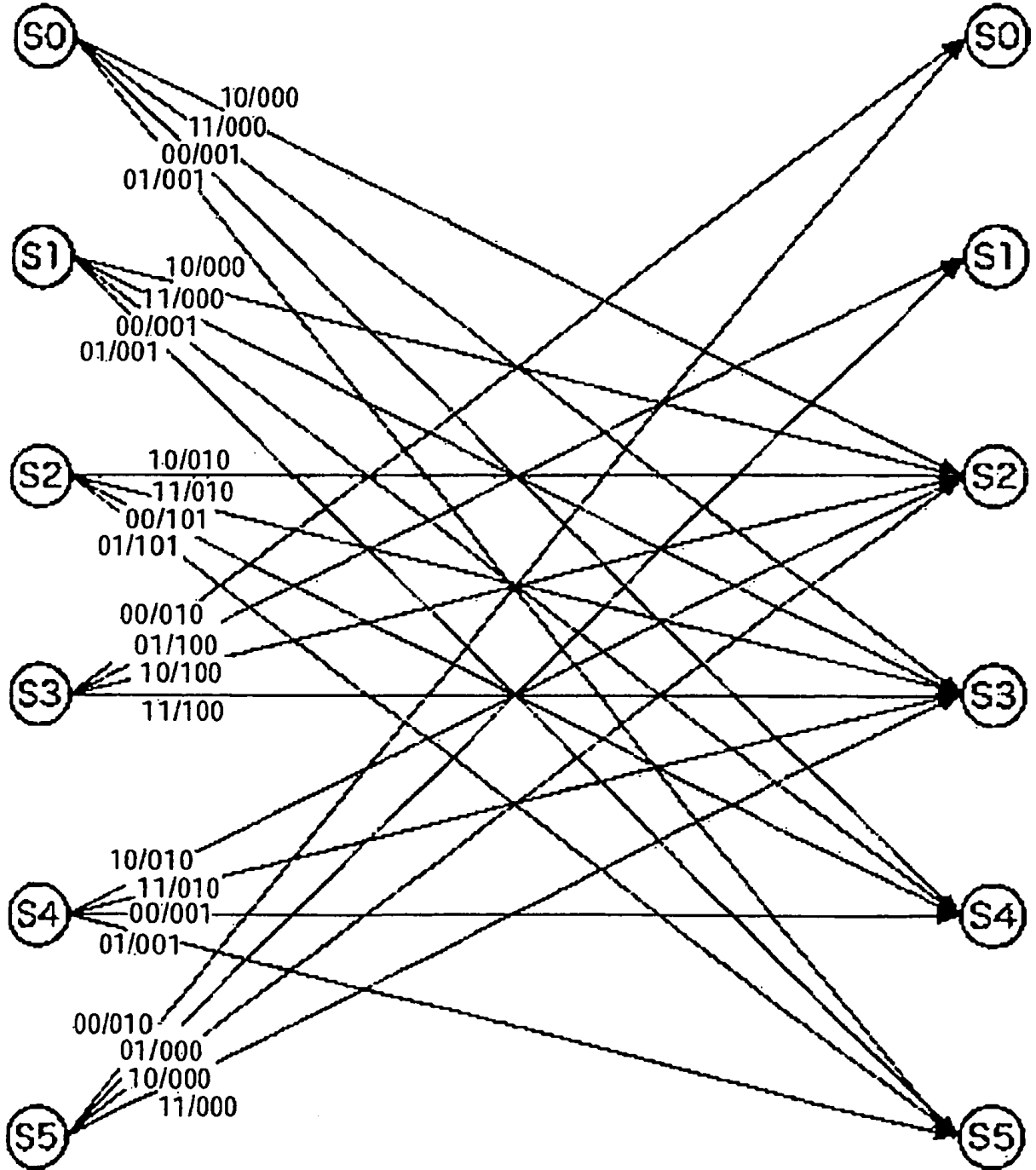


FIG. 5

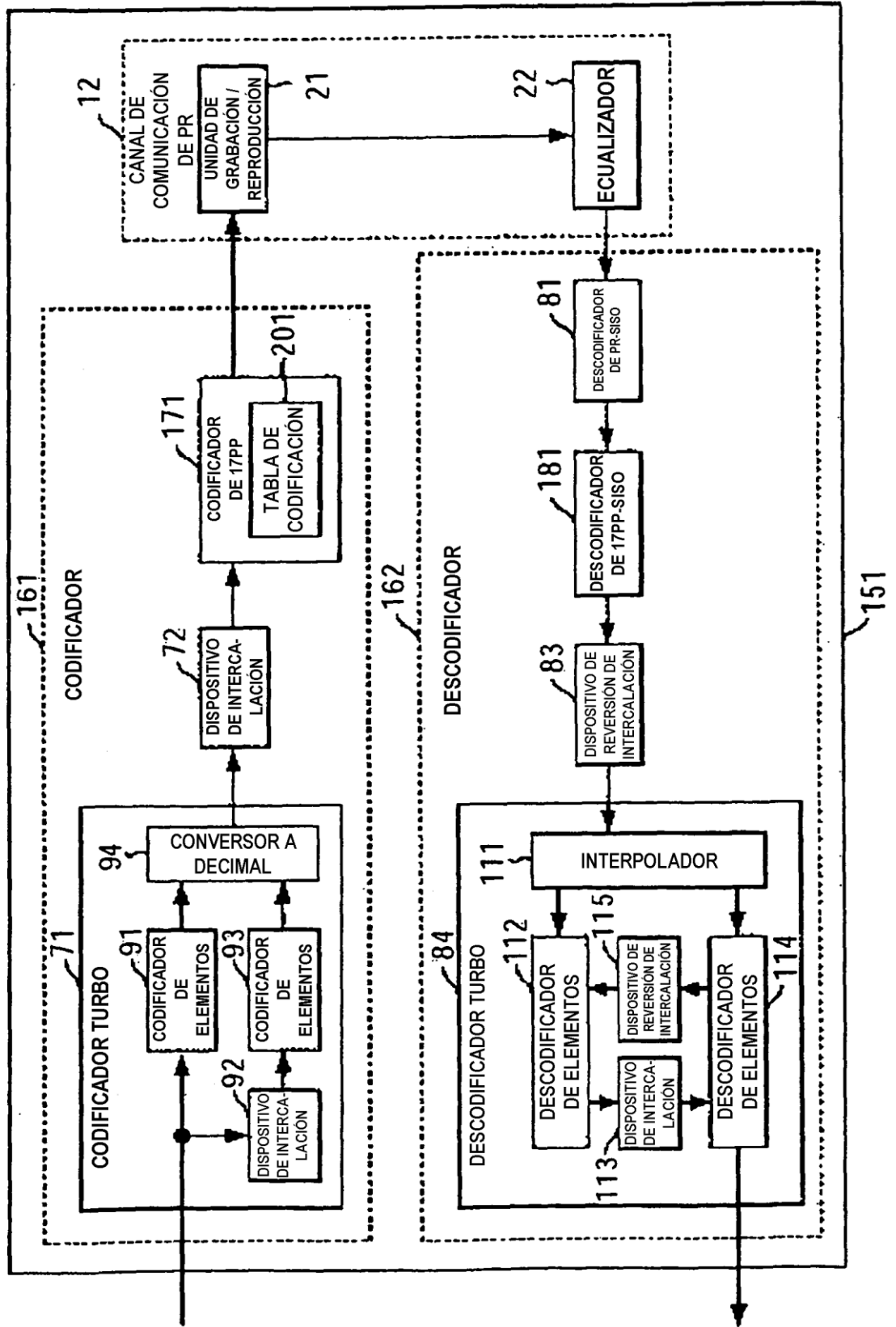


FIG. 6

CADENA DE BITS DE ENTRADA	CADENA DE BITS DE SALIDA	CONDICIÓN
00 00 00 00	010 100 100 100	
00 00 10 00	000 100 100 100	
00 00 00	010 100 000	
00 00 01	010 100 100	
00 00 10	000 100 000	
00 00 11	000 100 100	
00 01	000 100	
00 10	010 000	
00 11	010 100	
01	010	
10	001	
11	000 101	SALIDA DE TIEMPO PREVIO FINAL = 1 SALIDA DE TIEMPO PREVIO FINAL = 0

CADENA DE BITS DE ENTRADA QUE SE HA DE REEMPLAZAR	CADENA DE BITS SUMINISTRADA COMO SALIDA COMO RESULTADO DEL REEMPLAZO	CONDICIÓN PARA EL REEMPLAZO
11 01 11	001 000 000	CADENA DE BITS DE SALIDA DE TIEMPO SIGUIENTE = 010

201

FIG. 7

ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO
S0	01	S1	010
S0	10	S0	001
S0	00	S4	000
S0	00	S5	010
S0	00	S8	010
S0	00	S6	010
S0	00	S9	000
S0	00	S7	000
S0	11	S3	000
S0	11	S16	001
S1	01	S1	010
S1	10	S0	001
S1	00	S4	000
S1	00	S5	010
S1	00	S8	010
S1	00	S6	010
S1	00	S9	000
S1	00	S7	000
S1	11	S2	101
S1	11	S16	001
S2	01	S17	010
S2	10	S0	001
S2	00	S4	000
S2	00	S5	010
S2	00	S8	010
S2	00	S6	010
S2	00	S9	000
S2	00	S7	000
S2	11	S3	000
S2	11	S16	001

FIG. 8

ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO
S3	01	S17	010
S3	10	S0	001
S3	00	S4	000
S3	00	S5	010
S3	00	S8	010
S3	00	S6	010
S3	00	S9	000
S3	00	S7	000
S3	11	S2	101
S3	11	S16	001
S4	01	S1	100
S5	10	S1	000
S5	11	S1	100
S6	00	S10	100
S7	00	S11	100
S8	00	S12	100
S9	00	S13	100
S10	01	S1	100
S11	11	S1	100
S12	00	S14	100
S12	00	S15	000
S13	10	S14	100
S13	10	S15	000
S14	00	S1	100
S15	01	S1	010
S15	10	S0	001
S15	11	S2	101
S15	11	S16	001
S16	01	S18	000

FIG. 9

ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO CURSO	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO
S17	01	S1	010
S17	10	S0	001
S17	11	S19	101
S17	00	S4	000
S17	00	S5	010
S17	00	S8	010
S17	00	S6	010
S17	00	S9	000
S17	00	S7	000
S18	11	S20	000
S19	10	S0	001
S19	00	S4	000
S19	00	S9	000
S19	00	S7	000
S19	11	S3	000
S19	11	S16	001
S20	01	S1	010
S20	00	S5	010
S20	00	S8	010
S20	00	S6	010

FIG. 10

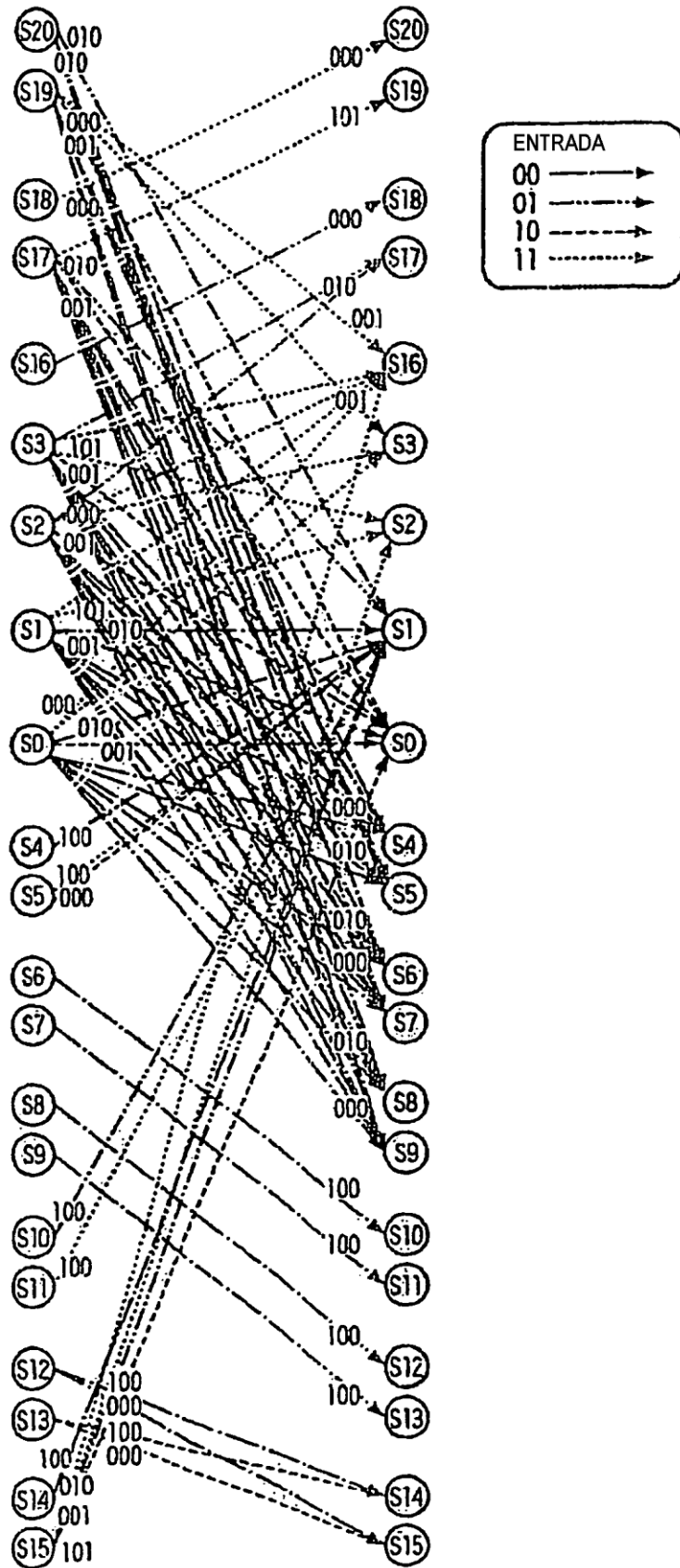


FIG. 11

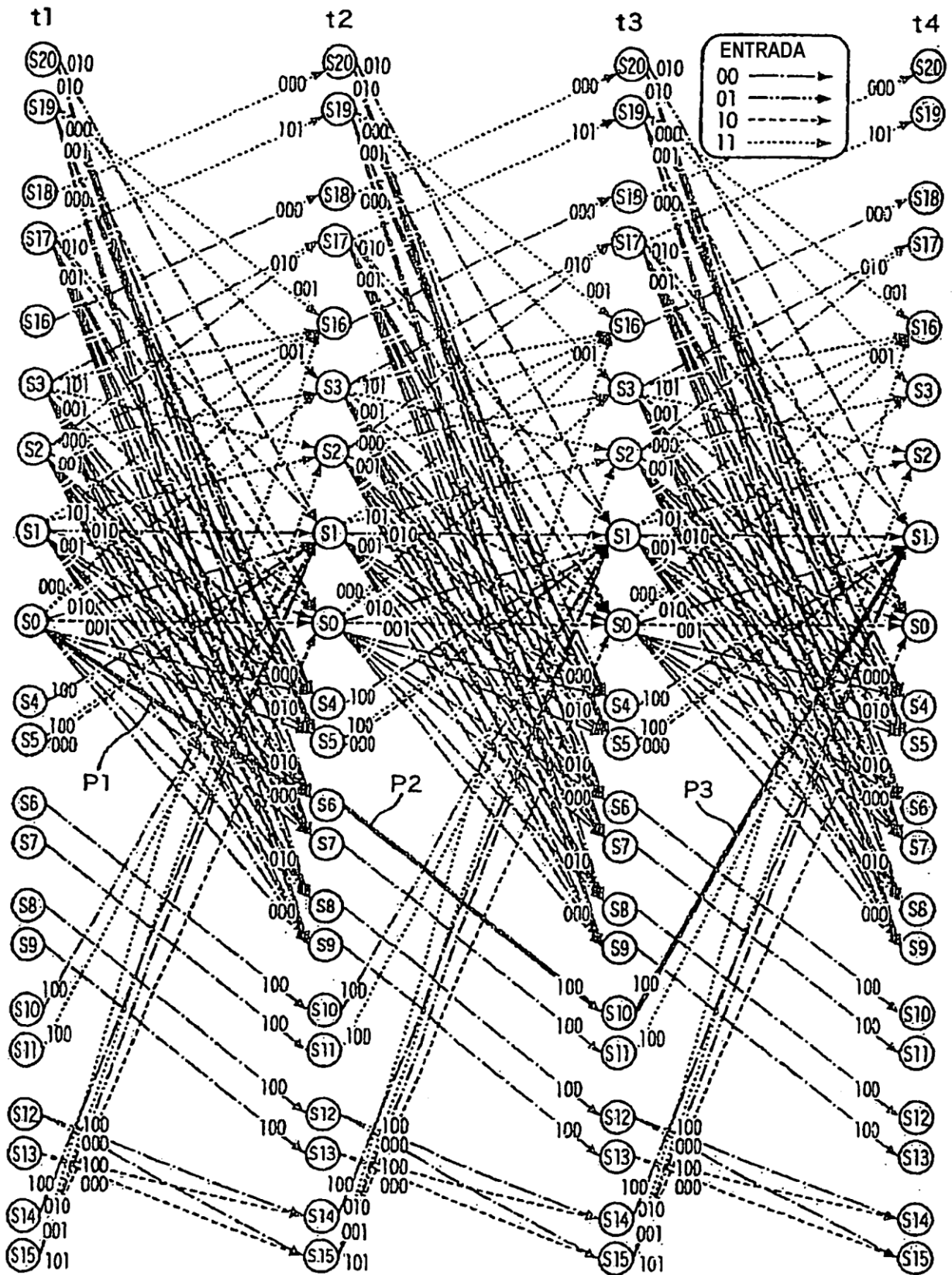


FIG. 12

ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO
S0	01	S1	010
S0	10	S0	001
S0	00	S5	000
S0	00	S4	010
S0	11	S3	000
S0	11	S10	001
S1	01	S1	010
S1	10	S0	001
S1	00	S5	000
S1	00	S4	010
S1	11	S2	101
S1	11	S10	001
S2	01	S11	010
S2	10	S0	001
S2	00	S5	000
S2	00	S4	010
S2	11	S3	000
S2	11	S10	001
S3	01	S11	010
S3	10	S0	001
S3	00	S5	000
S3	00	S4	010
S3	11	S2	101
S3	11	S10	001
S4	00	S6	100
S4	10	S1	000
S4	11	S1	100

FIG. 13

ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO
S5	00	S7	100
S5	01	S1	100
S6	01	S1	100
S6	00	S8	100
S6	00	S9	000
S7	11	S1	100
S7	10	S8	100
S7	10	S9	000
S8	00	S1	100
S9	01	S1	010
S9	10	S0	001
S9	11	S2	101
S9	11	S10	001
S10	01	S12	000
S11	01	S1	010
S11	10	S0	001
S11	11	S13	101
S11	00	S5	000
S11	00	S4	010
S12	11	S14	000
S13	10	S0	001
S13	00	S5	000
S13	11	S3	000
S13	11	S10	001
S14	01	S1	010
S14	00	S4	010

FIG. 14

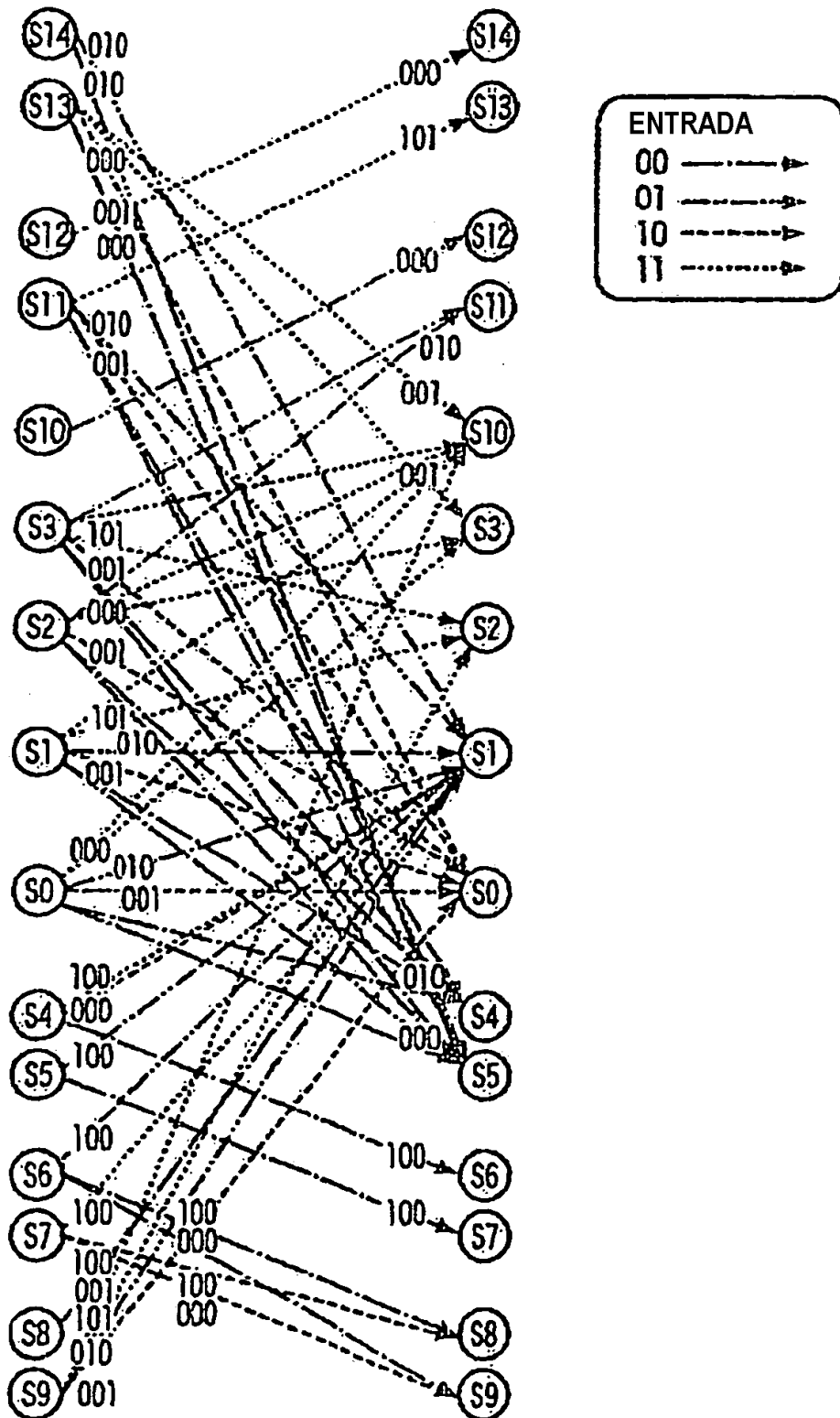


FIG. 15

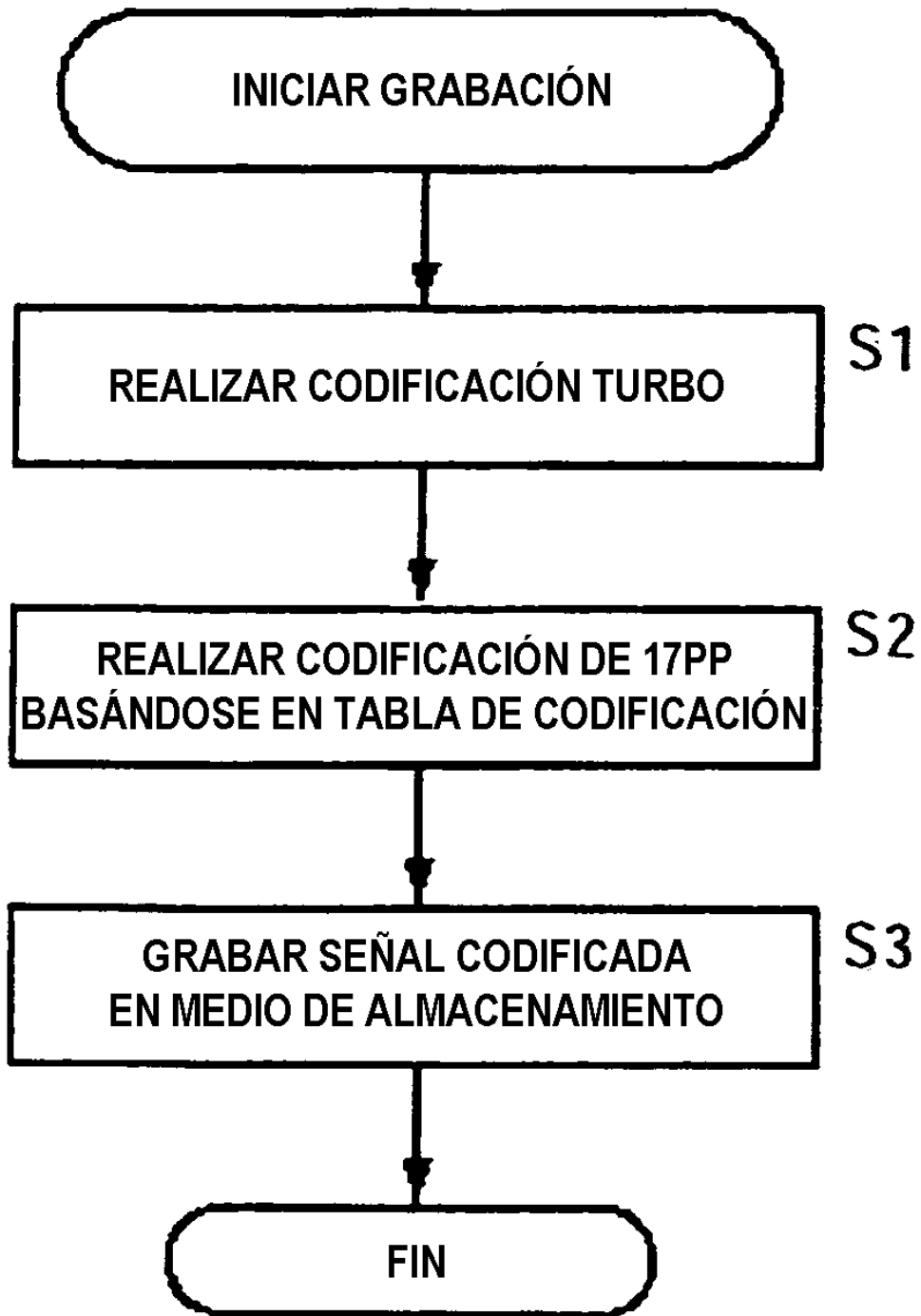


FIG. 16

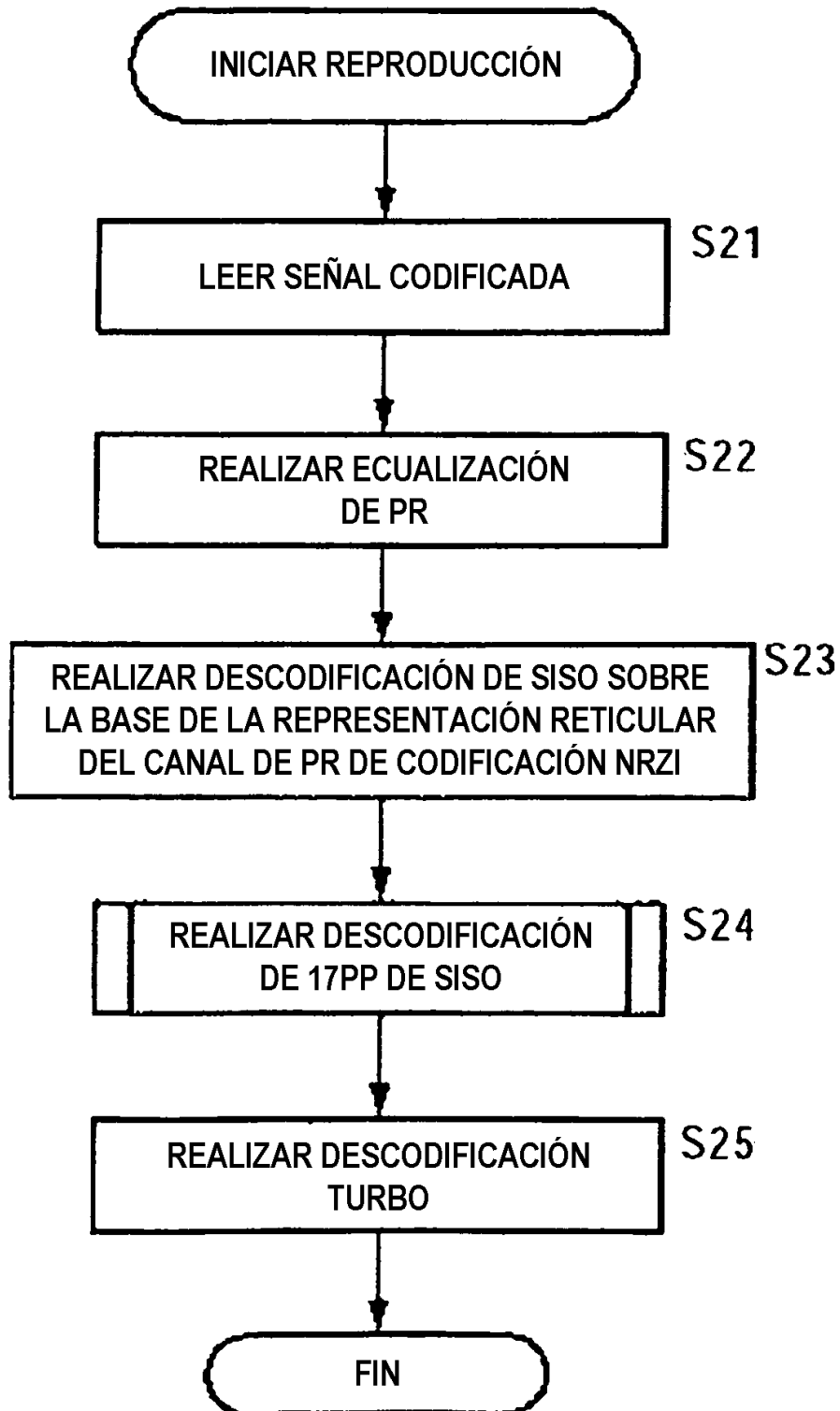


FIG. 17

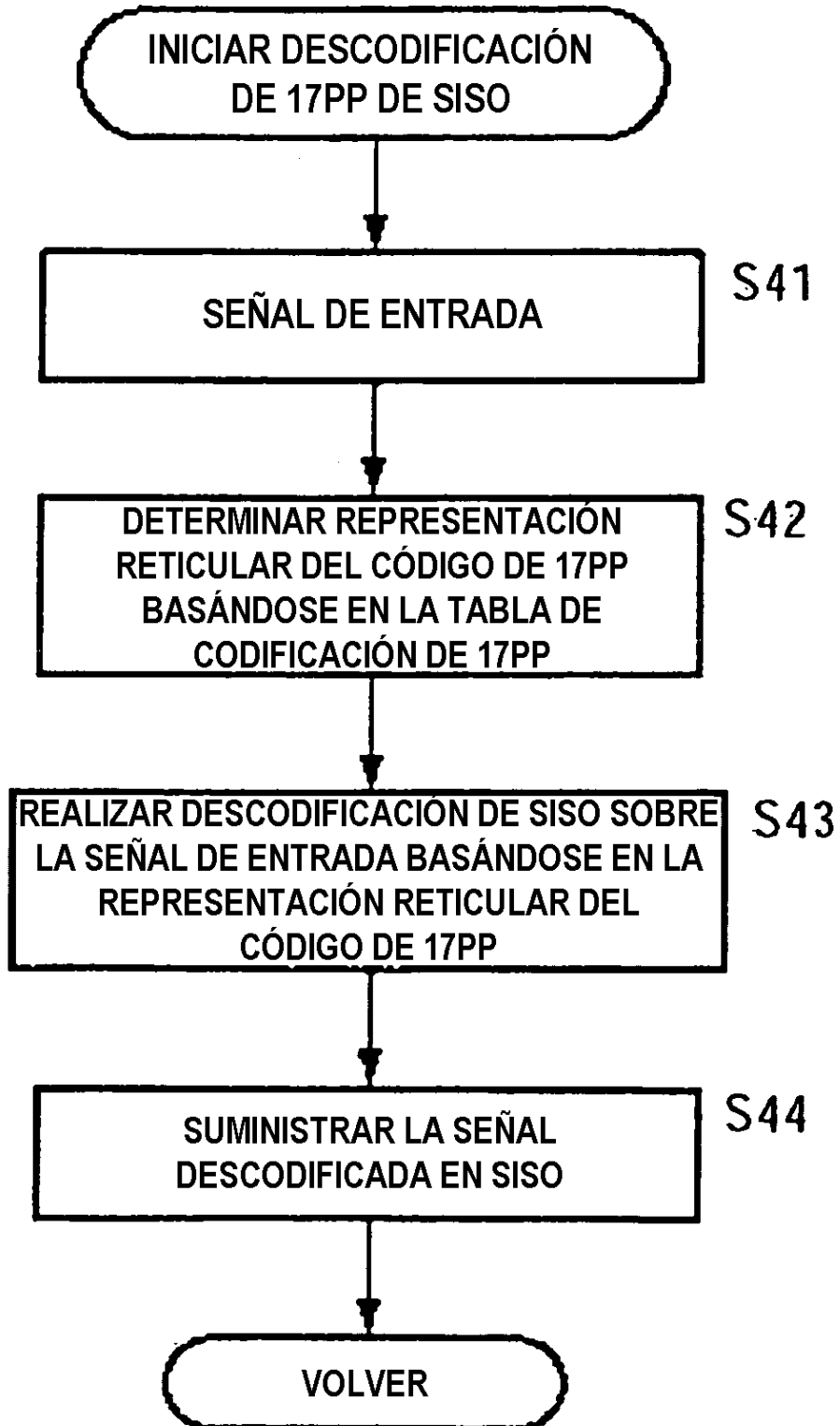


FIG. 18

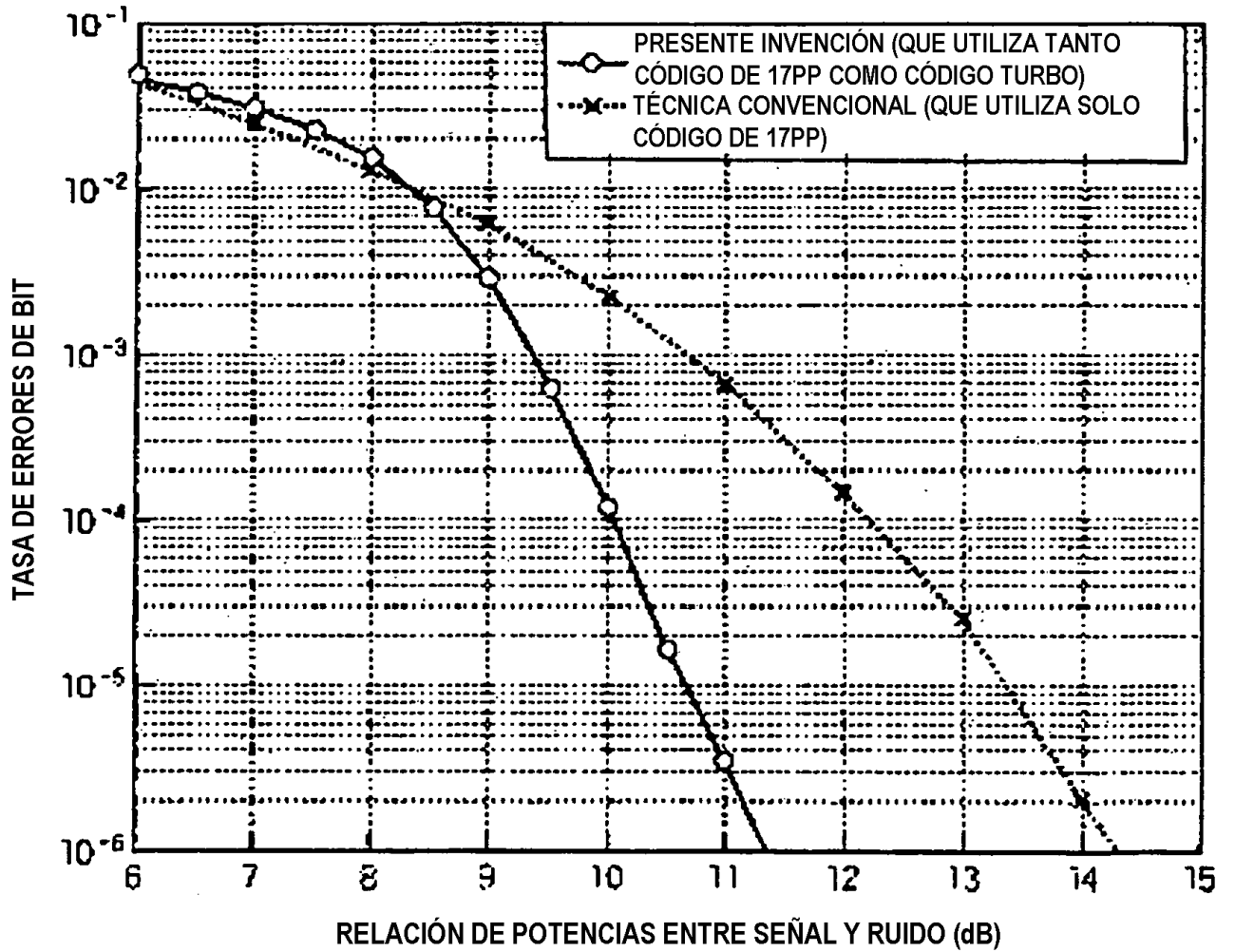


FIG. 19

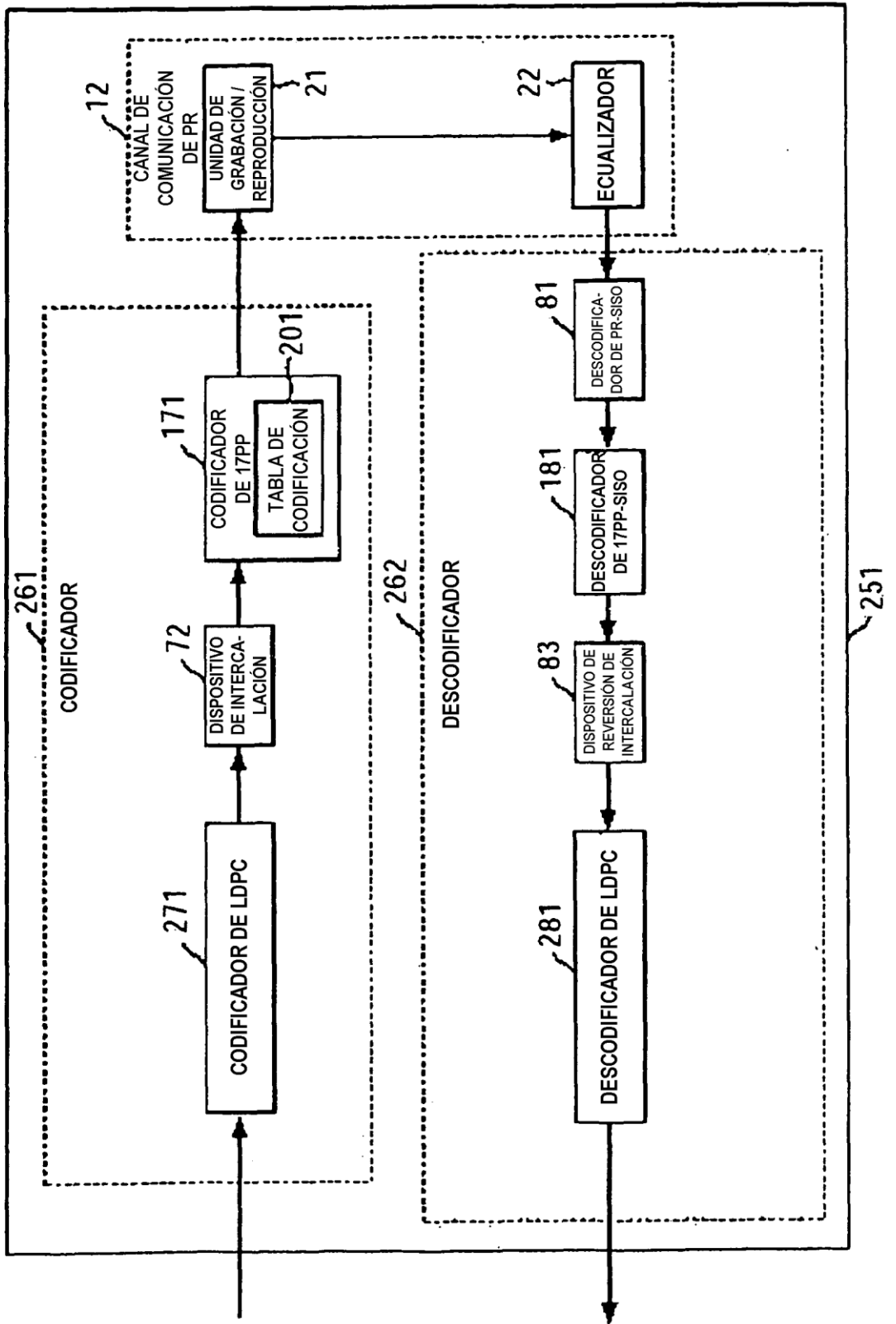


FIG. 20

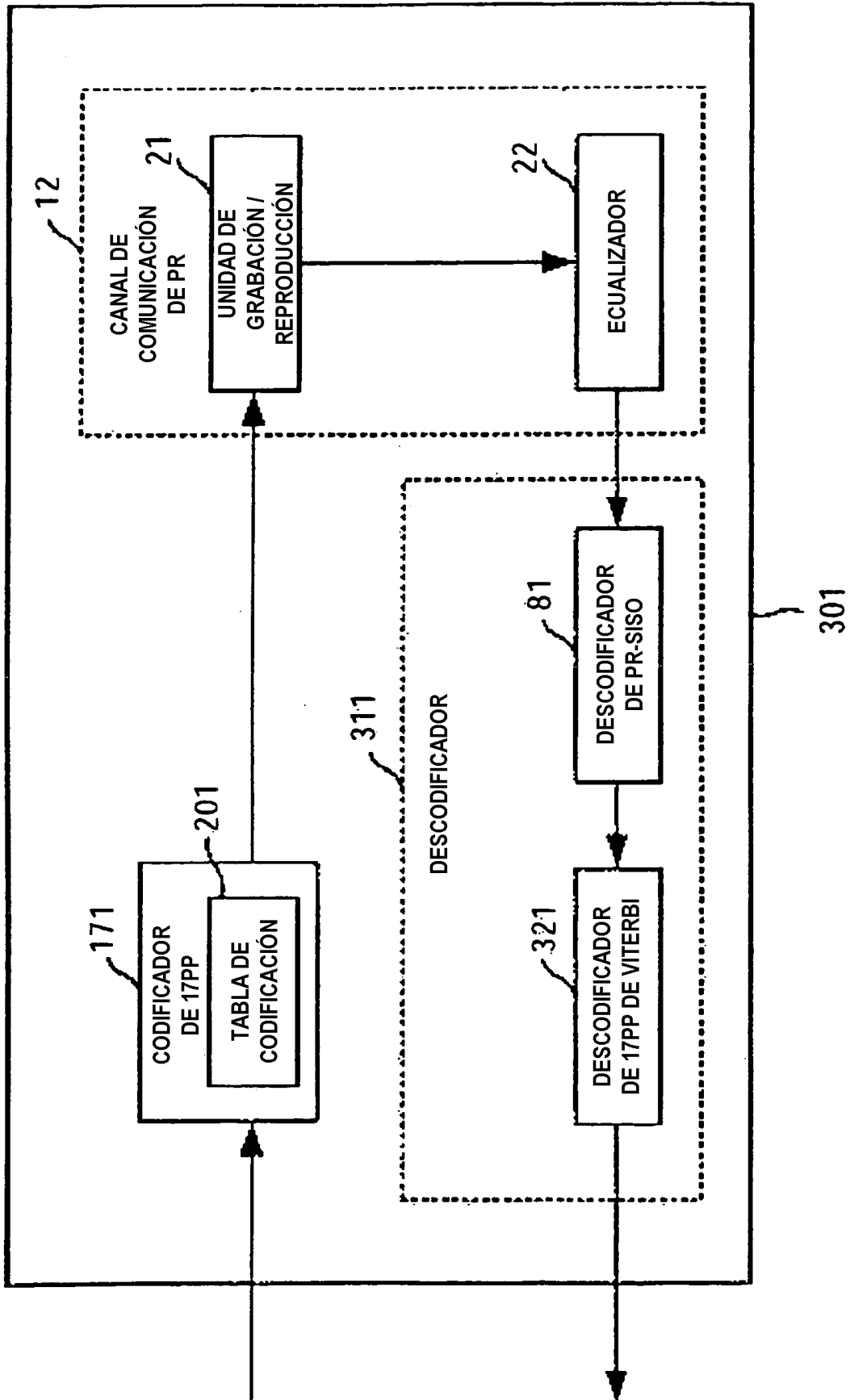


FIG. 21

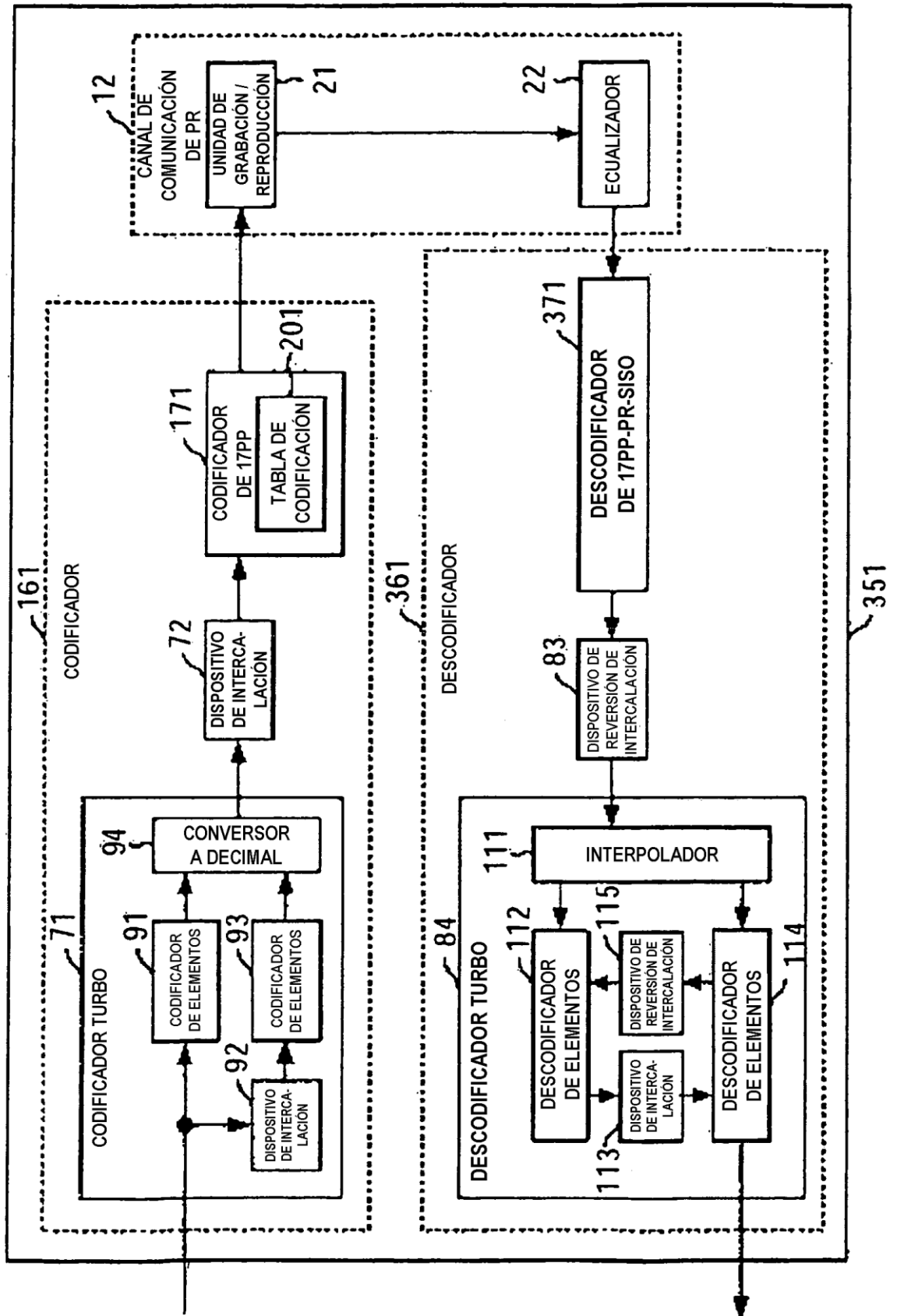


FIG. 22

ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO SIGUIENTE
(0, 1)	01	(1, 3)	0,2,0	(1, 5)	01	(1, 3)	6,4,0
(0, 1)	10	(0, 4)	0,4,4	(1, 5)	10	(0, 4)	6,6,4
(0, 1)	00	(5, 5)	0,4,6	(1, 5)	00	(5, 5)	6,6,6
(0, 1)	00	(4, 3)	0,2,0	(1, 5)	00	(4, 3)	6,4,0
(0, 1)	11	(3, 5)	0,4,6	(1, 5)	11	(2, 1)	4,0,-2
(0, 1)	11	(10, 4)	0,4,4	(1, 5)	11	(10, 4)	6,6,4
(0, 4)	01	(1, 2)	0,-2,0	(2, 1)	01	(11, 3)	0,2,0
(0, 4)	10	(0, 1)	0,-4,-4	(2, 1)	10	(0, 4)	0,4,4
(0, 4)	00	(5, 0)	0,-4,-6	(2, 1)	00	(5, 5)	0,4,6
(0, 4)	00	(4, 2)	0,-2,0	(2, 1)	00	(4, 3)	0,2,0
(0, 4)	11	(3, 0)	0,-4,-6	(2, 1)	11	(3, 5)	0,4,6
(0, 4)	11	(10, 1)	0,-4,-4	(2, 1)	11	(10, 4)	0,4,4
(1, 0)	01	(1, 2)	-6,-4,0	(2, 4)	01	(11, 2)	0,-2,0
(1, 0)	10	(0, 1)	-6,-6,-4	(2, 4)	10	(0, 1)	0,-4,-4
(1, 0)	00	(5, 0)	-6,-6,-6	(2, 4)	00	(5, 0)	0,-4,-6
(1, 0)	00	(4, 2)	-6,-4,0	(2, 4)	00	(4, 2)	0,-2,0
(1, 0)	11	(2, 4)	-4,0,2	(2, 4)	11	(3, 0)	0,-4,-6
(1, 0)	11	(10, 1)	-6,-6,-4	(2, 4)	11	(10, 1)	0,-4,-4
(1, 2)	01	(1, 3)	4,4,0	(3, 0)	01	(11, 2)	-6,-4,0
(1, 2)	10	(0, 4)	4,6,4	(3, 0)	10	(0, 1)	-6,-6,-4
(1, 2)	00	(5, 5)	4,6,6	(3, 0)	00	(5, 0)	-6,-6,-6
(1, 2)	00	(4, 3)	4,4,0	(3, 0)	00	(4, 2)	-6,-4,0
(1, 2)	11	(2, 1)	2,0,-2	(3, 0)	11	(2, 4)	-4,0,2
(1, 2)	11	(10, 4)	4,6,4	(3, 0)	11	(10, 1)	-6,-6,-4
(1, 3)	01	(1, 2)	-4,-4,0	(3, 5)	01	(11, 3)	6,4,0
(1, 3)	10	(0, 1)	-4,-6,-4	(3, 5)	10	(0, 4)	6,6,4
(1, 3)	00	(5, 0)	-4,-6,-6	(3, 5)	00	(5, 5)	6,6,6
(1, 3)	00	(4, 2)	-4,-4,0	(3, 5)	00	(4, 3)	6,4,0
(1, 3)	11	(2, 4)	-2,0,2	(3, 5)	11	(2, 1)	4,0,-2
(1, 3)	11	(10, 1)	-4,-6,-4	(3, 5)	11	(10, 4)	6,6,4

FIG. 23

ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO
(4, 2)	00	(6, 0)	2,0,-4	(9, 5)	10	(0, 4)	6,6,4
(4, 2)	10	(1, 5)	4,6,6	(9, 5)	11	(2, 1)	4,0,-2
(4, 2)	11	(1, 0)	2,0,-4	(9, 5)	11	(10, 4)	6,6,4
(4, 3)	00	(6, 5)	-2,0,4	(10, 1)	01	(12, 5)	0,4,6
(4, 3)	10	(1, 0)	-4,-6,-6	(10, 4)	01	(12, 0)	0,-4,-6
(4, 3)	11	(1, 5)	-2,0,4	(11, 2)	01	(1, 3)	4,4,0
(5, 0)	00	(7, 5)	-4,0,4	(11, 2)	10	(0, 4)	4,6,4
(5, 0)	01	(1, 5)	-4,0,4	(11, 2)	11	(13, 1)	2,0,-2
(5, 5)	00	(7, 0)	4,0,-4	(11, 2)	00	(5, 5)	4,6,6
(5, 5)	01	(1, 0)	4,0,-4	(11, 2)	00	(4, 3)	4,4,0
(6, 0)	01	(1, 5)	-4,0,4	(11, 3)	01	(1, 2)	-4,-4,0
(6, 0)	00	(8, 5)	-4,0,4	(11, 3)	10	(0, 1)	-4,-6,-4
(6, 0)	00	(9, 0)	-6,-6,-6	(11, 3)	11	(13, 4)	-2,0,2
(6, 5)	01	(1, 0)	4,0,-4	(11, 3)	00	(5, 0)	-4,-6,-6
(6, 5)	00	(8, 0)	4,0,-4	(11, 3)	00	(4, 2)	-4,-4,0
(6, 5)	00	(9, 5)	6,6,6	(12, 0)	11	(14, 0)	-6,-6,-6
(7, 0)	11	(1, 5)	-4,0,4	(12, 5)	11	(14, 5)	6,6,6
(7, 0)	10	(8, 5)	-4,0,4	(13, 1)	10	(0, 4)	0,4,4
(7, 0)	10	(9, 0)	-6,-6,-6	(13, 1)	00	(5, 5)	0,4,6
(7, 5)	11	(1, 0)	4,0,-4	(13, 1)	11	(3, 5)	0,4,6
(7, 5)	10	(8, 0)	4,0,-4	(13, 1)	11	(10, 4)	0,4,4
(7, 5)	10	(9, 5)	6,6,6	(13, 4)	10	(0, 1)	0,-4,-4
(8, 0)	00	(1, 5)	-4,0,4	(13, 4)	00	(5, 0)	0,-4,-6
(8, 5)	00	(1, 0)	4,0,-4	(13, 4)	11	(3, 0)	0,-4,-6
(9, 0)	01	(1, 2)	-6,-4,0	(13, 4)	11	(10, 1)	0,-4,-4
(9, 0)	10	(0, 1)	-6,-6,-4	(14, 0)	01	(1, 2)	-6,-4,0
(9, 0)	11	(2, 4)	-4,0,2	(14, 0)	00	(4, 2)	-6,-4,0
(9, 0)	11	(10, 1)	-6,-6,-4	(14, 5)	01	(1, 3)	6,4,0
(9, 5)	01	(1, 3)	6,4,0	(14, 5)	00	(4, 3)	6,4,0

FIG. 24

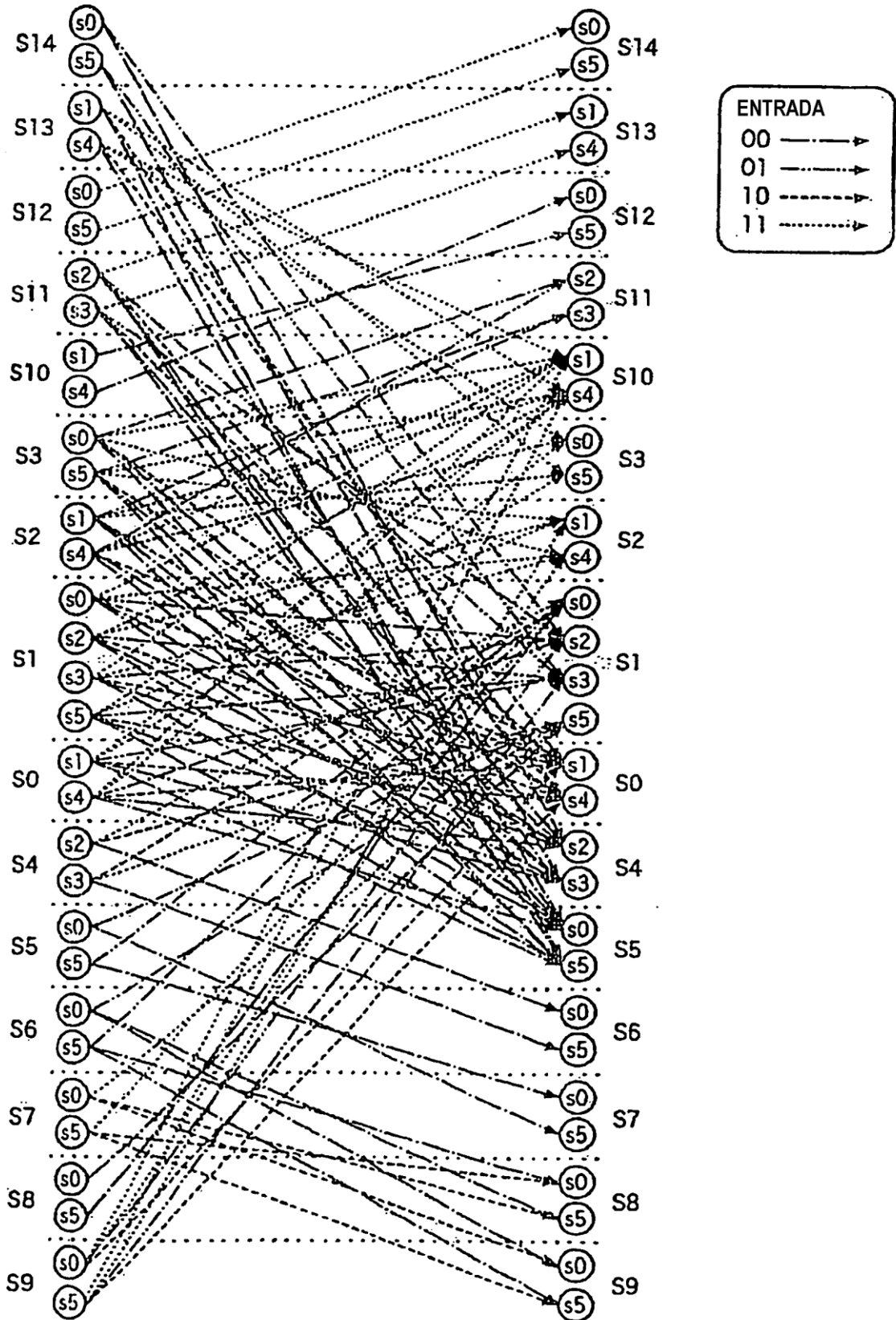


FIG. 25

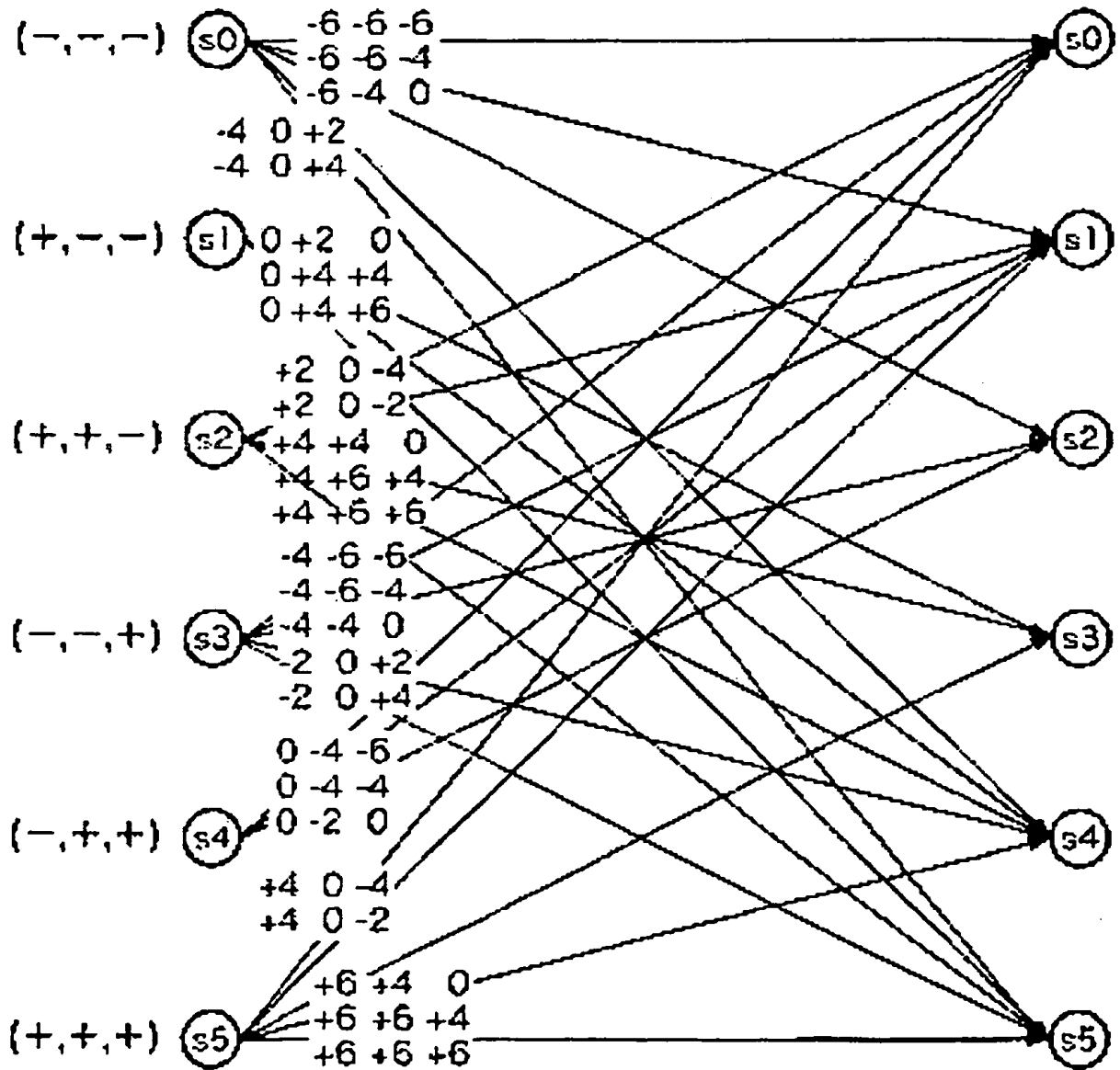


FIG. 26

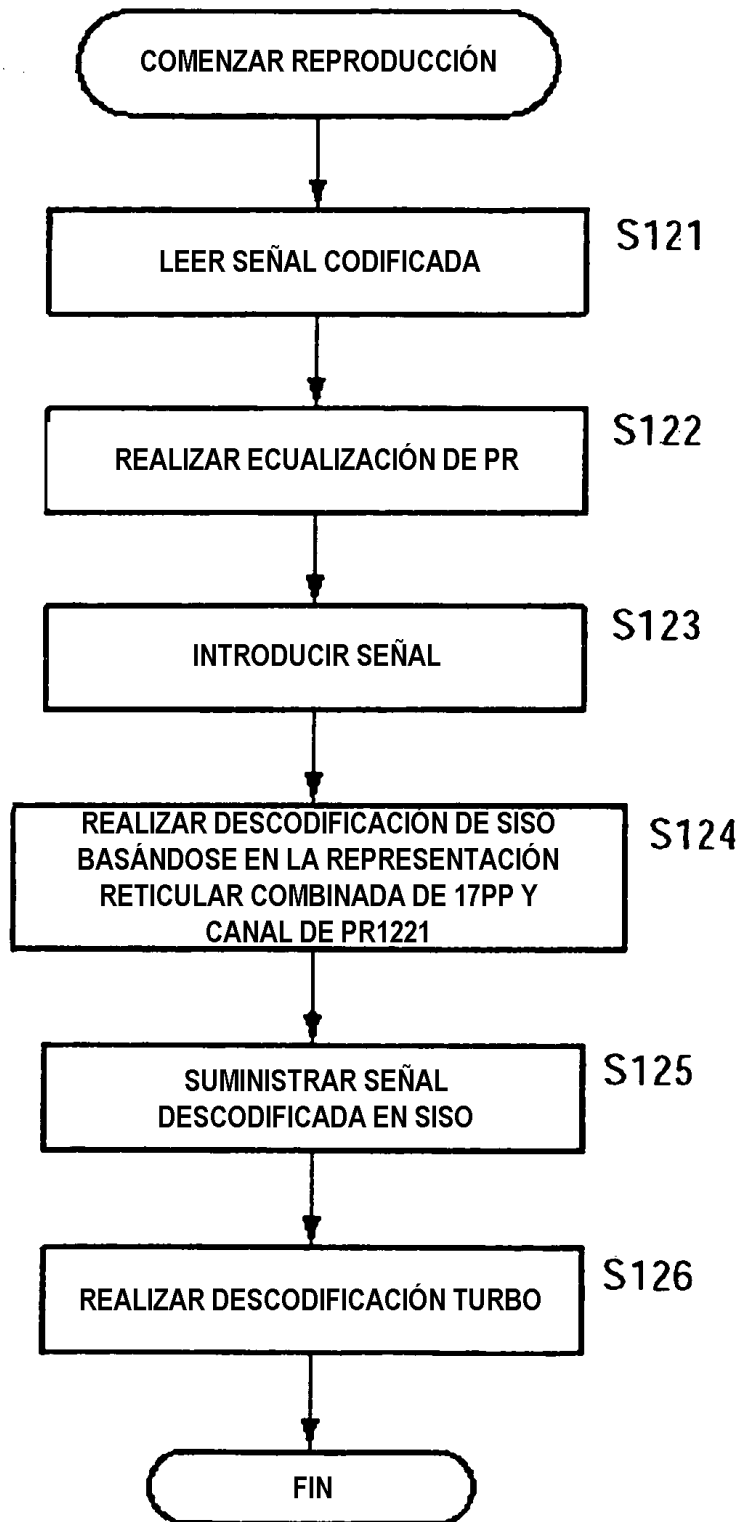


FIG. 27

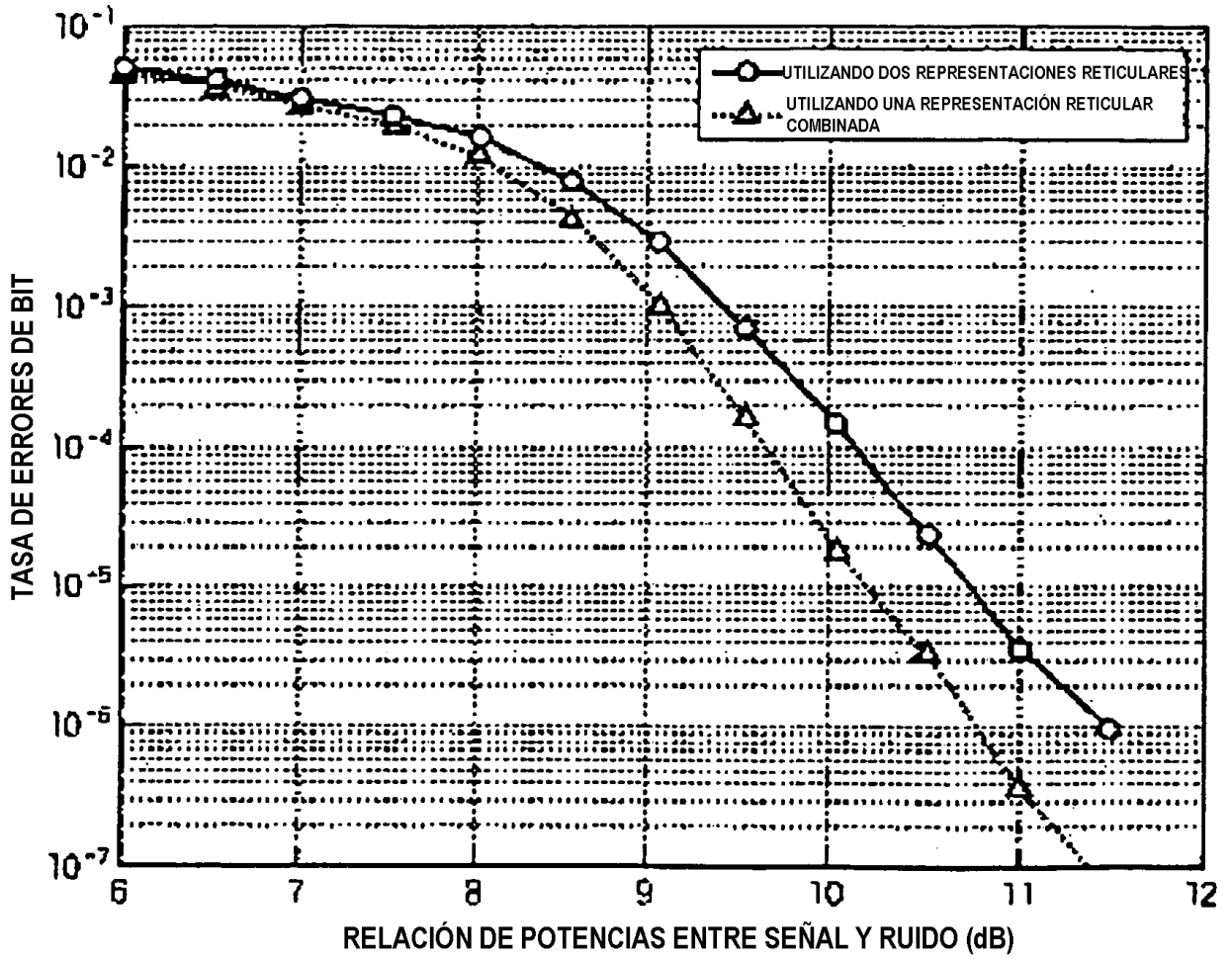


FIG. 28

ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO
(0, 1)	01	(1, 0)	2,2,-2	(3, 0)	01	(11, 3)	-4,-2,2
(0, 1)	10	(0, 2)	2,4,2	(3, 0)	10	(0, 1)	-4,-4,-2
(0, 1)	00	(5, 3)	2,4,4	(3, 0)	00	(5, 0)	-4,-4,-4
(0, 1)	00	(4, 0)	2,2,-2	(3, 0)	00	(4, 3)	-4,-2,2
(0, 1)	11	(3, 3)	2,4,4	(3, 0)	11	(2, 2)	-2,2,2
(0, 1)	11	(10, 2)	2,4,2	(3, 0)	11	(10, 1)	-4,-4,-2
(0, 2)	01	(1, 3)	-2,-2,2	(3, 3)	01	(11, 0)	4,2,-2
(0, 2)	10	(0, 1)	-2,-4,-2	(3, 3)	10	(0, 2)	4,4,2
(0, 2)	00	(5, 0)	-2,-4,-4	(3, 3)	00	(5, 3)	4,4,4
(0, 2)	00	(4, 3)	-2,-2,2	(3, 3)	00	(4, 0)	4,2,-2
(0, 2)	11	(3, 0)	-2,-4,-4	(3, 3)	11	(2, 1)	2,-2,-2
(0, 2)	11	(10, 1)	-2,-4,-2	(3, 3)	11	(10, 2)	4,4,2
(1, 0)	01	(1, 3)	-4,-2,2	(4, 0)	00	(6, 3)	-2,2,4
(1, 0)	10	(0, 1)	-4,-4,-2	(4, 0)	10	(1, 0)	-4,-4,-4
(1, 0)	00	(5, 0)	-4,-4,-4	(4, 0)	11	(1, 3)	-2,2,4
(1, 0)	00	(4, 3)	-4,-2,2	(4, 3)	00	(6, 0)	2,-2,-4
(1, 0)	11	(2, 2)	-2,2,2	(4, 3)	10	(1, 3)	4,4,4
(1, 0)	11	(10, 1)	-4,-4,-2	(4, 3)	11	(1, 0)	2,-2,-4
(1, 3)	01	(1, 0)	4,2,-2	(5, 0)	00	(7, 3)	-2,2,4
(1, 3)	10	(0, 2)	4,4,2	(5, 0)	01	(1, 3)	-2,2,4
(1, 3)	00	(5, 3)	4,4,4	(5, 3)	00	(7, 0)	2,-2,-4
(1, 3)	00	(4, 0)	4,2,-2	(5, 3)	01	(1, 0)	2,-2,-4
(1, 3)	11	(2, 1)	2,-2,-2	(6, 0)	01	(1, 3)	-2,2,4
(1, 3)	11	(10, 2)	4,4,2	(6, 0)	00	(8, 3)	-2,2,4
(2, 1)	01	(11, 0)	2,2,-2	(6, 0)	00	(9, 0)	-4,-4,-4
(2, 1)	10	(0, 2)	2,4,2	(6, 3)	01	(1, 0)	2,-2,-4
(2, 1)	00	(5, 3)	2,4,4	(6, 3)	00	(8, 0)	2,-2,-4
(2, 1)	00	(4, 0)	2,2,-2	(6, 3)	00	(9, 3)	4,4,4
(2, 1)	11	(3, 3)	2,4,4	(7, 0)	11	(1, 3)	-2,2,4
(2, 1)	11	(10, 2)	2,4,2	(7, 0)	10	(8, 3)	-2,2,4
(2, 2)	01	(11, 3)	-2,-2,2	(7, 0)	10	(9, 0)	-4,-4,-4
(2, 2)	10	(0, 1)	-2,-4,-2	(7, 3)	11	(1, 0)	2,-2,-4
(2, 2)	00	(5, 0)	-2,-4,-4	(7, 3)	10	(8, 0)	2,-2,-4
(2, 2)	00	(4, 3)	-2,-2,2	(7, 3)	10	(9, 3)	4,4,4
(2, 2)	11	(3, 0)	-2,-4,-4	(8, 0)	00	(1, 3)	-2,2,4
(2, 2)	11	(10, 1)	-2,-4,-2	(8, 3)	00	(1, 0)	2,-2,-4

FIG. 29

ESTADO DE TIEMPO EN CURSO	ENTRADA DE TIEMPO EN CURSO	ESTADO DE TIEMPO SIGUIENTE	SALIDA DE TIEMPO EN CURSO
(9, 0)	01	(1, 3)	-4,-2,2
(9, 0)	10	(0, 1)	-4,-4,-2
(9, 0)	11	(2, 2)	-2,2,2
(9, 0)	11	(10, 1)	-4,-4,-2
(9, 3)	01	(1, 0)	4,2,-2
(9, 3)	10	(0, 2)	4,4,2
(9, 3)	11	(2, 1)	2,-2,-2
(9, 3)	11	(10, 2)	4,4,2
(10, 1)	01	(12, 3)	2,4,4
(10, 2)	01	(12, 0)	-2,-4,-4
(11, 0)	01	(1, 3)	-4,-2,2
(11, 0)	10	(0, 1)	-4,-4,-2
(11, 0)	11	(13, 2)	-2,2,2
(11, 0)	00	(5, 0)	-4,-4,-4
(11, 0)	00	(4, 3)	-4,-2,2
(11, 3)	01	(1, 0)	4,2,-2
(11, 3)	10	(0, 2)	4,4,2
(11, 3)	11	(13, 1)	2,-2,-2
(11, 3)	00	(5, 3)	4,4,4
(11, 3)	00	(4, 0)	4,2,-2
(12, 0)	11	(14, 0)	-4,-4,-4
(12, 3)	11	(14, 3)	4,4,4
(13, 1)	10	(0, 2)	2,4,2
(13, 1)	00	(5, 3)	2,4,4
(13, 1)	11	(3, 3)	2,4,4
(13, 1)	11	(10, 2)	2,4,2
(13, 2)	10	(0, 1)	-2,-4,-2
(13, 2)	00	(5, 0)	-2,-4,-4
(13, 2)	11	(3, 0)	-2,-4,-4
(13, 2)	11	(10, 1)	-2,-4,-2
(14, 0)	01	(1, 3)	-4,-2,2
(14, 0)	00	(4, 3)	-4,-2,2
(14, 3)	01	(1, 0)	4,2,-2
(14, 3)	00	(4, 0)	4,2,-2

FIG. 30

