



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 917**

51 Int. Cl.:
H04B 7/02 (2006.01)
H04L 1/06 (2006.01)
H04L 25/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08838155 .3**
96 Fecha de presentación : **05.09.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2191583**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.06.2010**

54 Título: **Codificación espacio-temporal para sistema cooperativo.**

30 Prioridad: **14.09.2007 FR 07 57576**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
10.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
10.06.2011

73 Titular/es: **FRANCE TELECOM**
6 place d'Alleray
75015 Paris, FR

72 Inventor/es: **Saadani, Ahmed;**
Hucher, Charlotte y
Rekaya, Ghaya

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 360 917 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

Codificación espacio-temporal para sistema cooperativo

5 La presente invención se refiere a una codificación espacio-temporal para un sistema cooperativo.

Más en particular, la invención se aplica a los sistemas de comunicaciones de radio, en donde entidades cooperan y constituyen nodos de una red de telecomunicaciones. Estos nodos pueden ser terminales móviles, nodos en el núcleo central de la red o también estaciones base.

10 Los nodos se distribuyen en tres grupos: los nodos fuentes, los nodos relés y los nodos destinatarios. Cada nodo fuente transmite una o más señales que contienen la información a transmitir directamente y a través de uno o varios nodos relés a al menos un nodo destinatario. Después del procesamiento de las señales recibidas, cada nodo relé retransmite las señales procesadas hacia el nodo destinatario, que determina una información la más similar a la información inicial en función de las señales procedentes, respectivamente, del nodo fuente y de los nodos relés. Una señal transmitida a través de un canal de radiocomunicaciones, desde un nodo fuente hacia un nodo destinatario, resulta muy afectada por las interferencias y los desvanecimientos de las señales relacionados con los obstáculos y los trayectos múltiples. Así, la transmisión de una sola réplica de la señal puede resultar insuficiente para decodificar la información contenida en la señal. Un sistema cooperativo atenúa esta insuficiencia diversificando las rutas seguidas por la señal emitida por el nodo fuente mediante multiplicación de este último a través de los nodos relés. A la recepción, el nodo destinatario recupera diversas réplicas de la señal afectadas por diversos desvanecimientos.

25 Un procesamiento de las señales recibidas en un nodo relé relativo a la invención corresponde al protocolo de codificación y transmisión DF ("Decodificar y Reenviar"). Este protocolo comprende una decodificación de la señal recibida con el fin de corregir los errores de transmisión debidos a la calidad del canal de transmisión entre el nodo fuente y el nodo relé, una codificación de la señal corregida y luego, una transmisión de la señal corregida codificada al nodo destinatario. Con el fin de transmitir sin error la señal, el nodo relé debe asegurar una decodificación correcta. El protocolo DF es, por lo tanto, sometido, entre otros factores, a la calidad del canal de transmisión entre el nodo fuente y los nodos relés. Un nodo relé solamente se utiliza si el canal que le conecta al nodo fuente es de buena calidad. En el caso de que todos los canales fuente-relé sean de calidad deficiente, no interviene la cooperación entre los nodos.

35 La codificación espacio-temporal fue desarrollada inicialmente para los sistemas de antenas múltiples, denominado también de entrada y salida múltiple (MIMO) ("Entrada múltiple - Salida Múltiple"), pero se revela muy útil para estrategias de cooperación. En efecto, se puede considerar teóricamente un nodo fuente y los nodos relés como un solo y único nodo fuente virtual con varias antenas de emisión.

La evaluación de un código espacio-temporal está basada en dos parámetros principales que son el rendimiento y la diversidad del código.

40 El rendimiento de un código es la cantidad de información transmitida por unidad de tiempo y se expresa generalmente en símbolos por utilización de canal (symb.pcu). Cuánto más elevado es el rendimiento, tanto mayor será el caudal de transmisión. El rendimiento es pleno cuando es máximo para un sistema dado.

45 Para un sistema de a_e antenas de emisión y a_r antenas de recepción, el rendimiento pleno se alcanza para $R = \min \{a_e, a_r\}$.

En un sistema cooperativo con un nodo fuente, N nodos relés y un nodo destinatario, el rendimiento pleno se alcanza para $R = 1$.

50 La diversidad de un código se define como el número de rutas independientes atravesadas por la señal de información entre el nodo fuente y el nodo destinatario. Cuánto mayor es la diversidad, tanto mejor es la calidad de la transmisión. La diversidad es plena cuando es máxima para un sistema dado.

Para un sistema de a_e antenas de emisión y a_r antenas de recepción, la diversidad plena se alcanza para $d = a_e a_r$.

55 En el sistema cooperativo con un nodo fuente, N nodos relés y un nodo destinatario, la diversidad plena es $d = N+1$.

60 Un ejemplo de código espacio-temporal es el de los códigos enhebrados TAST (Espacio-tiempo Algebraico Enhebrado) que está basado en una codificación espacio-temporal algébrica en capas. Una capa es una combinación de símbolos de información a transmitir desde un emisor hacia un receptor, combinando las capas del código símbolos diferentes. Cada capa está asociada a un subespacio algébrico propio y diferente de los de las demás capas para suprimir las interferencias con dichas otras capas. A cada utilización de canal, cada antena de emisión transmite un símbolo de una capa diferente a las que presentan las otras antenas de emisión y a las de las otras utilizations de canal hacia las antenas del receptor. De este modo, cada símbolo se envía una vez por cada antena y una vez a cada utilización de canal, lo que produce la diversidad espacio-temporal.

65

Sistemas cooperativos conocidos están ya basados en el protocolo DF.

5 Un primer sistema se refiere al protocolo LTW-DF, del nombre de sus inventores Laneman, Tse y Wornell, puesto en práctica para transmisiones con Acceso Múltiple por División de Tiempo TDMA ("Time Division Multiple Access"). Se trata de un protocolo ortogonal y en donde dos nodos que se comunican juntos no pueden transmitir datos al mismo tiempo. La cooperación entre los nodos se desarrolla en dos fases de la misma duración para transmitir un símbolo de información desde un nodo fuente hacia un nodo destinatario a través de un nodo relé. En el momento de la primera fase, el nodo fuente emite, en una primera señal, un símbolo hacia el nodo relé y el nodo destinatario. Durante la segunda fase, después del procesamiento de la primera señal, el nodo relé retransmite el símbolo en una segunda señal hacia el nodo destinatario. A partir de estas señales, con nivel alto de ruido, que contienen el símbolo, el nodo destinatario determina un símbolo similar al símbolo inicial. Cada símbolo de información del nodo fuente se retransmite por un solo nodo relé al nodo destinatario; así, el segundo símbolo de información es retransmitido a través de un segundo nodo relé al nodo destinatario.

15 La diversidad del primer sistema es plena. Todos los símbolos de información son transmitidos por dos nodos diferentes, el nodo fuente y un nodo relé hacia el nodo destinatario. Sin embargo, el rendimiento es pequeño, puesto que sólo un semisímbolo se transmite en el momento de una utilización de canal.

20 Un segundo sistema se refiere al protocolo NBK-DF, igualmente del nombre de sus inventores Nabar, Bolcskei y Kneubuhler. Este protocolo no es ortogonal: un nodo fuente y un nodo relé pueden emitir al mismo tiempo. La cooperación entre los nodos comprende, asimismo, dos fases fijas de la misma duración para transmitir una información que comprende dos símbolos, desde el nodo fuente, a través de un nodo relé, hacia un nodo destinatario. En el momento de la primera fase, el nodo fuente emite un primer símbolo hacia el nodo relé y el nodo destinatario. Durante la segunda fase, el nodo fuente emite el segundo símbolo de información independiente del primero hacia el nodo destinatario y el nodo relé retransmite el primer símbolo procesado hacia el nodo destinatario. El nodo destinatario decodifica los dos símbolos a partir de las dos señales recibidas durante las dos fases para determinar la información.

30 Al ser retransmitido un solo símbolo sobre dos por el nodo relé, la diversidad de este protocolo no es plena y sigue siendo la de una transmisión directa para el segundo símbolo transmitido directamente por el nodo fuente al nodo destinatario. Sin embargo, el protocolo NBK-DF asegura un rendimiento pleno puesto que dos símbolos se transmiten al nodo destinatario en el momento de dos utilizaciones de canal, es decir, un símbolo por utilización de canal.

35 Un tercer sistema se refiere al protocolo DDF que es un protocolo DF dinámico para transmitir una primera información y una segunda información dependiente de la primera, desde un nodo fuente hacia un nodo destinatario a través de un nodo relé, según dos fases de transmisión. La duración de estas dos fases de transmisión varía en función de la calidad del canal que conecta el nodo fuente y el nodo relé. La duración de la primera fase se elige de tal manera que el nodo relé pueda decodificar la información transmitida. Cuánto mejor es la calidad del canal, tanto más corta será la primera fase de transmisión hacia el nodo relé. Por el contrario, si el canal es defectuoso, la primera fase se alarga y puede llegar hasta suprimir la segunda fase para volver al caso no cooperativo. En el momento de la primera fase, el nodo fuente envía la primera información al nodo relé y al nodo destinatario. Durante la segunda fase, el nodo fuente envía la segunda información, dependiente de la primera, al nodo destinatario y el nodo relé reenvía la primera información recibida y procesada al nodo destinatario. El nodo destinatario determina la información inicial a partir de las dos informaciones transmitidas.

45 Solamente el protocolo DDF obtiene una diversidad y un rendimiento plenos para un protocolo DF: la información es transmitida por el nodo fuente y el nodo relé al nodo destinatario y dos símbolos son transmitidos durante dos utilizaciones del canal. Sin embargo, sigue siendo muy compleja su realización práctica en un sistema real. En efecto, la duración variable de sus dos fases impone que el nodo fuente y los nodos relés puedan modular las señales en diferentes constelaciones, con el fin de transmitir dos informaciones dependientes. Por otro lado, una señalización de los inicios y del final de las fases variables es necesario para cada utilización del canal.

Alguno de los tres sistemas cooperativos precedentes, según los protocolos LTW-DF, NBK-DF y DDF, no está basado en códigos espacio-temporales.

55 Un protocolo DF basado en un código espacio-temporal, denominado código Alamouti, interviene en un sistema cooperativo para un solo nodo relé. Se trata de un protocolo no ortogonal que comprende dos fases de la misma duración. En el momento de la primera fase, el nodo fuente envía simultáneamente los primero y segundo símbolos de información al nodo relé y al nodo destinatario. En el momento de la segunda fase, el nodo fuente envía simultáneamente el opuesto del símbolo conjugado del segundo símbolo y el símbolo conjugado del primer símbolo. El nodo relé decodifica los primero y segundo símbolos recibidos durante la primera fase y los retransmite al nodo destinatario. Al final de la primera fase, el nodo fuente y el nodo relé se consideran como dos antenas virtuales de una misma fuente. El protocolo Alamouti distribuido permite obtener una diversidad plena siendo cada símbolo transmitido a través del nodo fuente y del nodo relé, pero el rendimiento permanece de pequeña magnitud.

Además, este protocolo solamente está definido para un sistema cooperativo con un solo nodo relé. Una generalización con varios relés con otros códigos ortogonales o incluso pseudo-ortogonales hace descender, en gran medida, el rendimiento.

5 Un tal método de codificación se describe en el documento citado al final de la descripción.

La presente invención subsana los inconvenientes anteriormente citados mediante un método para codificar símbolos de información en un sistema cooperativo, que presenta un nodo fuente, N nodos relés y un nodo destinatario, siendo el número entero N al menos igual a uno. El método está caracterizado porque comprende:

- 10
- una codificación en el nodo fuente de los símbolos de información mediante combinaciones de dichos símbolos en elementos codificados distribuidos según una matriz espacio-temporal, dependiendo los elementos codificados de cada una de las líneas y columnas de la matriz, respectivamente, de las combinaciones de dichos símbolos,
 - 15
 - transmisiones de N primeras líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia los N nodos relés y el nodo destinatario,
 - 20
 - una corrección de las N primeras líneas, respectivamente, en N primeras líneas corregidas en los nodos relés,
 - transmisiones de N últimas líneas de elementos codificados de la matriz desde el nodo fuente hacia el nodo destinatario y
 - 25
 - transmisiones de las N primeras líneas corregidas, respectivamente, desde los N nodos relés hacia el nodo destinatario.

El método de codificación espacio-temporal, según la invención, presenta un rendimiento máximo y una diversidad de cooperación máxima en un sistema cooperativo. Cada nodo relé recibe las N líneas que contienen $2N^2$ elementos codificados resultantes cada uno de la combinación de una parte distinta de los $4N^2$ símbolos de información. Así, cada símbolo de información se transmite por cada uno de los nodos relés del sistema y por el nodo fuente. La diversidad es, por lo tanto, plena.

30

Además, $4N^2$ símbolos son transmitidos en $4N^2$ utilizations de canal. El rendimiento del sistema, es por lo tanto, pleno.

35 Según una característica de la invención, la corrección de los elementos codificados de una de las N primeras líneas recibidas, en un nodo relé, comprende una correlación entre los elementos codificados de las N primeras líneas recibidas y de los elementos codificados predeterminados.

40 La corrección de los elementos codificados, en los nodos relés, tiene la ventaja de reducir las tasas de errores de los símbolos recibidos por el nodo destinatario. La corrección se realiza solamente a nivel de los elementos codificados recibidos sin procesar individualmente símbolos que se han de decodificar posteriormente en el nodo destinatario. Una tal corrección permite un procesamiento más rápido de las líneas de elementos codificados en los nodos relés que si cada nodo relé tuviera que decodificar previamente los elementos codificados en símbolos para corregir estos últimos y luego, volver a codificar los símbolos corregidos en elementos codificados corregidos.

45 Según otra característica de la invención, el método comprende, en el nodo destinatario, combinaciones, dos a dos, de las N primeras líneas corregidas en los nodos relés a las N últimas líneas transmitidas por el nodo fuente en líneas combinadas y una constitución de una matriz resultante con las primeras líneas transmitidas por el nodo fuente y las líneas combinadas. Los símbolos son así obtenidos dependiendo, en particular, de la matriz resultante y de una matriz de transferencia relativa a los canales entre los nodos.

50

La invención tiene, además, por objetivo un sistema cooperativo para codificar símbolos de información y que comprende un nodo fuente, N nodos relés y un nodo destinatario, siendo N un número entero al menos igual a uno. El sistema está caracterizado porque comprende:

- 55
- un medio para codificar, en el nodo fuente, los símbolos de información mediante combinaciones de dichos símbolos en elementos codificados distribuidos, según una matriz espacio-temporal, dependiendo los elementos codificados de cada una de las líneas y columnas de la matriz, respectivamente, de las combinaciones de dichos símbolos,
 - 60
 - un medio para transmitir N primeras líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia los N nodos relés y el nodo destinatario,
 - 65
 - un medio para corregir N primeras líneas, respectivamente, en N primeras líneas corregidas en los nodos relés,

- un medio para transmitir N últimas líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia el nodo destinatario y
- un medio para transmitir N primeras líneas corregidas, respectivamente, desde los N nodos relés hacia el nodo destinatario.

La invención tiene, además, por objetivo, un nodo fuente y un nodo relé incluidos en el sistema cooperativo.

El nodo fuente está caracterizado porque comprende:

- un medio para codificar los símbolos de información mediante combinaciones de dichos símbolos en elementos codificados distribuidos según una matriz espacio-temporal, dependiendo los elementos codificados de cada una de las líneas y columnas de la matriz, respectivamente, de las combinaciones de dichos símbolos,
- un medio para transmitir N primeras líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia los N nodos relés y el nodo destinatario y
- un medio para transmitir N últimas líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia el nodo destinatario.

El nodo relé, igualmente comprendido dentro del sistema cooperativo, está caracterizado porque comprende:

- un medio para recibir N líneas de elementos codificados resultante de la codificación, en el nodo fuente, de los símbolos de información mediante combinaciones de dichos símbolos en los elementos codificados distribuidos según una matriz espacio-temporal, dependiendo los elementos codificados de cada una de las líneas y columnas de la matriz, respectivamente, de las combinaciones de dichos símbolos,
- un medio para corregir una de las N líneas recibidas en una línea corregida a partir de las N líneas recibidas y
- un medio para transmitir la línea corregida hacia el nodo destinatario.

Por último, la invención se refiere a programas de ordenador adecuados para ponerse en práctica, respectivamente, en un nodo fuente y nodos relés de un sistema cooperativo para codificar símbolos de información, comprendiendo dichos programas unas instrucciones que, cuando los programas se ejecutan, respectivamente, en dichos nodos del sistema, realicen etapas conformes al método de la invención.

Otras características y ventajas de la presente invención aparecen más evidentes a partir de la lectura de la descripción siguiente de varias formas de realización de la invención dadas a título de ejemplos no limitativos, haciendo referencia a los dibujos adjuntos correspondientes, en donde:

- la Figura 1 es un diagrama de bloques esquemático de un sistema cooperativo según la invención;
- la Figura 2 es un algoritmo de un método de codificación espacio-temporal para un sistema cooperativo, según la invención;
- la Figura 3 es un diagrama de una constelación de modulación inicial y
- la Figura 4 es un diagrama de una constelación de modulación codificada.

La invención ha tratado a los códigos espacio-temporales algebraicos en diversidad y rendimientos plenos en un sistema cooperativo en donde los nodos relés aplican el protocolo DF.

Haciendo referencia a la Figura 1, un sistema cooperativo comprende al menos un nodo fuente SC, un nodo destinatario DS y N nodos relés R_1 a R_N , siendo N un número entero al menos igual a 1. Un solo nodo relé R_n con $1 \leq n \leq N$ se ilustra en la Figura 1 con el fin de no sobrecargarla.

Cada uno de los nodos SC, DS y R_n , según la invención, se representan en la Figura 1 bajo la forma de bloques funcionales, cuya mayor parte aseguran funciones que presentan un vínculo con la invención y pueden corresponder a módulos informáticos implantados en al menos un procesador y/o módulos físicos dedicados o programables en el nodo.

El nodo fuente SC es, por ejemplo, una estación base de una red de radiocomunicaciones y comprende una interfaz de comunicación IS, una unidad de procesamiento US, un codificador CS y una memoria MS conectadas por un bus bidireccional BS.

La memoria MS comprende al menos una información I, un algoritmo de modulación AM y una matriz de conversión MC que sirve para convertir una sucesión de símbolos en elementos codificados que constituyen una palabra de código

espacio-temporal X. La información I comprende M símbolos s_1 a s_M a transmitir al nodo destinatario DS a través de los nodos relés R_1 a R_N .

5 El algoritmo de modulación AM es relativo, por ejemplo, a una modulación de amplitud en cuadratura de fase QAM ("Quadrature Amplitude Modulation" en inglés) representada bajo la forma de una constelación denominada, a través de la descripción, como constelación inicial CI y memorizada en la memoria MS. La constelación CI comprende 2^B estados de amplitud y de fase asociados a símbolos con B bits, tal como la modulación QAM de 16 estados ilustrada en la Figura 3.

10 La matriz de conversión MC combina los M símbolos s_1 a s_M en combinaciones de símbolos X_1 a X_{2N} dependiendo cada una de $2N$ símbolos con el fin de transmitir una línea de $2N$ elementos codificados en una matriz cuadrada espacio-temporal X definida más adelante, que corresponde a todos los $M = (2N)^2$ símbolos s_1 a s_M durante una utilización del canal entre el nodo fuente y otro nodo. N primeras líneas de elementos codificados de la palabra de código constituida por la matriz espacio-temporal $[X] = [MC] [s_1 \text{ a } s_M]^T$ se transmiten por el nodo fuente a los N nodos relés y al nodo destinatario y N últimas líneas de elementos codificados de la matriz se transmiten directamente por el nodo fuente al nodo destinatario.

20 Para un sistema cooperativo de N nodos relés R_1 a R_N , un código espacio-temporal es de dimensión $2N \times 2N$ y una palabra de código X se escribe bajo la forma de la matriz cuadrada espacio-temporal siguiente:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_{2N-1} & X_{2N} \\ \gamma\sigma(X_{2N}) & \sigma(X_1) & \dots & \sigma(X_{2N-2}) & \sigma(X_{2N-1}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma\sigma^{2N-2}(X_3) & \gamma\sigma^{2N-2}(X_4) & \dots & \sigma^{2N-2}(X_1) & \sigma^{2N-2}(X_2) \\ \gamma\sigma^{2N-1}(X_2) & \gamma\sigma^{2N-1}(X_3) & \dots & \gamma\sigma^{2N-1}(X_{2N}) & \sigma^{2N-1}(X_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_{2N-1} \\ L_{2N} \end{bmatrix}$$

en donde:

$$X_n = \sum_{j=1}^{2N} s_{n,j} \theta^j, \quad \text{con } 1 \leq n \leq 2N,$$

25 es una de las combinaciones con $2N$ símbolos del cuerpo $K = Q(i, \theta)$, que puede constituir un elemento codificado, siendo i el número complejo tal que $i^2 = -1$, siendo θ un número algebraico, dependiendo cada combinación X_n de una parte respectiva de los símbolos s_1 a s_M de la información I diferente de las demás partes de la información I que dependen de las demás combinaciones de $2N$ símbolos X_1 a X_{n-1} y X_{n+1} a X_{2N} ;

30 $s_{n,1}$ a $s_{n,2N}$ son símbolos de información de la información I proporcionada por el nodo fuente SC, comprendiendo la información I en total $M = (2N)^2$ símbolos de información;

35 δ es un generador del grupo de Galois $K/Q(i)$ y

γ es un elemento del cuerpo K que separa las diferentes líneas de la palabra de código X, con el fin de que no se anule el determinante de la matriz de la palabra de código X.

40 Las $2N$ líneas y las $2N$ columnas de la matriz de la palabra de código X comprenden cada una $2N$ elementos codificados $X_{1,1} = X_1$ a $X_{2N,2N} = \sigma^{2N-1}(X_1)$ y dependen así cada uno de todos los $(2N)^2$ símbolos s_1 a s_M de la información I. Una función σ^m con $0 \leq m \leq 2N-1$ y $m = n-1$ se aplica a todas las $2N$ combinaciones con $2N$ símbolos X_1 a X_{2N} después de m permutaciones circulares de estos últimos para constituir, respectivamente, los elementos codificados $X_{n,1}$ a $X_{n,2N}$ de la línea L_n de la matriz espacio-temporal.

45 Según una aplicación relativa a la invención, la palabra de código X es un código espacio-temporal TAST de dimensión 4×4 , que tiene por matriz:

$$X = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ \phi\sigma(X_4) & \sigma(X_1) & \sigma(X_2) & \sigma(X_3) \\ \phi\sigma^2(X_3) & \phi\sigma^2(X_4) & \sigma^2(X_1) & \sigma^2(X_2) \\ \phi\sigma^3(X_2) & \phi\sigma^3(X_3) & \phi\sigma^3(X_4) & \sigma^3(X_1) \end{bmatrix}$$

con: $N = 2$,

- $X_1 = s_1 + \theta s_2 + \theta^2 s_3 + \theta^3 s_4$,
- $X_2 = s_5 + \theta s_6 + \theta^2 s_7 + \theta^3 s_8$,
- $X_3 = s_9 + \theta s_{10} + \theta^2 s_{11} + \theta^3 s_{12}$,
- $X_4 = s_{13} + \theta s_{14} + \theta^2 s_{15} + \theta^3 s_{16}$,
- $\theta = e^{i(\pi/8)}$, $\phi = e^{i(\pi/32)}$, et
- $\sigma(X_n(\theta)) = X_n(i\theta)$.

El codificador CS del nodo fuente aplica la matriz de la palabra de código X a los símbolos de información s_1 a s_M con el fin de obtener líneas de palabra de código L_1 a L_{2N} que dependen de los elementos codificados $X_{1,1}$ a $X_{2N,2N}$ y así, los símbolos s_1 a s_M .

La interfaz de comunicación IS comprende una o varias antenas de emisión y de recepción y transmite señales a la interfaces de comunicación de los demás nodos del sistema cooperativo. Estas señales comprenden, cada una, una línea de palabra de código L_n y/o datos de señalización SG para establecer una cooperación entre los nodos del sistema cooperativo. Los datos de señalización comprenden, por ejemplo, un identificador de la línea de palabra de código, un identificador relativo a la modulación inicial AM y/o un identificador que se refiere al protocolo de intercambio de señales entre los nodos del sistema así como diversas referencias de sincronización para las líneas de la matriz y la propia matriz incluida en una trama espacio-temporal del flujo de informaciones transmitidas por el nodo fuente.

La interfaz IS transmite las N primeras líneas de la palabra de código L_1 a L_n a través de las señales para que los N nodos relés R_1 a R_N y el nodo destinatario las sometan a procesamiento y transmite las N últimas líneas de la palabra de código L_{N+1} a L_{2N} para que el nodo destinatario DS las procese.

Cada nodo relé R_n es, por ejemplo, una estación base de una red de radiocomunicaciones y comprende una interfaz de comunicación IR, una unidad de procesamiento UR, una unidad de decodificación parcial DP y una memoria MR conectadas por un bus bidireccional BR. Cada nodo relé R_n recibe y procesa las líneas L_{r1} a L_{rN} que corresponden, respectivamente, a las líneas L_1 a L_N de la palabra de código emitidas por el nodo fuente, para producir una versión corregida L_{cn} de la línea L_n .

La interfaz de comunicación IR del nodo relé R_n comprende al menos una antena de emisión y al menos una de recepción para recibir señales de la interfaz IS del nodo fuente SC y para emitir señales a una interfaz de comunicación ID del nodo destinatario. Para cada información codificada en el nodo fuente SC, la interfaz de comunicación IR recibe una señal, con nivel alto de ruido, que contiene las líneas L_{r1} a L_{rN} de la palabra de código. Después de la decodificación parcial de elementos codificados en las líneas recibidas, la interfaz IR transmite hacia el nodo destinatario DS una señal que contiene una línea de palabra de código corregida L_{cn} , retransmitiendo cada uno de los N nodos relés una línea de palabra de código corregida diferente hacia el nodo destinatario.

La memoria MR del nodo relé R_n comprende la constelación inicial CI relativa a la modulación realizada en el nodo fuente y la matriz de conversión MC que incluye las funciones $Id, \sigma, \sigma^2, \dots, \gamma Id, \gamma\sigma, \gamma\sigma^2, \dots, \gamma\sigma^{2N-1}$ con Id correspondiente a una función identidad, para convertir la sucesión de combinaciones de símbolos X_1 a X_{2N} en la palabra de código X . La constelación inicial CI y la matriz de conversión MC han sido previamente transmitidas en señales de datos de señalización SG_n desde el nodo fuente NS.

Como variante, la memoria MR comprende otras constelaciones relativas a modulaciones iniciales diferentes disponibles para cooperar con otros nodos fuentes del sistema cooperativo.

La unidad de procesamiento UR del nodo relé determina inicialmente nuevas constelaciones codificadas CC_1 a CC_N a partir, respectivamente, de la matriz de conversión MC y de la constelación inicial CI. Estas constelaciones CC_1 a CC_N son, a continuación, memorizadas en la memoria MR. Una constelación CC_n corresponde a $2N$ grupos con $M = (2N)^2$ estados de amplitud y de fase asociados, respectivamente, a las posiciones 1 a $2N$ de los $2N$ elementos codificados $X_{n,1}$ a $X_{n,2N}$ en la línea L_n de la matriz de la palabra de código X . Los $M = (2N)^2$ estados de amplitud y de fase, en un grupo de la constelación CC_n asociado a la posición de un elemento codificado en la línea L_n , son representativos de todas las

combinaciones de símbolos de la constelación inicial CI. Por ejemplo, para la modulación QAM con $M = 2^B = 16$ estados, cada elemento codificado se compara con los 256 estados inscritos de la constelación CC_n , representada en la Figura 4.

La constelación codificada CC_n depende de la función σ^{n-1} de la línea de palabra de código L_n de la matriz de conversión MC. Las unidades de procesamiento UR de los nodos relés R_1 a R_N determinan todas las constelaciones CC_1 a CC_N , puesto que cada nodo relé R_n trata todas las líneas de palabra de código recibidas L_{r1} a L_{rN} de la palabra de código X.

La unidad de decodificación parcial DP determina elementos codificados corregidos $X_{c_{n,1}}$ a $X_{c_{n,N}}$ correspondiente a la línea corregida L_{c_n} a transmitir, mediante una correlación entre los elementos codificados de las N líneas recibidas L_{r1} a L_{rN} y los elementos codificados de las constelaciones codificadas CC_1 a CC_N .

El nodo destinatario DS es, por ejemplo, una estación base de una red de radiocomunicaciones o un terminal de un usuario tal como un terminal móvil o un ordenador portátil personal. El nodo destinatario DS comprende una interfaz de comunicación ID, una unidad de procesamiento UD, un decodificador DD y una memoria MD conectadas por un bus bidireccional BD.

La interfaz de comunicación ID comprende una antena de emisión y de recepción, y emite señales de datos de señalización hacia las interfaces de comunicación de los otros nodos del sistema cooperativo. La interfaz de comunicación recibe, en particular, las líneas L_{r1} a L_{rN} que corresponden, respectivamente, a las N primeras líneas de palabra de código transmitidas por el nodo fuente SC, las líneas L_{c1} a L_{cN} que corresponden, respectivamente, a las N primeras líneas de palabra de código corregidas L_{c1} a L_{cN} transmitidas por los N nodos relés del sistema y las líneas $L_{r_{N+1}}$ a $L_{r_{2N}}$ que corresponden, respectivamente, a las N últimas líneas de palabra de código L_{N+1} a L_{2N} transmitidas por el nodo fuente SC.

La memoria MD del nodo destinatario DS comprende la constelación inicial CI, la matriz de conversión MC y un algoritmo de demodulación AD.

El decodificador DD combina, respectivamente, dos a dos, las líneas L_{c1} a L_{cN} a las líneas $L_{r_{N+1}}$ a $L_{r_{2N}}$ en N líneas combinadas. Por ejemplo, dos líneas L_{c_n} a $L_{r_{N+n}}$ se combinan en una adición tal como: $(L_{c_n} \times c_{f_n}) + (L_{r_{N+n}} \times c_{f_{sc}})$. c_{f_n} y $c_{f_{sc}}$ son coeficientes de atenuación de ganancia de canal, respectivamente, entre el nodo relé R_n y el nodo destinatario y entre el nodo fuente y el nodo destinatario. El decodificador DD constituye una matriz resultante MR con las N primeras líneas transmitidas por el nodo fuente y las N líneas combinadas con el fin de aplicar la matriz de conversión MC según la ecuación siguiente $[MR] = [H] ([MC] [SD]^T) + [B]$ en donde H es una matriz de transferencia relativa a los canales de transmisión entre el nodo fuente y el nodo destinatario y entre los nodos relés y el nodo destinatario, SD es un vector de símbolos de información a determinar y B es una matriz de ruido. La unidad de procesamiento UD procesa específicamente la información recibida y decodificada en función del tipo de nodo destinatario. La información es, por ejemplo, un mensaje de vídeo a visualizar en una pantalla del nodo destinatario.

Todas las interfaces IS, IR e ID de los nodos del sistema funcionan de forma alternada ("half-duplex" en inglés). Cada interfaz no puede recibir una señal y emitir otra al mismo tiempo. La transmisión de las señales puede realizarse según varias técnicas de acceso.

Utilizando la técnica de acceso TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo), el nodo fuente y un nodo relé cooperan en dos etapas. Durante la primera etapa, el nodo fuente emite una señal hacia el nodo relé. Durante la segunda etapa, el nodo relé procesa la señal recibida para corregirla y transmite la señal corregida al nodo destinatario.

Utilizando la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia FDMA ("Frequency Division Multiple Access" en inglés), el nodo fuente y un nodo relé emiten, respectivamente, en primera y segunda bandas de frecuencia diferentes para cooperar. El nodo fuente emite, en la primera banda de frecuencia, una señal que es recibida por el nodo relé. El nodo relé procesa la señal recibida para corregirla y transmite la señal corregida, en la segunda banda de frecuencia, al nodo destinatario.

Utilizando la técnica de acceso múltiple por división de código CDMA ("Code Division Multiple Access"), el nodo fuente y un nodo relé cooperan utilizando dos códigos de escalonamiento. El nodo fuente emite una señal utilizando un primer código hacia el nodo relé que la corrige. El nodo relé transmite la señal corregida utilizando un segundo código hacia el nodo destinatario. El nodo destinatario recibe así la información del nodo relé con un desplazamiento temporal.

Haciendo referencia a la Figura 2, el método de codificación espacio-temporal comprende las etapas E0 a E3.

En la etapa inicial E0, que comprende las etapas E01 y E02, el nodo fuente SC procesa la información con el fin de darle formato para transmitirla a los nodos relés y al nodo destinatario, en las etapas siguientes E1 y E2. En la etapa E01, la unidad de procesamiento US del nodo fuente SC procede a la lectura, en la memoria MS, de los B x M bits de información inicial I para modularla según el algoritmo de modulación AM. En función de la constelación inicial CI relativa al algoritmo de modulación AM, la unidad US hace corresponder palabras de B bits en la información inicial I, respectivamente, a M símbolos s_1 a s_M .

En la etapa E02, la unidad de codificación CS del nodo fuente SC aplica la matriz de conversión MC a los símbolos s_1 a s_M , con el fin de producir $(2N)^2$ elementos codificados $X_{1,1} = \sigma_1(X_1)$ a $X_{2N,2N} = \sigma_{2N}(X_1)$ que constituyen la palabra de código X y así, 2N líneas de palabra de código L_1 a L_{2N} .

- 5 La etapa E1 tiene una duración fija y es relativa a una primera fase de transmisión de línea de palabra de código y comprende tres subetapas E10, E11 y E12.

10 En la etapa E10, la unidad de procesamiento US del nodo fuente SC establece N señales que contienen cada una las N primeras líneas de palabra de código L_1 a L_N determinadas en la etapa precedente E02 y, respectivamente, datos de señalización SG_1 a SG_N que comprenden, por ejemplo, identificadores de rango de las N primeras líneas de la palabra de código. La interfaz de comunicación IS del nodo fuente SC transmite, sucesivamente, las N señales al nodo destinatario DS y a todos los nodos relés R_1 a R_N .

15 En la etapa E11, en un nodo relé R_n , la interfaz de comunicación IR recibe, desde el nodo fuente SC, una señal que contiene N líneas de palabra de código recibidas L_{r_1}, \dots, L_{r_N} y datos de señalización SG_n . La unidad de procesamiento US del nodo relé R_n encuentra, en los datos de señalización SG_n el identificador de rango n de la línea de palabra de código recibida L_{r_n} a corregir y a retransmitir al nodo destinatario. La unidad de procesamiento UR encuentra, en la memoria MR, la constelación inicial CI y la matriz de conversión MC. La unidad de procesamiento UR determina todas las constelaciones codificadas CC_1 a CC_N aplicando, para cada constelación CC_n , respectivamente, cada línea de la matriz MC en todos los estados de amplitud y de fase de la constelación inicial CI, con el fin de determinar, para cada línea recibida, todos los elementos codificados posibles que forman una nueva constelación codificada CC_n , tal como fue anteriormente definida e ilustrada en la Figura 4.

25 La unidad de decodificación parcial del relé R_n corrige, en la etapa E12, los elementos codificados recibidos $X_{r_{n,1}}$ a $X_{r_{n,N}}$ de la línea L_{r_n} identificada por el identificador de rango n, determinando elementos codificados corregidos $X_{c_{n,1}}$ a $X_{c_{n,N}}$ mediante correlación entre los elementos codificados de las N líneas recibidas L_{r_1} a L_{r_N} y los elementos codificados de las constelaciones codificadas CC_1 a CC_N , según las operaciones siguientes.

30 Para cada elemento codificado recibido $X_{r_{n,n}}$ de la línea L_{r_n} , la unidad DP procesa cada elemento codificado recibido de las N líneas recibidas, dependiendo de la misma combinación de símbolo X_n que el elemento codificado $X_{r_{n,n}}$ de la línea L_{r_n} . Para cada elemento codificado recibido, la unidad DP compara este último con los elementos codificados de la constelación codificada asociada a la línea que contiene el elemento codificado recibido. Esta codificación se basa en un método de la máxima verosimilitud. La unidad de decodificación parcial DP determina distancias entre el elemento codificado recibido y los elementos codificados de la constelación codificada más similares al elemento codificado recibido.

35 La unidad DP combina, a continuación, las distancias determinadas anteriormente, a razón de N distancias por combinación. Cada combinación de distancia depende, para cada línea recibida, de la distancia entre un elemento codificado recibido y uno de los elementos codificados de la constelación codificada más similares al elemento codificado recibido. A continuación, la unidad DP selecciona una de las combinaciones de distancia así constituida, según una condición predeterminada. Por ejemplo, una combinación es una adición de N distancias y la condición predeterminada es la más pequeña de las sumas resultantes de las adiciones. El elemento codificado de la constelación codificada asociada a la línea recibida L_{r_n} que ha participado en la constitución de la combinación seleccionada, constituye el elemento codificado corregido $X_{c_{n,n}}$.

45 Las operaciones precedentes son reiteradas para cada una de las combinaciones de símbolos X_1 a X_N con el fin de obtener los elementos codificados corregidos $X_{c_{n,1}}$ a $X_{c_{n,N}}$ que componen la línea corregida L_{c_n} .

50 La unidad de decodificación DP no determina los $(2N)^2$ símbolos s_1 a s_M a partir de los dos 2N elementos codificados transmitidos por el nodo fuente y solamente corrige los elementos codificados recibidos $X_{r_{n,1}}$ a $X_{r_{n,2N}}$ en la línea recibida L_{r_n} .

55 La etapa E2, que sucede a la etapa E1, tiene una duración fija, tal como la etapa E1. De acuerdo con el modo de funcionamiento, de forma alternada, de los nodos relés, la interfaz de comunicación IS del nodo fuente SC transmite, después de la etapa E1, sucesivamente al nodo destinatario DS, las N últimas líneas de la palabra de código L_{N+1} a L_{2N} determinadas en la etapa E02. En sincronismo con estas últimas líneas, las interfaces de comunicación IR de los N nodos relés transmiten, respectivamente, las líneas de palabra de código corregidas L_{c_1} a L_{c_N} al nodo destinatario DS.

60 La etapa E3 se ejecuta, en el nodo destinatario DS, que está a la escucha de líneas de palabra de código y comprende las etapas E30 y E31.

65 La interfaz de comunicación ID ha recibido previamente a la etapa E10 las N primeras líneas de palabra de código. En la etapa E30, por analogía con la etapa E2, la interfaz de comunicación ID del nodo destinatario recibe, sucesivamente, las N primeras líneas de palabra de código corregidas L_{c_1} a L_{c_N} que corresponden, respectivamente, a las N primeras líneas de la palabra de código corregidas L_{c_1} a L_{c_N} transmitidas, respectivamente, por los N nodos relés del sistema y de

manera simultánea e igualmente de forma sucesiva, las N segundas líneas de la palabra de código $L_{r_{N+1}}$ a $L_{r_{2N}}$ procedentes del nodo fuente SC.

5 El decodificador DD del nodo destinatario DS combina, respectivamente, las líneas L_{cr_1} a L_{cr_N} a las líneas $L_{r_{N+1}}$ a $L_{r_{2N}}$, siendo todas estas líneas recibidas durante la segunda fase. El decodificador DD constituye una matriz resultante MR con las N líneas de palabra de código recibidas L_{r_1} a L_{r_N} durante la primera fase y las N líneas combinadas L_{cr_1} a L_{cr_N} y $L_{r_{N+1}}$ a $L_{r_{2N}}$ recibidas durante la segunda fase y le aplica, por ejemplo, la matriz de conversión inversa MC^{-1} para decodificar los 2N elementos codificados $X_{n,1} = \sigma^m(X_1)$ a $X_{n,2N} = \sigma^m(X_{2N})$ de cada línea de palabra de código recibida en $(2N)^2$ símbolos. La decodificación puede realizarse, asimismo, mediante la aplicación de un decodificador de la máxima verosimilitud o de un decodificador sub-óptimo, por ejemplo, un igualador o decodificador esférico.

10 En la etapa E31, la unidad de procesamiento UD aplica el algoritmo de demodulación AD a los símbolos decodificados SC_1 a SC_M .

15 La invención aquí descrita se refiere a un método de codificación espacio-temporal en un sistema cooperativo, que comprende al menos un nodo fuente, N nodos relés con N igual a al menos 1 y un nodo destinatario. Se refiere, además, a dos programas de ordenador capaces de ponerse en práctica, respectivamente, en el nodo fuente y los nodos relés del sistema cooperativo.

20 El programa de ordenador capaz de ponerse en práctica en el nodo fuente está caracterizado porque comprende instrucciones que, cuando el programa se ejecuta en un procesador del nodo fuente, cuyo funcionamiento está también controlado por la ejecución del programa, realizan etapas correspondientes a los medios funcionales incluidos en el nodo fuente.

25 El programa de ordenador capaz de ponerse en práctica en cada uno de los nodos relés del sistema cooperativo está caracterizado porque comprende instrucciones que, cuando el programa se ejecuta en un procesador del nodo relé, cuyo funcionamiento es también controlado mediante la ejecución del programa, realizan etapas que corresponden a los medios funcionales incluidos en el nodo relé.

30 En consecuencia, la invención se aplica, además, a programas de ordenador, en particular programas de ordenador registrados en un soporte o en soportes de registro legibles por un ordenador y cualquier dispositivo de procesamiento de datos, adaptados para poner en práctica la invención. Estos programas pueden utilizar cualquier lenguaje de programación y estar bajo la forma de código fuente, código objeto o código intermedio entre código fuente y código objeto, tal como en una forma parcialmente compilada o en cualquier otra forma deseable para realizar el método según la invención.

35 Un soporte de registro puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de almacenar los programas. Por ejemplo, el soporte puede comprender un medio de almacenamiento en donde se registran los programas de ordenador según la invención, tal como una memoria ROM, por ejemplo un CD-ROM o una memoria ROM de circuito microelectrónico o también una llave USB o un medio de registro magnético, por ejemplo, un disquete (floppy disc) o un disco duro.

40 De otra parte, el soporte de registro puede ser un soporte transmisible tal como una señal eléctrica u óptica, que puede encaminarse a través de un cable eléctrico u óptico, por radio o por otros medios. Los programas, según la invención, pueden ser, en particular, telecargados en una red de tipo Internet.

45 Como alternativa, el soporte de registro puede ser un circuito integrado en donde los programas están incorporados, estando el circuito adaptado para ejecutar o para ser utilizado en la ejecución del método según la invención.

Referencia

50 1) P. Anghel et al: "Codificación por espacio-tiempo multiusuario en redes cooperativas"; IEEE international conference an acoustics, speech and signal processing; vol. 4, 06,04-10.04.2003.

55

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Método para codificar símbolos de información (s_1-s_M) en un sistema cooperativo que comprende un nodo fuente (SC), N nodos relés (R_1-R_N) y un nodo destinatario (DS), siendo N al menos igual a 1, caracterizado porque comprende:
- 10 - una codificación (E02) en el nodo fuente de los símbolos de información mediante combinaciones (X_1-X_{2N}) de dichos símbolos en elementos codificados ($X_{1,1}-X_{2N,2N}$) distribuidos según una matriz espacio-temporal (X), dependiendo los elementos codificados de cada una de las líneas y columnas de la matriz, respectivamente, de las combinaciones de dichos símbolos,
 - 15 - transmisiones (E10) de N primeras líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia los N nodos relés y el nodo destinatario,
 - una corrección (E12) de las N primeras líneas, respectivamente, en las N primeras líneas corregidas en los nodos relés,
 - transmisiones (E2) de las N últimas líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia el nodo destinatario y
 - 20 - transmisiones (E2) de las N primeras líneas corregidas, respectivamente, desde los N nodos relés hacia el nodo destinatario.
- 25 **2.** Método, conforme a la reivindicación 1, en donde la corrección de los elementos codificados de una respectiva de las N primeras líneas recibidas en un nodo relé (R_n) comprende una correlación entre los elementos codificados de las N primeras líneas recibidas y los elementos codificados predeterminados (CC_1 a CC_N).
- 30 **3.** Método, conforme a la reivindicación 1 ó 2, que comprende, en el nodo destinatario, combinaciones, dos a dos, de las N primeras líneas corregidas en los nodos relés a las N últimas líneas transmitidas por el nodo fuente en líneas combinadas y una constitución de una matriz resultante con las primeras líneas transmitidas por el nodo fuente y las líneas combinadas, con el fin de obtener los símbolos en dependencia de la matriz resultante.
- 35 **4.** Sistema cooperativo para codificar símbolos (s_1-s_M) y que comprende un nodo fuente (SC), N nodos relés (R_1-R_N) y un nodo destinatario (DS), siendo N al menos igual a uno, caracterizado porque comprende:
- 40 - un medio (CS) para codificar, en el nodo fuente, los símbolos de información mediante combinaciones ($X_1 - X_{2N}$) de dichos símbolos en elementos codificados ($X_{1,1}-X_{2N,2N}$) distribuidos según una matriz espacio-temporal (X), dependiendo los elementos codificados de cada una de las líneas y columnas de la matriz, respectivamente, de las combinaciones de dichos símbolos,
 - 45 - un medio (IS) para transmitir N primeras líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia los N nodos relés y el nodo destinatario,
 - un medio (DP) para corregir N primeras líneas, respectivamente, en N primeras líneas corregidas en los nodos relés,
 - 50 - un medio (IS) para transmitir N últimas líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia el nodo destinatario y
 - un medio (IR) para transmitir N primeras líneas corregidas, respectivamente, desde los N nodos relés hacia el nodo destinatario.
- 55 **5.** Nodo fuente (SC), incluido en un sistema cooperativo, para codificar símbolos (s_1-s_M) comprendiendo el sistema, además, N nodos relés (R_1-R_N) y un nodo destinatario (DS), siendo N al menos igual a 1, caracterizado porque comprende:
- 60 - un medio (CS) para codificar los símbolos de información mediante combinaciones (X_1-X_{2N}) de dichos símbolos en elementos codificados ($X_{1,1}-X_{2N,2N}$) distribuidos según una matriz espacio-temporal (X), dependiendo los elementos codificados de cada una de las líneas y columnas de la matriz, respectivamente, de las combinaciones de dichos símbolos,
 - 65 - un medio (IS) para transmitir N primeras líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia los N nodos relés y el nodo destinatario y
 - un medio (IS) para transmitir N últimas líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia el nodo destinatario.

6. Nodo relé (R_n), incluido en un sistema cooperativo, para codificar símbolos (s_1-s_M) comprendiendo dicho sistema un nodo fuente (SC), N nodos relés (R_1-R_N) y un nodo destinatario (DS), siendo N al menos igual a 1, caracterizado porque comprende:

- 5 - un medio (IR) para recibir N líneas de elementos codificados ($X_{n,1}-X_{n,2N}$) resultante de la codificación en el nodo fuente de los símbolos de información mediante combinaciones (X_1-X_{2N}) de dichos símbolos en los elementos codificados distribuidos según una matriz espacio-temporal (X), dependiendo los elementos codificados de cada una de las líneas y columnas de la matriz, respectivamente, de las combinaciones de dichos símbolos,
- 10 - un medio (DP) para corregir una de las N líneas recibidas en una línea corregida a partir de las N líneas recibidas y
- un medio (IR) para transmitir la línea corregida hacia el nodo destinatario.

15 **7.** Programa de ordenador capaz de ponerse en práctica en un nodo fuente de un sistema cooperativo para codificar símbolos (s_1-s_M), comprendiendo dicho sistema, además, N nodos relés (R_1-R_N) y un nodo destinatario (DS), siendo N al menos igual a 1, estando dicho programa caracterizado porque comprende instrucciones que, cuando el programa se ejecuta en el nodo fuente, realiza.

- 20 - Una codificación (E02) de los símbolos de información mediante combinaciones (X_1-X_{2N}) de dichos símbolos en elementos codificados ($X_{1,1}-X_{2N,2N}$) distribuidos según una matriz espacio-temporal (X), dependiendo los elementos codificados de cada una de las líneas y columnas de la matriz, respectivamente, de las combinaciones de dichos símbolos,
- 25 - transmisiones (E10) de N primeras líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia los N nodos relés y el nodo destinatario y
- transmisiones (E2) de N últimas líneas de elementos codificados de la matriz, desde el nodo fuente hacia el nodo destinatario.

30 **8.** Programa de ordenador capaz de ponerse en práctica en un nodo relé de un sistema cooperativo para codificar símbolos (s_1-s_M), comprendiendo dicho sistema un nodo fuente (SC), N nodos relés (R_1-R_N) y un nodo destinatario (DS), siendo N al menos igual a 1, estando dicho programa caracterizado porque comprende instrucciones que, cuando se ejecuta el programa en el nodo relé, realizan:

- 35 - una recepción (E11) de N líneas de elementos codificados ($X_{n,1}-X_{n,2N}$) resultantes de la codificación, en el nodo fuente, de los símbolos de información mediante combinaciones (X_1-X_{2N}) de dichos símbolos en los elementos codificados distribuidos según una matriz espacio-temporal (X), dependiendo los elementos codificados de cada una de las líneas y columnas de la matriz, respectivamente, de las combinaciones de dichos símbolos,
- 40 - una corrección (E12) de una de las N líneas recibidas, en una línea corregida, a partir de las N líneas recibidas y
- una transmisión (E2) de la línea corregida hacia el nodo destinatario.

45 **9.** Soporte de registro legible por un ordenador, en donde se registra un programa de ordenador conforme a la reivindicación 8.

50 **10.** Soporte de registro legible por un ordenador, en donde se registra un programa de ordenador conforme a la reivindicación 9.

55

FIG. 1

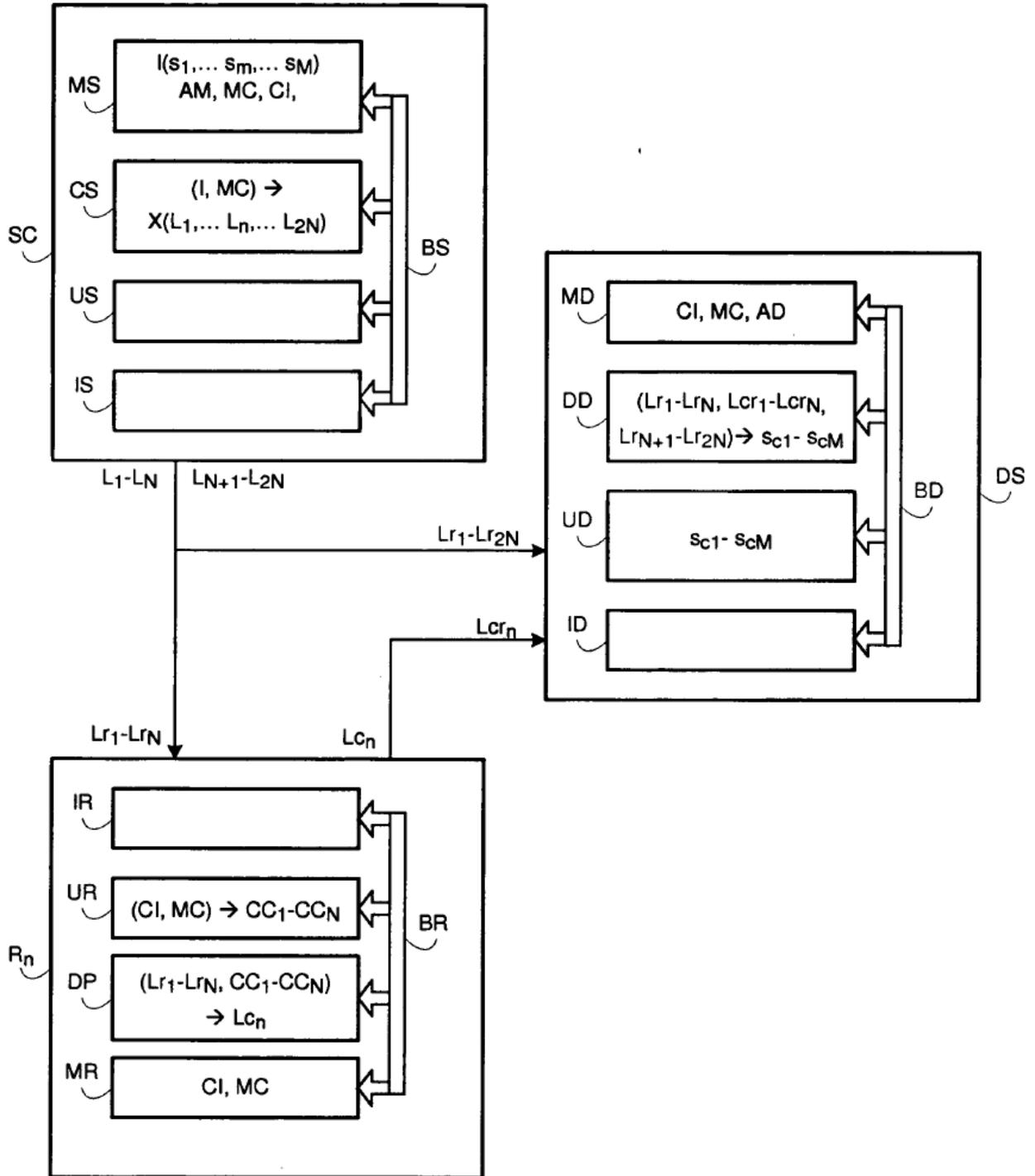


FIG. 2

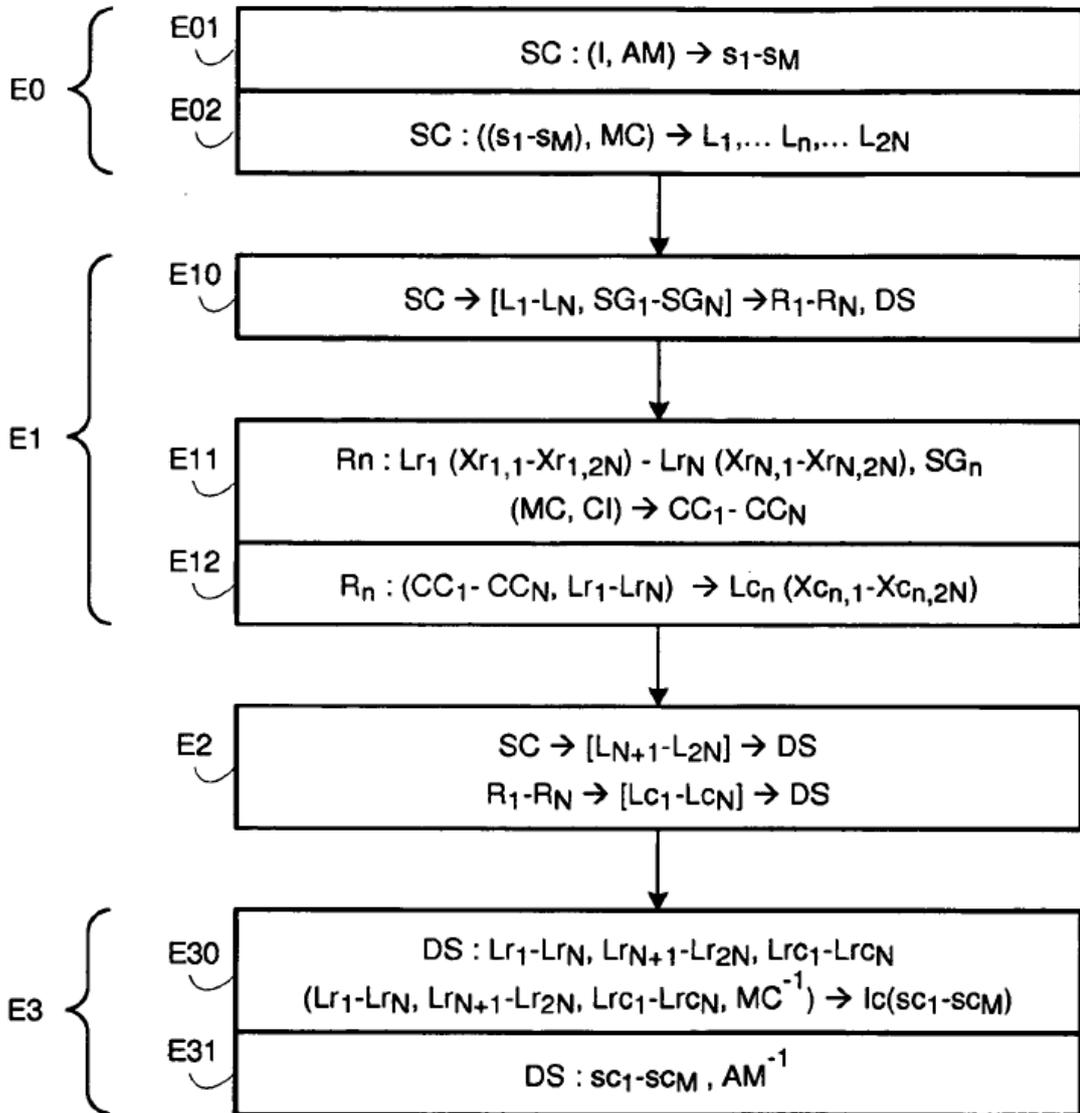


FIG. 3

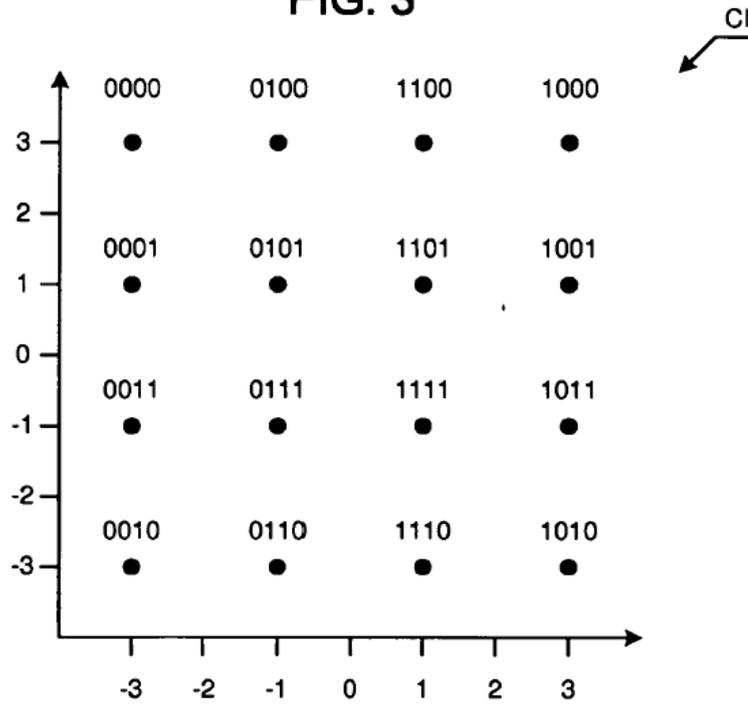


FIG. 4

