

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 834 108**

51 Int. Cl.:

H04L 1/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2013** **PCT/US2013/050229**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.01.2014** **WO14014761**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2013** **E 13819210 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2020** **EP 2873197**

54 Título: **Codificación de red distribuida determinista**

30 Prioridad:

16.07.2012 US 201261672208 P

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

16.06.2021

73 Titular/es:

CODE ON NETWORK CODING, LLC (100.0%)
15 Lanark Road
Wellesley, Massachusetts 02481, US

72 Inventor/es:

HO, TRACEY C. y
EFFROS, MICHELLE

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 834 108 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 de red distribuida determinista

5 **REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS**

La presente solicitud reivindica la prioridad de la Solicitud provisional US 61/672,208, presentada el 16 de julio de 2012. Además, la presente solicitud se puede relacionar con la Patente US 7,706,365.

10 **ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR**

Sector técnico

15 Los nodos en una red informática también pueden funcionar como codificadores. En particular, un nodo que funciona como un codificador no reenvía (es decir, retransmite o repite) simplemente información recibida desde un enlace de entrada, también codifica tal información. La codificación en un nodo en una red se conoce como codificación de red.

20 Las redes se pueden modelar como grafos con enlaces dirigidos de capacidad unitaria, una o varias fuentes discretas, y uno o varios receptores, tal como se muestra en R. Koetter y M. Medard, "An algebraic approach to network coding", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 11, edición 5, octubre de 2003. Un problema de comunicación común en redes es el problema de conexión de multidifusión, en el que todos los procesos de fuente se tienen que transmitir a cada uno de los nodos de receptor.

Descripción de la técnica relacionada

25 La codificación de red permite conexiones que no son posibles si se limitan al reenvío. En particular, se ha mostrado en R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y. R. Li, y R. W. Yeung, "Network Information Flow", IEEE Transactions on Information Theory y vol. 46, págs. 1204-1216 (2000), que, en general, no es óptimo simplemente enrutar o repetir la información que se va a difundir de manera múltiple. En cambio, empleando codificación en los nodos, se puede ahorrar ancho de banda en general.

30 Una red se puede representar como un grafo dirigido, tal como se muestra en R. Koetter y M. Medard, "Beyond Routing: An Algebraic Approach to Network Coding", Proceedings of the 2002 IEEE Infocom (2002). El grafo comprende nodos de fuente y nodos de receptor, en los que se pueden observar procesos aleatorios independientes discretos (procesos de fuente) en uno o varios de los nodos de fuente y se pueden observar procesos de salida en los nodos de receptor. En la referencia anterior, se da a conocer un algoritmo para encontrar una solución de codificación lineal a un problema de conexión de multidifusión dado, utilizando el conocimiento de toda la topología de la red.

40 Sin embargo, en aplicaciones en las que la comunicación está limitada o es cara, puede ser preferible determinar el comportamiento de cada nodo de manera distribuida. La determinación del comportamiento de nodo de manera distribuida se basa en información disponible localmente en cada nodo y/o señalización de control mínima, sin requerir coordinación centralizada o el conocimiento de la topología global de la red.

45 Se ha mostrado en T. Ho, R. Koetter, M. Medard, D. R. Karger y M. Effros, "The Benefits of Coding over Routing in a Randomized Setting", International Symposium on Information Theory (ISIT) 2003, que el problema de conexión de multidifusión se puede resolver de manera distribuida por medio de codificación de red lineal aleatoria.

50 Se ha mostrado en T. Ho, S. Jaggi, S. Vyetrenko y L. Xia, "Universal and Robust Distributed Network Codes", Infocom 2011, que el problema de conexión de multidifusión se puede resolver con códigos de red distribuidos deterministas con error cero, pero con una complejidad poco práctica y gran retardo.

55 La Patente EP2264930, a partir de cuyas enseñanzas se redacta el preámbulo de la reivindicación 1, da a conocer un procedimiento para generar coeficientes de codificación de red que se van a distribuir en una red, que tiene un nodo centralizado que lleva a cabo la determinación de los coeficientes de codificación de red.

La Patente EP1612982 da a conocer un mecanismo de distribución de contenido que permite que, como mínimo, un nodo de red intermedio, colocado entre una fuente y un cliente, genere y envíe paquetes que contienen una combinación lineal de contenido disponible en el nodo.

60 **CARACTERÍSTICAS**

La presente invención se refiere a una red según la reivindicación independiente 1 y a un procedimiento según la reivindicación 9. En las reivindicaciones dependientes se estipulan realizaciones preferentes.

65 Según realizaciones de la presente invención, en caso de elecciones subóptimas, los coeficientes se pueden ajustar

utilizando realimentación a partir de los nodos de receptor para mejorar la tasa de entrega de información.

Por tanto, a diferencia de los códigos con error cero en el documento mencionado anteriormente T. Ho, S. Jaggi, S. Vyetenko y L. Xia, "Universal and Robust Distributed Network Codes", Infocom 2011, en el que la elección de coeficientes de codificación conlleva una complejidad y un retardo que aumentan de manera exponencial en el número de nodos de red, las realizaciones de la presente invención consiguen una complejidad y un retardo que aumentan sólo de manera polinómica en el número de nodos de red, permitiendo una cierta posibilidad de error en la elección determinista inicial de coeficientes y utilizando realimentación para mejorar la elección de coeficientes.

En particular, los diseños de códigos de red deterministas anteriores son complejos puesto que restringen su elección de coeficientes de codificación a casos que garantizan el éxito en la entrega de la información a una velocidad máxima a sus receptores previstos. Sin embargo, presentar una garantía de este tipo sin conocimiento centralizado de la topología de la red conlleva una alta complejidad. Por otro lado, las realizaciones según la presente invención difieren de estos diseños anteriores al eliminar la garantía *a priori* de entrega de información a velocidad máxima. Permitiendo que se elijan coeficientes en cada nodo sin el requisito descrito anteriormente de corrección, la elección de coeficiente se simplifica enormemente. En particular, si la elección determinista inicial es subóptima, se puede utilizar realimentación para mejorar la velocidad a través de la utilización de enlaces bidireccionales o inversos.

Puesto que el enfoque según las realizaciones de la presente invención no depende de la topología de la red, se puede hacer funcionar de manera distribuida, y es robusto ante cambios en la topología de la red, incluyendo la adición o eliminación de enlaces, nodos, fuentes o receptores.

El enfoque según la presente invención es útil en entornos en los que se adoptan redes tales como redes de comunicaciones de ordenador (especialmente redes superpuestas, redes específicas o redes de sensores), y sistemas informáticos distribuidos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las figuras 1 y 2 muestran representaciones esquemáticas de redes acíclicas.

Las figuras 3A y 3B muestran un ejemplo adicional de red, en el que se muestran enlaces inversos (figura 3A) o bidireccionales (figura 3B) según una realización de la invención.

Las figuras 4 y 5 muestran representaciones esquemáticas de redes en las que se realizan elecciones deterministas de coeficientes.

La figura 6 muestra un diagrama de flujo según una realización de la presente invención.

La figura 7 muestra un sistema informático configurado para utilizarse según las enseñanzas de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Una primera realización de la presente invención se refiere a codificación de red a través de subgrafos acíclicos de redes. Tales subgrafos acíclicos se pueden construir utilizando, por ejemplo, las técnicas en D. S. Lun, N. Ratnakar, M. Medard, R. Koetter, D. R. Karger, T. Ho y E. Ahmed, "Minimum-Cost Multicast over Coded Packet Networks", IEEE Transactions on Information Theory, 52 (6), págs. 2608-2623, junio de 2006. Los datos procedentes de las fuentes se transmiten a través del subgrafo acíclico a los receptores. Si la red tiene enlaces bidireccionales o enlaces adicionales en el sentido inverso desde los nodos de receptor hasta nodos intermedios en el subgrafo, se puede utilizar realimentación a partir de los receptores para mejorar la velocidad de entrega de información.

Las figuras 1 y 2 muestran dos ejemplos de redes acíclicas que tienen nodos S de fuente y nodos R de receptor, y una pluralidad de nodos C intermedios. Los nodos intermedios permiten la comunicación de procesos de fuente a cada nodo R de receptor. Los nodos intermedios (véase el nodo 10, por ejemplo) tienen enlaces I de entrada y enlaces O de salida. Los enlaces I de entrada comunican señales de entrada al nodo 10, mientras que los enlaces O de salida comunican o transmiten señales de salida desde los nodos intermedios.

Las figuras 3A y 3B muestran un ejemplo adicional de red, en el que se muestran enlaces inversos (figura 3A) o bidireccionales (figura 3B). En particular, las figuras 3A y 3B muestran enlaces a modo de ejemplo que portan datos (etiquetados como "d") a un nodo R de receptor, y realimentación (etiquetada como "f") que se transmite en el sentido inverso. La figura 3A ilustra enlaces directos e inversos, mientras que la figura 3B ilustra enlaces bidireccionales.

La presente invención considera enfoques en los que los nodos de red eligen de manera determinista coeficientes de codificación de manera distribuida y transmiten en cada enlace saliente una combinación lineal de señales

entrantes, especificadas por un vector de coeficientes de codificación. La señal resultante es una combinación lineal de los procesos de fuente, de modo que se hará referencia a señales y vectores de manera intercambiable a continuación. Para evitar una alta complejidad, según varias realizaciones de la presente invención, las elecciones de coeficiente deterministas están diseñadas para conseguir velocidades óptimas en algunas topologías de red. Se pueden identificar posteriormente elecciones de coeficiente subóptimas y mejorarse utilizando realimentación, si se desea, a través de la presencia de enlaces inversos y/o bidireccionales en la red.

Si bien se puede utilizar cualquier elección determinista de coeficientes para obtener una solución subóptima, no necesariamente basándose en características de nodos y/o enlaces (por ejemplo, utilizando el mismo mapeo determinista para nodos y/o enlaces y después utilizando posiblemente realimentación para mejorar el mapeo), algunas propiedades son en general beneficiosas para obtener mejores velocidades en un intervalo más amplio de tipos y topologías de red. Esto puede ayudar a reducir la cantidad de realimentación, o la cantidad de pérdida de velocidad cuando no se utiliza realimentación. Como un ejemplo, en caso de nodos con múltiples enlaces salientes, es beneficioso en general que los enlaces salientes tengan coeficientes de codificación linealmente independientes. Adicionalmente, o como alternativa, es beneficioso en general que enlaces salientes desde nodos diferentes tengan coeficientes de codificación linealmente independientes, en la medida de lo posible, sometidos a restricciones de topología y complejidad. Como otro ejemplo, si la red experimenta pérdidas de paquetes, es beneficioso en general que cada paquete saliente desde un nodo tenga coeficientes de codificación que sean linealmente independientes a lo largo del tiempo de los coeficientes de codificación de un paquete saliente posterior desde el mismo nodo. Se proporcionan realizaciones de ejemplo en los dos párrafos siguientes.

En algunas realizaciones de la presente invención cada nodo se asocia con un número de nodo, que se puede obtener a partir de algunas características físicas asociadas al nodo (por ejemplo, sus coordenadas de ubicación, dirección IP, dirección de hardware o número de serie) o cualquier numeración determinista arbitraria de nodos (por ejemplo, si hay N nodos, se puede asignar a cada nodo un número de índice desde 1 hasta N en cualquier orden determinista arbitrario). Los números de nodo se pueden utilizar como entradas para un mapeo determinista de números de nodo local a coeficientes de codificación. Se puede hacer referencia, por ejemplo, a la figura 4, que muestra nodos a modo de ejemplo con índices h, i, j, k de una red, que se denominarán nodos h, i, j, k respectivamente, por motivos de brevedad. Tal como se muestra en la figura, el nodo i recibe enlaces desde los nodos h y j, mientras que el nodo k recibe un enlace desde el nodo i. Tal como también se muestra en la figura, el nodo j transmite un paquete A al nodo i, mientras que el nodo h transmite un paquete B al nodo i. El nodo i transmitirá un paquete C al nodo k, donde C es una combinación lineal de A y B. En particular,

$$C = c_{ijk}A + c_{ihk}B, \quad (1)$$

donde c_{ijk} y c_{ihk} son coeficientes elegidos de manera determinista. A modo de ejemplo,

$$c_{ijk} = (i + aj + bk) \bmod q, \quad (2)$$

mientras que

$$c_{ihk} = (i + ah + bk) \bmod q, \quad (3)$$

donde a y b son elementos constantes deterministas arbitrarios procedentes del alfabeto de código y q es el tamaño de alfabeto (para un alfabeto finito), o una constante adecuadamente grande. En otras palabras, (2) y (3) son mapeos deterministas de números de nodo local i, h, j, k a coeficientes de codificación. Si la red experimenta pérdidas de paquetes, se puede hacer que los coeficientes de codificación asociados con cada paquete saliente varíen a lo largo del tiempo sustituyendo las ecuaciones (2) y (3) con

$$c_{ijk} = (i + aj + bk + t) \bmod q, \quad (2')$$

y

$$c_{ihk} = (i + ah + bk + t) \bmod q, \quad (3')$$

respectivamente, donde t puede ser un contador local o una señal de reloj.

En otras realizaciones, cada enlace se asocia con un número de enlace, que se puede obtener a partir de algunas características físicas asociadas al enlace o cualquier numeración determinista arbitraria de enlaces (análoga a los números de nodo descritos en el párrafo anterior). Los números de índice de enlace se pueden utilizar como entradas para funciones deterministas que mapean números de enlace local con coeficientes de codificación. Se puede hacer referencia, por ejemplo, a la figura 5, que muestra enlaces a modo de ejemplo con índices h, i, j de una red, que se denominarán enlaces h, i, j respectivamente, por motivos de brevedad. Tal como se muestra en la figura, el enlace i se utiliza para transmitir el paquete A, el enlace h se utiliza para transmitir el paquete B, mientras que el

enlace j se utiliza para transmitir el paquete C , donde el paquete C es una combinación lineal de los paquetes A y B . En particular,

$$C = c_{ij}A + c_{hj}B, \quad (4)$$

donde c_{ij} y c_{hj} son coeficientes elegidos de manera determinista. A modo de ejemplo,

$$c_{ij} = (i + aj) \bmod q, \quad (5)$$

mientras que

$$c_{hj} = (h + aj) \bmod q, \quad (6)$$

donde a es un elemento constante determinista arbitrario procedente del alfabeto de código y q es el tamaño de alfabeto (para un alfabeto finito), o una constante adecuadamente grande. En otras palabras, (5) y (6) son mapeos deterministas de números de enlace local i, h, j a coeficientes de codificación. Adicionalmente, si la red experimenta pérdidas de paquetes, las ecuaciones (5) y (6) se pueden modificar de manera similar a lo que se hizo con las ecuaciones (2) y (3) anteriores.

En otras realizaciones, las funciones deterministas que mapean números de nodo o de enlace con coeficientes de codificación (véanse, por ejemplo, las ecuaciones (2), (3), (5) y (6)) se puede ver influidas por una realimentación desde nodos de receptor, si hay disponibles enlaces bidireccionales o inversos. Se puede hacer referencia, por ejemplo, a las figuras 3A y 3B mostradas anteriormente. Por ejemplo, se aplican secuencialmente varios mapeos deterministas diferentes, y para cada uno, los nodos de receptor realimentan sus velocidades recibidas a nodos de red ascendentes. Los nodos de red eligen entonces el mapeo con las velocidades más altas. Como otro ejemplo, la realimentación desde cada nodo de receptor indica el conjunto (o espacio nulo) de vectores recibidos en diferentes entradas, proporcionando una guía a nodos de red sobre si ajustar sus mapeos, basándose en si están recibiendo/enviando vectores fuera de este conjunto.

En otras realizaciones, no todos los nodos emplean codificación. Como un ejemplo, si un nodo tiene suficiente capacidad disponible para reenviar toda su información recibida a cada uno de sus vecinos del siguiente salto, no necesita realizar la codificación. Como otro ejemplo, una red puede comprender algunos nodos que están equipados con capacidad de codificación y otros que no; estos últimos nodos sólo reenvían. En otro escenario de ejemplo, un algoritmo de enrutamiento habitual, tal como I. Kou, G. Markowsky y L. Berman, "A Fast Algorithm for Steiner Trees", Acta Informatica, volumen 15, número 2, 1981, se utiliza para elegir coeficientes correspondientes a una solución (de enrutamiento) no codificada. Entonces se introduce codificación de red en un número limitado de nodos de red basándose en la realimentación desde nodos de receptor sobre sus velocidades recibidas. En el siguiente párrafo se proporciona un ejemplo de un esquema de este tipo. Tales realizaciones pueden reducir la sobrecarga de codificación en situaciones en las que la codificación no tiene beneficio o el beneficio es limitado.

En una de tales realizaciones, mostrada en la figura 6 en un formato de diagrama de flujo, los nodos de red emplean inicialmente el enfoque de la figura 4 o la figura 5 para elegir de manera determinista uno o dos conjuntos de coeficientes (etapa S1). Los nodos de red eligen entonces de manera determinista otro conjunto de coeficientes correspondientes a una solución no codificada (etapa S2), utilizando, por ejemplo, un algoritmo de enrutamiento habitual como el mencionado en el párrafo anterior. Cada nodo de receptor compara el rango de sus vectores recibidos según cada uno de los conjuntos de coeficientes (etapa S3). Si la solución no codificada tiene como resultado un rango menor que una de las soluciones codificadas, el nodo de receptor realimenta en cada uno de sus enlaces de entrada un vector ortogonal al espacio abarcado por los vectores recibidos en los otros enlaces de entrada (etapas S4 y S5). Cada nodo de codificación que recibe tal realimentación comprueba para ver si cualquiera de sus vectores de entrada tiene un producto interno no nulo con el vector de realimentación (etapas S6 y S7). Si es así, cambia el coeficiente de codificación que multiplica esa entrada a un valor no nulo correspondiente a uno de los conjuntos iniciales de coeficientes deterministas (etapa S8). Si no, reenvía la realimentación en sus enlaces de entrada (etapa S9).

En otras realizaciones, sólo algunos nodos emplean codificación determinista mientras que otros nodos pueden emplear técnicas de codificación aleatorizada existentes (tales como las mostradas en la Patente US 7,706,365 mencionada anteriormente) o no emplear codificación.

La información de gestión compuesta por las diversas combinaciones lineales se puede mantener y enviar a través de la red, para cada señal en la red, como un vector de coeficientes escalares para cada uno de los procesos de fuente, y actualizar en cada nodo de codificación aplicando las mismas combinaciones lineales o mapeos a los vectores de coeficiente que a las señales de información o datos.

Las realizaciones anteriores se pueden generalizar con respecto a una codificación lineal de vectores, considerando cada enlace como enlaces paralelos múltiples de menor capacidad, y considerando cada fuente como múltiples

fuentes coubicadas de menor velocidad.

Las realizaciones anteriores también se pueden generalizar con respecto a codificación de red convolucional a través de subgrafos con ciclos, considerando los coeficientes de codificación como polinomios en una variable de retardo.

Las realizaciones anteriores también se pueden generalizar con respecto a códigos de red en los que diferentes partes del subgrafo de fuente a colector emplean codificación de red lineal a través de diferentes alfabetos. En algunas realizaciones, el alfabeto se vuelve más grande con la distancia desde la fuente. En otras realizaciones, uno o varios nodos intermedios decodifican mensajes y los vuelven a codificar utilizando un campo diferente.

Los procedimientos y sistemas descritos en la presente invención se pueden implementar en hardware, software, firmware o una combinación de los mismos. Las características descritas como bloques, módulos o componentes se pueden implementar conjuntamente (por ejemplo, en un dispositivo lógico tal como un dispositivo lógico integrado) o de manera independiente (por ejemplo, como dispositivos lógicos conectados independientes). La parte de software de los procedimientos de la presente invención puede comprender un medio legible por ordenador que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan, realizan, como mínimo, en parte, los procedimientos descritos. El medio legible por ordenador puede comprender, por ejemplo, una memoria de acceso aleatorio (RAM) y/o una memoria de sólo lectura (ROM). Las instrucciones se pueden ejecutar mediante un procesador (por ejemplo, un procesador de señales digitales (DSP), un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), o una matriz de puertas programable por campo (FPGA)). A modo de ejemplo y no de limitación, tal como se muestra en la figura 7, la presente invención se puede implementar en un sistema informático (710) que comprende una memoria (720), un procesador (730), una interfaz de comunicaciones (740) y una disposición de interconexión (750) que acopla la memoria, el procesador y la interfaz de comunicación, en el que la memoria se codifica con instrucciones que utilizan codificación de red según los procedimientos de la presente invención.

Aunque se han mostrado varias realizaciones ilustrativas de la invención y se han descrito en la descripción anterior, a los expertos en la materia se les ocurrirán numerosas variaciones y realizaciones alternativas. Tales variaciones y realizaciones alternativas se contemplan, y se pueden realizar sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Red que comprende:

- 5 uno o varios nodos de fuente;
uno o varios nodos de receptor; y
nodos de codificación, que permiten la comunicación de procesos de fuente a cada nodo de receptor, estando
conectados los nodos de codificación con enlaces de entrada para la comunicación de señales de entrada a los
10 nodos de codificación y enlaces de salida para la comunicación de señales de salida desde los nodos de
codificación,
en la que las señales de salida desde los nodos de codificación son una combinación lineal de las señales de
entrada,
caracterizada por que una pluralidad de dichos nodos de codificación está configurada para generar coeficientes
de la combinación lineal utilizando números de nodo local o alternativamente números de enlace local como
15 entradas para un mapeo determinista de los números de nodo local o alternativamente de números de enlace local a
los coeficientes de la combinación lineal,
en la que
la combinación lineal de procesos transmitidos desde el uno o varios nodos de fuente presentes en cada señal en la
red se especifica como un vector de los coeficientes, correspondiendo cada coeficiente a un proceso que se va a
20 transmitir desde uno o varios nodos de fuente, y
en la que dichos nodos de codificación están configurados para actualizar y transmitir el vector de coeficientes
aplicando combinaciones lineales al vector de coeficientes, en la que las combinaciones lineales aplicadas al vector
de coeficientes son las mismas que las combinaciones lineales aplicadas a datos transmitidos a través de la red.
- 25 2. Red, según la reivindicación 1, en la que dicha pluralidad de nodos de codificación está configurada, además,
para generar de manera determinista coeficientes de la combinación lineal también en un contador local o una señal
de reloj.
- 30 3. Red, según la reivindicación 1, en la que dichos números de nodo y/o números de enlace se obtienen a partir de
características físicas asociadas a los nodos de codificación o los números de nodo y/o los números de enlace se
asignan en cualquier orden determinista.
- 35 4. Red, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la red comprende, además, enlaces
bidireccionales y/o inversos y en la que el mapeo se puede ajustar a través de realimentación desde los nodos de
receptor.
- 40 5. Red, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende, además, nodos de enrutamiento,
estando conectados los nodos de enrutamiento con enlaces de entrada para la comunicación de señales de entrada
a los nodos de enrutamiento y enlaces de salida para la comunicación de señales de salida desde los nodos de
enrutamiento, en la que las señales de salida desde un nodo de enrutamiento se obtienen a través del enrutamiento
sin codificación de las señales de entrada al nodo de enrutamiento.
- 45 6. Red, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que, como mínimo, algunos coeficientes elegidos
de manera determinista de una señal de salida de un primer nodo de codificación a través de un primer enlace
saliente del primer nodo de codificación son linealmente independientes con respecto a coeficientes elegidos de
manera determinista de una señal de salida del primer nodo de codificación a través de un segundo enlace saliente
del primer nodo de codificación.
- 50 7. Red, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que, como mínimo, algunos coeficientes elegidos
de manera determinista de una señal de salida de un primer nodo de codificación a través de un enlace saliente del
primer nodo de codificación son linealmente independientes con respecto a coeficientes elegidos de manera
determinista de una señal de salida de un segundo nodo de codificación a través de un enlace saliente del segundo
nodo de codificación.
- 55 8. Red, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que, como mínimo, algunos coeficientes elegidos
de manera determinista a partir de una primera señal de salida de un primer nodo de codificación a través de un
enlace saliente del primer nodo de codificación en un primer momento son linealmente independientes con respecto
a un coeficiente elegido de manera determinista a partir de una segunda señal de salida del primer nodo de
codificación a través del enlace saliente del primer nodo de codificación en un segundo momento.
- 60 9. Procedimiento para transmitir procesos desde una o varias fuentes a cada receptor de uno o varios receptores en
una red, comprendiendo el procedimiento:
proporcionar nodos de codificación entre la una o varias fuentes y el uno o varios receptores;
65 proporcionar, para cada nodo de codificación, enlaces de entrada para transmitir señales de entrada al nodo de
codificación, y enlaces de salida para transmitir señales de salida desde el nodo de codificación, siendo las señales

de salida una combinación lineal de las señales de entrada;
caracterizado por que el procedimiento comprende las etapas de:

- 5 generar en una pluralidad de dichos nodos de codificación coeficientes de la combinación lineal utilizando números de nodo local o alternativamente números de enlace local como entradas para un mapeo determinista de los números de nodo local o alternativamente de números de enlace local a los coeficientes de la combinación lineal, en el que la combinación lineal de procesos transmitidos desde el uno o varios nodos de fuente presentes en cada señal en la red se especifica como un vector de los coeficientes, correspondiendo cada coeficiente a un proceso que se va a transmitir desde el uno o varios nodos de fuente, y
- 10 en el que el vector de coeficientes se transmite a través de la red y se actualiza en dichos nodos de codificación aplicando combinaciones lineales al vector de coeficientes, en el que las combinaciones lineales aplicadas al vector de coeficientes son las mismas que las combinaciones lineales aplicadas a datos transmitidos a través de la red.
- 15 10. Procedimiento, según la reivindicación 9, que comprende la etapa de generar de manera determinista, en dicha pluralidad de nodos de codificación, coeficientes de la combinación lineal también en un contador local o una señal de reloj.
- 20 11. Procedimiento, según la reivindicación 9, en el que dichos números de nodo y/o números de enlace se obtienen a partir de características físicas asociadas al nodo de codificación o los números de nodo y/o los números de enlace se asignan en cualquier orden determinista.
- 25 12. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 9 a 11, en el que la red comprende, además, enlaces bidireccionales y/o inversos y en el que el mapeo se puede ajustar a través de realimentación desde los nodos de receptor.
- 30 13. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, que comprende, además, proporcionar nodos de enrutamiento, estando conectados los nodos de enrutamiento con enlaces de entrada para la comunicación de señales de entrada a los nodos de enrutamiento y enlaces de salida para la comunicación de señales de salida desde los nodos de enrutamiento, en el que las señales de salida desde un nodo de enrutamiento se obtienen a través de enrutamiento sin codificación de las señales de entrada al nodo de enrutamiento.
- 35 14. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que, como mínimo, algunos coeficientes generados localmente de manera determinista de una señal de salida de un primer nodo de codificación a través de un primer enlace saliente del primer nodo de codificación son linealmente independientes con respecto a coeficientes generados localmente de manera determinista de una señal de salida del primer nodo de codificación a través de un segundo enlace saliente del primer nodo de codificación.
- 40 15. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que, como mínimo, algunos coeficientes generados localmente de manera determinista de una señal de salida de un primer nodo de codificación a través de un enlace saliente del primer nodo de codificación son linealmente independientes con respecto a coeficientes generados localmente de manera determinista de una señal de salida de un segundo nodo de codificación a través de un enlace saliente del segundo nodo de codificación.
- 45 16. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que, como mínimo, algunos coeficientes generados localmente de manera determinista a partir de una primera señal de salida de un primer nodo de codificación a través de un enlace saliente del primer nodo de codificación en un primer momento son linealmente independientes con respecto a un coeficiente generado localmente de manera determinista a partir de una segunda señal de salida del primer nodo de codificación a través del enlace saliente del primer nodo de codificación en un segundo momento.
- 50

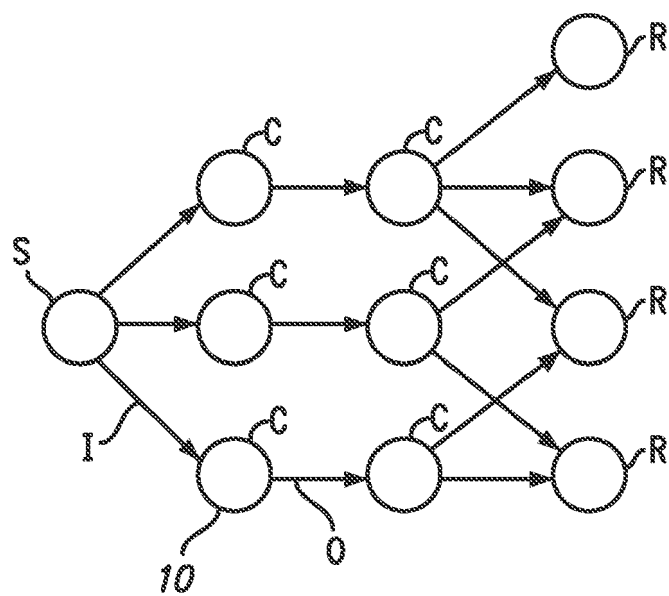


FIG. 1

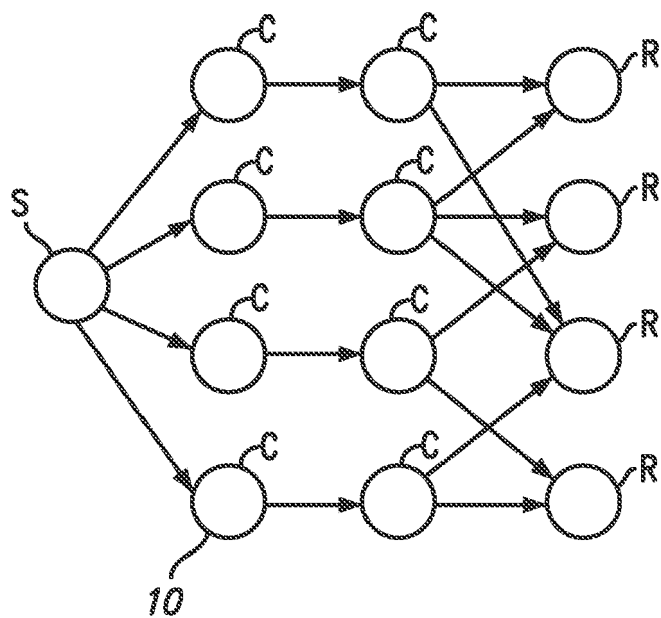


FIG. 2

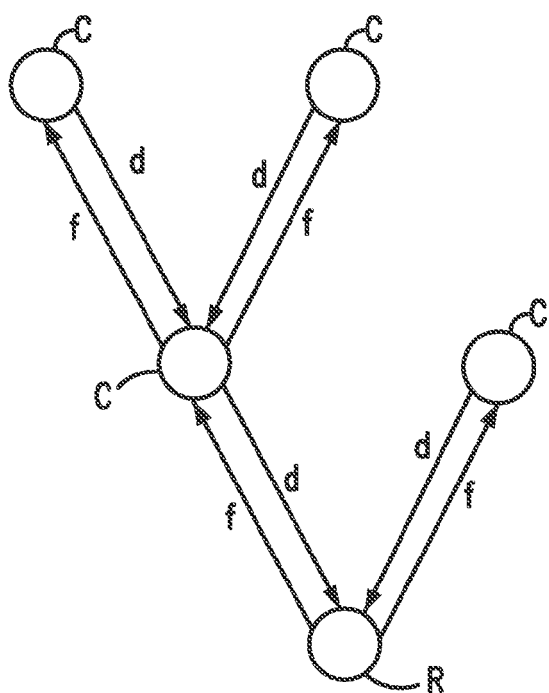


FIG. 3A

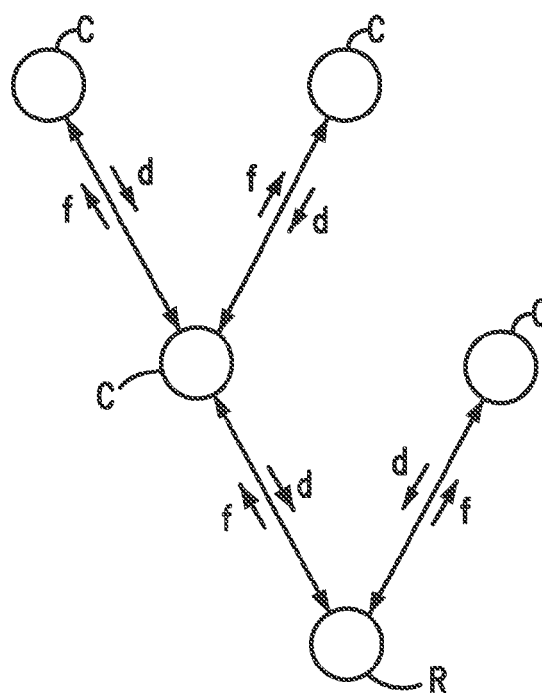


FIG. 3B

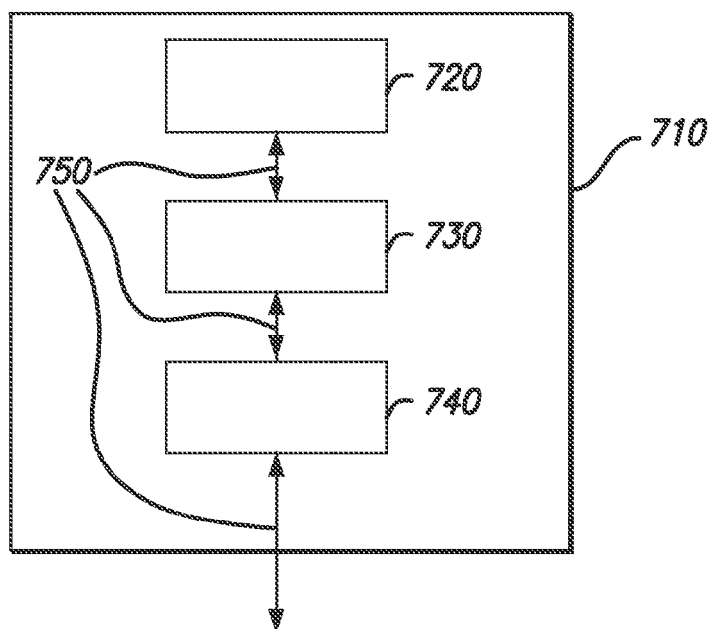


FIG. 7

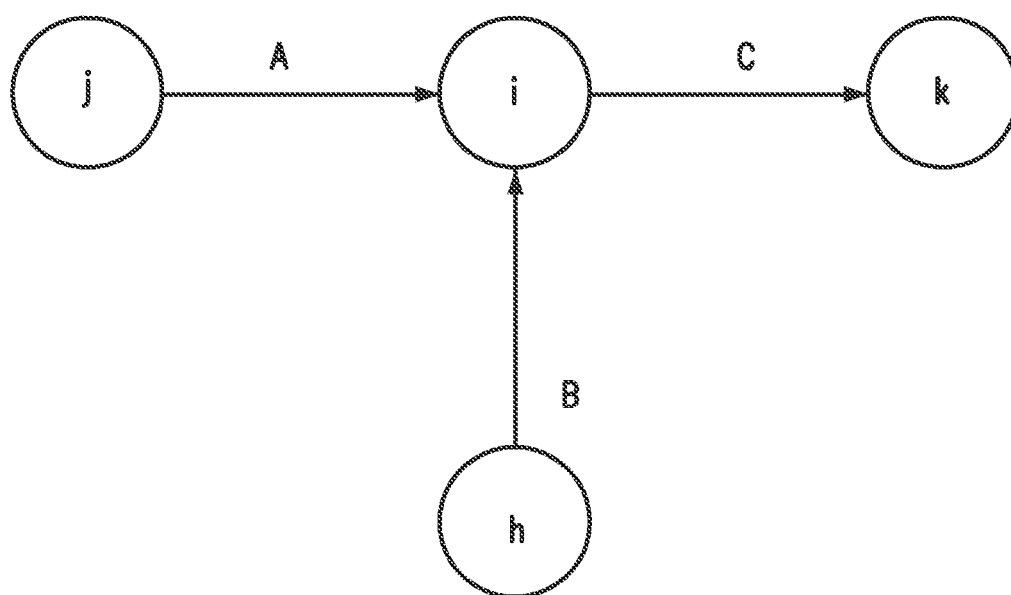


FIG. 4

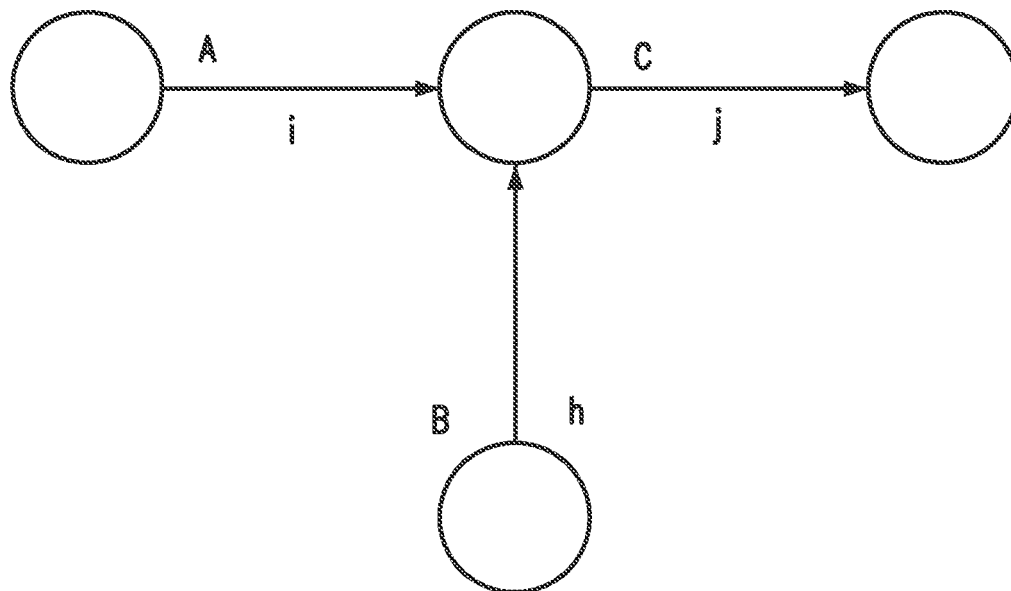


FIG. 5

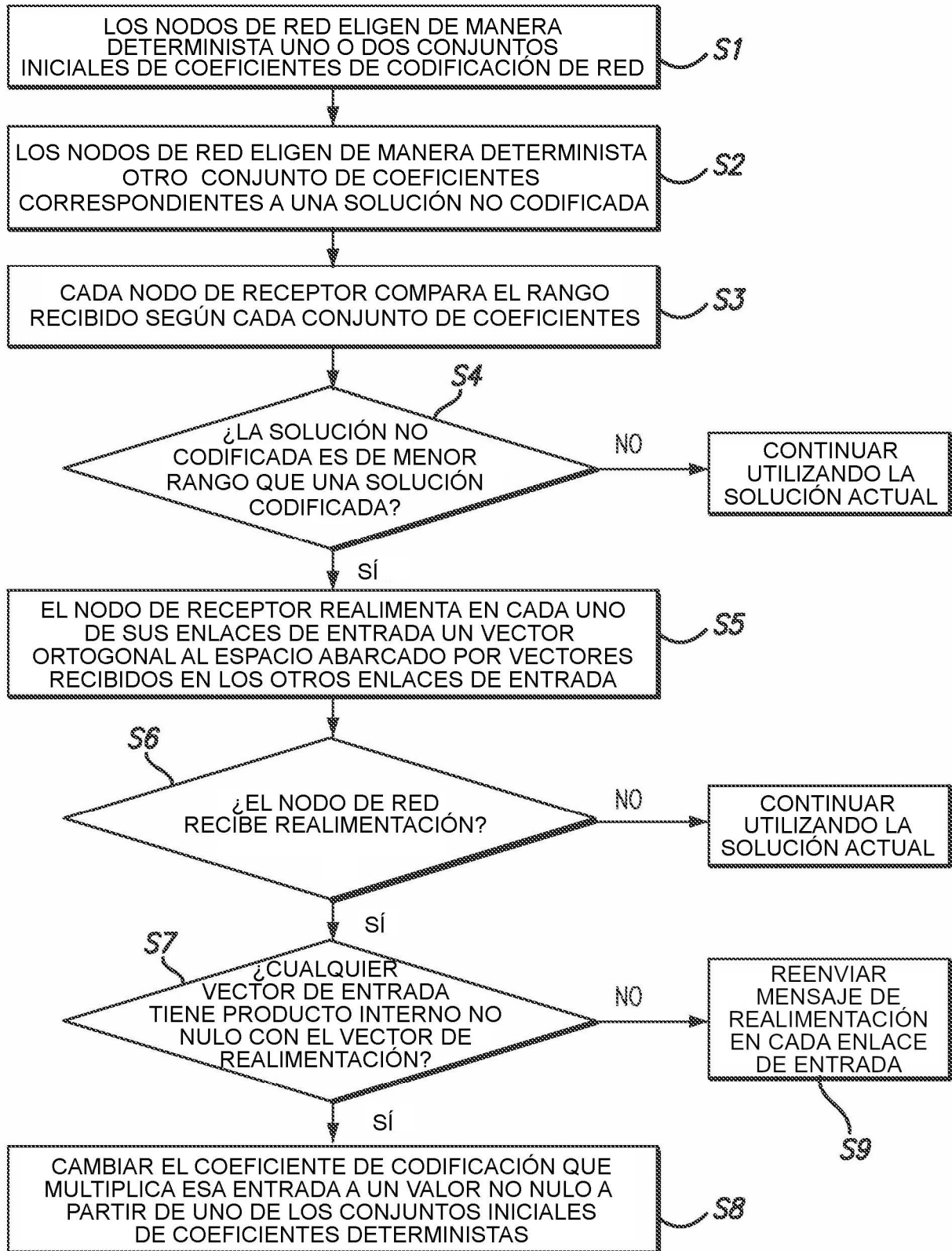


FIG. 6

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.*

Documentos de patentes citados en la descripción

10

- US 61672208
- US 7706365 B
- EP 2264930 A
- EP 1612982 A

Literatura no patente citada en la descripción

- R. KOETTER ; M. MEDARD. An algebraic approach to network coding. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, October 2003, vol. 11 (5)
- R. AHLWEDE ; N. CAI ; S.-Y. R. LI ; R. W. YEUNG. Network Information Flow. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2000, vol. 46, 1204-1216
- R. KOETTER ; M. MEDARD. Beyond Routing: An Algebraic Approach to Network Coding. *Proceedings of the 2002 IEEE Infocom*, 2002
- T. HO ; R. KOETTER ; M. MEDARD ; D. R. KARGER ; M. EFFROS. The Benefits of Coding over Routing in a Randomized Setting. *International Symposium on Information Theory (ISIT)*, 2003
- T. HO ; S. JAGGI ; S. VYETRENKO ; L. XIA. Universal and Robust Distributed Network Codes. *Infocom*, 2011
- D. S. LUN ; N. RATNAKAR ; M. MEDARD ; R. KOETTER ; D. R. KARGER ; T. HO ; E. AHMED. Minimum-Cost Multicast over Coded Packet Networks. *IEEE Transactions on Information Theory*, June 2006, vol. 52 (6), 2608-2623
- I. KOU ; G. MARKOWSKY ; L. BERMAN. A Fast Algorithm for Steiner Trees. *Acta Informatica*, 1981, vol. 15 (2)

15