

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 778 678**

51 Int. Cl.:

H04L 1/00 (2006.01)

H04L 1/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.02.2015 PCT/EP2015/052890**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.09.2015 WO15135716**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2015 E 15705263 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2020 EP 3117546**

54 Título: **Codificación de borrado de paquetes de bajo retardo**

30 Prioridad:

14.03.2014 GB 201404535

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

11.08.2020

73 Titular/es:

**NATIONAL UNIVERSITY OF IRELAND,
MAYNOOTH (50.0%)
Maynooth, County Kildare, IE y
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
(50.0%)**

72 Inventor/es:

**SAAVEDRA, ANDRES GARCIA;
KARZAND, MOHAMMAD;
LEITH, DOUGLAS y
MEDARD, MURIEL**

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 778 678 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 borrado de paquetes de bajo retardo

5 **Campo**

La presente solicitud se refiere a la codificación de borrado en una red de comunicación de datos.

10 **Antecedentes de la invención**

15 Cuando se transmiten paquetes a través de una red de comunicaciones, pueden perderse paquetes por diversas razones, por ejemplo debido a ruido sobre los enlaces inalámbricos, al desbordamiento de colas de espera, a fallos de la memoria caché, etcétera. La retransmisión de paquetes perdidos hace que aumente el retardo en la comunicación y, para evitar esto, pueden enviarse paquetes codificados redundantes adicionales y, a partir de los mismos, un receptor puede reconstruir paquetes perdidos – a esto se le hace referencia, típicamente, como corrección directa de errores (FEC).

20 El planteamiento convencional de la FEC consiste en segmentar un flujo continuo de paquetes de información en bloques disjuntos de NR paquetes de tamaño, donde N es el tamaño del bloque y R la tasa de codificación. A continuación, se transmiten inmediatamente N(1-R) paquetes codificados correspondientes a un bloque después de que se hayan transmitido todos los paquetes de información del bloque, y cada paquete codificado puede ayudar al receptor a reconstruir cualquiera de los paquetes de información dentro del bloque especificado (aunque no paquetes de ningún otro bloque).

25 Por ejemplo, considérese un flujo continuo de paquetes de información indexado como $k=0,1,2,\dots$. El mismo se segmenta en bloques de tamaño NR, de manera que un bloque K contiene los paquetes de información K, K+1, ..., K+NR-1. Obsérvese que cada paquete de información se asigna a un único bloque. Para el bloque K, pueden generarse paquetes codificados de muchas maneras. Uno de los ejemplos es por codificación lineal aleatoria, según se describe a continuación.

30 Y lo que es más importante, un paquete codificado (i) contiene información sobre cada paquete de información del bloque K, y (ii) no contiene información sobre paquetes de otros bloques. Esto se ilustra en la figura 1, donde un código de bloque convencional consistente en NR=4 paquetes de información u_1, u_2, u_3 y u_4 viene seguido por dos paquetes codificados redundantes e_1 y e_2 . De este modo, el bloque ilustrado en la figura 1 presenta un tamaño de
35 bloque de N=6, y una tasa de codificación de $R=2/3$.

40 El razonamiento en el que se basa la transmisión de paquetes codificados después de que se hayan enviado todos los paquetes de información de un bloque tiene dos vertientes. En primer lugar, esa causalidad requiere que un paquete codificado únicamente pueda proteger paquetes de información transmitidos antes del paquete codificado. En segundo lugar, al transmitir paquetes codificados después de todos los paquetes de información de un bloque cada paquete codificado puede ayudar entonces a proteger todos los paquetes de información de un bloque. Esto garantiza que los paquetes redundantes ofrezcan la protección requerida contra la pérdida esperada de paquetes y que hagan un uso mínimo de la capacidad disponible de caudal de la red. De hecho, este planteamiento convencional de codificación por bloques es óptimo en cuanto al caudal en términos asintóticos, es decir, maximiza
45 el uso de la capacidad disponible de la red cuando el tamaño del bloque se hace suficientemente grande.

No obstante, debido a que los paquetes codificados se sitúan al final de un bloque, la recuperación de paquetes perdidos no puede tener lugar hasta que se haya transmitido y recibido la totalidad de los NR paquetes de información, y, por lo tanto, la corrección de errores se logra a costa de un retardo que es aproximadamente
50 proporcional al tamaño del bloque NR. Típicamente, los paquetes de información se tienen que entregar ordenados a una aplicación en el receptor. Por tanto, cuando se pierde un paquete, la totalidad de paquetes de información subsiguientes se debe almacenar en memoria intermedia en el receptor hasta que pueda reconstruirse el paquete de información que falta, y, por ello, todos estos paquetes padecen un retardo creciente proporcional al tamaño del bloque NR.

55 La maximización del uso de la capacidad disponible de caudal ha sido, tradicionalmente, un objetivo de diseño principal en las redes de comunicación, incluso a costa de un alto retardo, ya que la capacidad del caudal ha sido el recurso más escaso de la red. No obstante, en las redes actuales, hay disponible, habitualmente, una capacidad en exceso de la red debido al planteamiento predominante del sobredimensionamiento en la gestión de la calidad de servicio de la red. Es decir, la capacidad de la red ya no es, normalmente, el recurso más escaso de la misma. El cuello de botella principal del rendimiento es, en cambio, el retardo, y lograr un retardo bajo se está convirtiendo
60 en uno de los motores principales del diseño incluso si la obtención de un retardo bajo se alcanza a costa de un uso menos eficiente de la capacidad disponible del caudal de la red.

65 Teniendo en cuenta lo anterior, resulta difícil garantizar una entrega ordenada de paquetes con bajo retardo a través de un enlace de comunicaciones con pérdidas. El planteamiento convencional consiste en usar códigos de

bloque según se ha descrito anteriormente, posiblemente con la adición de la retransmisión de paquetes perdidos para la recuperación de fallos de descodificación. Los códigos de convolución (según se usan, ampliamente, en la capa física sobre enlaces inalámbricos) son un caso especial de este tipo de esquema de código de bloque más retransmisión. Debido a que el retardo por la entrega ordenada con dichos códigos es aproximadamente

5 proporcional al tamaño de bloque NR, la mayoría del trabajo hasta la fecha para reducir el retardo se ha centrado en trabajar con tamaños de bloque más pequeños, aunque manteniendo la misma construcción del código según la cual se sitúan paquetes codificados al final del bloque de transmisión – véase, por ejemplo, “On a Class of Optimal Rateless Codes”, de Subramanian & Leith, Proc Allerton Conference 2008 y las referencias que aparecen

10 en dicho documento. En el caso especial de pérdidas de paquetes por ráfagas con un límite superior conocido sobre el número de pérdidas de paquetes, Martinian ha propuesto una construcción de códigos de bajo retardo aunque esto no es sistemático (los paquetes de información no se transmiten nunca sin codificar) y se limita a un canal de pérdidas específico, véase “Burst Erasure Correction Codes with Low Decoding Delay”, de Martinian & Sundberg, IEEE Trans Information Theory, 2004.

15 El documento US2010/046371 da a conocer el uso de una política de configuración de colas del tipo “suprimido una vez visto” combinada con una forma de ARQ (solicitud automática de repetición) codificada sobre la base de una realimentación procedente de receptores, de paquetes vistos. Esto apunta a la transmisión de un conjunto de paquetes a múltiples receptores (multidifusión/difusión) y se centra en un mecanismo para la retransmisión de paquetes codificados tras una pérdida. Cuando existe solamente un único receptor (unidifusión), el documento

20 US2010/046371 vuelve a la retransmisión de paquetes sin codificar. Obsérvese que un paquete ha sido “visto” cuando el mismo ha contribuido a un paquete codificado recibido y no se ha declarado previamente como visto. Puede haber sido descodificado o no.

25 Sigue existiendo una necesidad de afrontar los problemas descritos anteriormente.

Sumario

Los presentes principios dados a conocer proporcionan un método para intercalar temporalmente paquetes codificados redundantes entre paquetes de información de una manera que reduce considerablemente los retardos

30 en comparación con el planteamiento convencional de códigos de bloque. La intercalación de los paquetes codificados depende de la tasa de pérdidas de paquetes y de otros factores.

Por lo tanto, la presente solicitud proporciona un método según se detalla en la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se proporcionan características ventajosas.

35

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirá la presente solicitud haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

40 la figura 1 ilustra un código de bloque convencional compuesto por cuatro paquetes de información seguidos por dos paquetes codificados redundantes, los paquetes codificados protegen los paquetes de información u_1 a u_4 solamente;

45 la figura 2 es un diagrama de bloques de una arquitectura de red que comprende un nodo de transmisión y un nodo receptor;

la figura 3 ilustra una estructura típica de un encabezamiento de codificación de red de un paquete codificado redundante;

50 la figura 4 ilustra una secuencia temporal de paquetes de información sin codificar y paquetes codificados redundantes;

la figura 5 ilustra el orden de transmisión de cuatro paquetes de información con dos paquetes codificados redundantes intercalados de manera equidistante entre los paquetes de información;

55

la figura 6 es una gráfica que ilustra el retardo medio con respecto al número total de paquetes transmitidos para la codificación por bloques y la codificación de bajo retardo de acuerdo con una forma de realización de los presentes principios dados a conocer;

60 la figura 7a es una gráfica que ilustra mediciones del retardo por entrega ordenada de paquetes cuando se usa un código de bloque convencional sobre un canal de borrado con una tasa de pérdidas de paquetes de 0.01, $N=10,000$, y $R=0.99$; y

65 la figura 7b es una gráfica que ilustra el retardo medido correspondiente por entrega ordenada cuando se usa una separación equidistante de paquetes codificados.

Descripción detallada de los dibujos

Los presentes principios dados a conocer proporcionan un método de planificación de la transmisión de paquetes codificados para reducir significativamente el retardo por entrega ordenada de paquetes en un receptor. La figura 2 es un diagrama de bloques de una arquitectura de red 300 que comprende un nodo de transmisor 100 y un nodo receptor 200. Se transmiten paquetes de información u_i desde el nodo transmisor 100 al nodo receptor 200 a través de un trayecto de red 400. Entre los paquetes de información u_i se intercalan paquetes codificados redundantes e_j para recuperar paquetes de información perdidos. El nodo transmisor 100 está configurado para llevar a cabo los métodos de los presentes principios dados a conocer.

En el contexto de los presentes principios, se considera que un paquete presenta una longitud de paquete fija, encapsulando cada paquete una pluralidad de símbolos de datos. Los símbolos correspondientes de un paquete a otro comprenden, típicamente, flujos continuos de símbolos paralelos, llevándose a cabo todas las operaciones de codificación y descodificación a nivel de símbolos en el paquete entero. Es decir, un paquete completo sirve como unidad básica de datos, es decir, como una única incógnita, llevándose a cabo la misma operación sobre cada uno de una pluralidad de símbolos de datos dentro del paquete. Cada símbolo de datos se puede corresponder, por ejemplo, con un byte o palabra. La ventaja principal de esta interpretación es que pueden llevarse a cabo operaciones con matrices de descodificación a un nivel de granularidad de paquetes en lugar de símbolos individuales y, por tanto, la tara de los paquetes se puede distribuir sobre un número de símbolos.

En las formas de realización descritas en la presente memoria, los paquetes de información se envían en un formato sin codificar y solamente los paquetes redundantes se envían en un formato codificado. Un paquete de información sin codificar contiene uno o más símbolos de datos. En las formas de realización, un paquete codificado se crea como una combinación de paquetes de información transmitidos previamente. Si se dispone de una realimentación del receptor, la construcción de los paquetes codificados se puede simplificar excluyendo paquetes de información de los cuales se sabe que han llegado sin incidentes al nodo receptor 200. Por ejemplo, se puede crear un paquete codificado formando una combinación lineal aleatoria de paquetes de información enviados previamente pero sin acuse de recibo. El encabezamiento de un paquete codificado contiene información que es necesitada por el nodo receptor 200 para hacer uso del paquete codificado. A continuación, se describirá con mayor detalle la estructura del encabezamiento. En la figura 3 se ilustra un encabezamiento de codificación 1100 de un paquete codificado. Cuando se usa un código lineal aleatorio, el encabezamiento de codificación 1100 puede comprender al menos la siguiente información.

- n: El número de paquetes de información combinados en el paquete.
- k: El índice del primer paquete de información en la combinación codificada
- C: El valor semilla correspondiente a un generador de números pseudoaleatorios puede ser usado por el receptor para generar los coeficientes c_i usados en la combinación lineal aleatoria

Por lo tanto, gracias a la inclusión de la información anterior en el encabezamiento, en este último se puede transportar la identidad de la combinación específica de paquetes que constituyen un paquete codificado específico.

La figura 4 ilustra la estructura típica de un flujo continuo de paquetes de información transmitidos a través de un trayecto de red e intercalados temporalmente con paquetes codificados redundantes, según una forma de realización de los presentes principios dados a conocer. La flecha mostrada en la figura 4 indica progresión temporal. En referencia a la figura 4, cada paquete de información u_i puede comprender uno o más símbolos de datos s_1^i a s_n^i . Estos símbolos de datos pueden ser, por ejemplo, bits o bytes y se pueden mapear con valores en algún campo finito acordado, por ejemplo, GF(2) cuando los símbolos son bits y GF(256) cuando los símbolos son bytes. Los paquetes de información u_i se transmiten en un formato sin codificar. Los paquetes codificados redundantes e_j se intercalan temporalmente entre los paquetes de información u_i . Cada paquete codificado e_j comprende símbolos codificados, siendo cada símbolo codificado una combinación de los símbolos de datos anteriores. Por ejemplo, cuando se usa una codificación lineal aleatoria, entonces el paquete codificado e_j comprende símbolos codificados $e_i^j = \sum_{k=k}^{K+NR-1} c_k s_i^k$, $i=1,2,\dots,n$ donde c_k es un coeficiente de ponderación extraído uniformemente de manera aleatoria a partir del mismo campo finito que los símbolos de datos. Obsérvese que, puesto que en las formas de realización cada paquete codificado depende de paquetes de información anteriores, no limitados a paquetes de información en un bloque especificado, esta construcción del código es fundamentalmente diferente a una simple concatenación de códigos de bloque convencionales. Tal como se ha mencionado anteriormente, si se dispone de realimentación del receptor, del símbolo codificado e_i^j se pueden omitir símbolos de datos de paquetes de información que han sido vistos o descodificados en el nodo receptor 200. Asimismo como se ha descrito anteriormente, cada paquete codificado presenta un encabezamiento que informa al receptor sobre los valores de los coeficientes c_i , $i=1,2,\dots,n$ etcétera.

Con mayor detalle, supóngase que hay NR paquetes de información indexados como 1,2,...,NR y un fondo de N(1-R) paquetes redundantes adicionales. En una forma de realización de la presente invención, se intercalan de manera equidistante paquetes redundantes individuales entre los paquetes de información, es decir, se transmite un paquete redundante después de cada R/(1-R) paquetes de información. Esto se ilustra en la figura 5 para N=6, R=2/3.

El siguiente ejemplo se proporciona para explicar un esquema de codificación lineal aleatorio. En referencia nuevamente a la figura 5, supóngase que hay 4 paquetes de información u_1, u_2, u_3 y u_4 , y 2 paquetes codificados intercalados de manera equidistante e_1 y e_2 . Supóngase que se pierden los paquetes u_1 y u_2 , de manera que se reciben e_1, u_3, u_4 y e_2 . A partir de estos últimos, el nodo receptor puede construir las siguientes ecuaciones lineales:

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ u_3 \\ u_4 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1^1 & c_2^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ c_1^2 & c_2^2 & c_3^2 & c_4^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix}$$

(donde, en este caso, se usan u_1, u_2 etcétera para indicar símbolos de datos respectivos de los paquetes u_1, u_2 etcétera) y, por lo tanto, se puede reconstruir el conjunto completo de paquetes de información siempre que la matriz sea de rango completo. De este modo, u_1 y u_2 se pueden recuperar resolviendo las ecuaciones lineales.

En otro ejemplo, supóngase que se pierden u_1 y u_3 , y se reciben u_2, e_1, u_4 y e_2 . A partir de esta información, el nodo receptor puede construir las siguientes ecuaciones lineales:

$$\begin{bmatrix} u_2 \\ e_1 \\ u_4 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ c_1^1 & c_2^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ c_1^2 & c_2^2 & c_3^2 & c_4^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix}$$

De esta manera, pueden recuperarse u_1 y u_3 . En general, el paquete codificado e_j es una suma ponderada de un número de paquetes de información anteriores, y en particular, cuando haya disponible realimentación de un receptor, todos los paquetes de información enviados pero sin acuse de recibo. Por ejemplo, supóngase que se transmite un paquete codificado después de cada segundo paquete de información de manera que el flujo continuo de paquetes es $u_n, u_{n+1}, e_j, u_{n+2}, u_{n+3}, e_{j+1}$ y se pierden los paquetes de información u_n y u_{n+1} . A continuación, el nodo receptor puede reconstruir u_n y u_{n+1} después de recibir $e_j, u_{n+2}, u_{n+3}, e_{j+1}$ cuando disponga de las siguientes ecuaciones lineales:

$$\begin{bmatrix} e_j \\ u_{n+2} \\ u_{n+3} \\ e_{j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_n^j & c_{n+1}^j & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ c_n^{j+1} & c_{n+1}^{j+1} & c_{n+2}^{j+1} & c_{n+3}^{j+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_n \\ u_{n+1} \\ u_{n+2} \\ u_{n+3} \end{bmatrix}$$

Supóngase, a continuación, que se transmite el flujo continuo de paquetes $u_1, u_2, e_1, u_3, u_4, e_2, u_5, u_6, e_3, u_7, u_8, e_4$. Para un código de flujo continuo, e_1 es una suma ponderada de u_1 y u_2 , e_2 una suma de u_1 a u_4 , e_3 una suma de u_1 a u_6 , y e_4 una suma de u_1 a u_8 . De este modo, los paquetes codificados no se construyen sobre conjuntos disjuntos de paquetes de información sino que se construyen sobre conjuntos solapados de paquetes de información. Por lo tanto, esta construcción de código de flujo continuo difiere fundamentalmente con respecto a las construcciones convencionales de códigos de bloque.

Esencialmente, los ejemplos anteriores muestran que los paquetes recibidos conjuntamente satisfacen ecuaciones lineales algebraicas especificadas. Si se pierden algunos de los paquetes, el nodo receptor puede resolver las ecuaciones para obtener el(los) paquete(s) que falte(n).

El nodo transmisor puede aceptar paquetes de una fuente y almacenar en una memoria intermedia los paquetes, hasta que el nodo receptor acuse su recibo. A continuación, el nodo transmisor genera y envía combinaciones lineales aleatorias de los paquetes de la memoria intermedia. Los coeficientes usados en la combinación lineal se transportan, asimismo, en el encabezamiento de cada uno de los paquetes codificados.

Tras recibir un paquete codificado, en primer lugar el nodo receptor 200 recupera los coeficientes de codificación del encabezamiento y añade la combinación lineal a la matriz de base de su espacio de conocimiento. A continuación, el nodo receptor 200 determina qué paquete se acaba de ver de manera que se puede acusar el recibo de este paquete. El nodo receptor 200 asimismo puede mantener una memoria intermedia de combinaciones lineales de paquetes que no han sido descodificados todavía. Si se pierden algunos de los paquetes, el nodo receptor 200 puede resolver las ecuaciones lineales para obtener el(los) paquete(s) que falta(n).

La siguiente es una forma de realización preferida en la que no hay disponible ninguna realimentación del receptor. Supóngase que se va a transmitir un flujo continuo de paquetes de información indexados como $k=0,1,2,\dots$ a través de un trayecto de red con pérdidas. Sea p la tasa de pérdidas de paquetes sobre el trayecto de red. Se produce una pérdida de paquetes cuando uno o más paquetes de datos que viajan a través de un trayecto de red no consiguen llegar a su destino. La tasa de pérdida de paquetes se define como la tasa de pérdida de paquetes a través de un trayecto de red, y tiene un valor entre 0 y 1. Por ejemplo, una tasa de pérdida de paquetes de 1 indicaría que se pierden todos los paquetes. La transmisión del paquete codificado j se planifica después del paquete de información j/p . De este modo, puede observarse que la planificación de la transmisión del paquete codificado j es una función de la tasa de pérdida de paquetes p , y no un tamaño de código de bloque. Típicamente j/p no es un entero, en cuyo caso puede usarse la compartición temporal entre los valores $\text{floor}(j/p)$ y $\text{ceil}(j/p)$ de tal manera que el valor medio es j/p . El paquete codificado j se puede usar para ayudar a reconstruir cualesquiera paquetes de información que tengan un índice inferior a j/p , tal como se ha descrito anteriormente. El seudocódigo de esta forma de realización es el siguiente:

```

1:  Inicializar uncoded_nxt
2:   $p \leftarrow$  tasa de pérdidas de paquetes
3:   $n \leftarrow \text{floor}(1/p)$ 
4:  mientras no se reciban todos los paquetes de información
5:    Esperar hasta que se produzca una oportunidad de transmisión
6:    Si  $n \neq 0$  entonces
7:      enviar paquete no codificado uncoded_nxt
8:       $\text{uncoded\_nxt} \leftarrow \text{uncoded\_nxt} + 1$ 
9:       $n \leftarrow n-1$ 
10:   si no
11:     enviar paquete codificado, codificando sobre paquetes de información transmitidos previamente
12:      $\tilde{n} \leftarrow 1/p$ 
13:     
$$n = \begin{cases} \text{ceil}(\tilde{n}) & \text{con prob } \tilde{n} - \text{floor}(\tilde{n}) \\ \text{floor}(\tilde{n}) & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

14:   fin del si

```

Algoritmo 1: Codificación de bajo retardo

donde *uncoded_nxt* es el índice del siguiente paquete de información a transmitir y la línea 13 implementa la compartición temporal de paquetes codificados y de información.

Obsérvese que, en este método, no se hace uso de una codificación por bloques – los paquetes codificados no se construyen sobre conjuntos disjuntos de paquetes de información sino que, en cambio, se construyen usando conjuntos solapados de paquetes de información. Obsérvese, asimismo, que el código es sistemático. Es decir, los paquetes de información se envían sin codificar y únicamente los paquetes redundantes se envían en formato codificado, con lo cual se proporciona una implementación eficiente. Por último, obsérvese que el elemento clave de los presentes principios dados a conocer es la decisión sobre cuándo transmitir un paquete redundante/codificado dentro del flujo continuo de paquetes de información. De este modo, los presentes principios dados a conocer proporcionan un método para determinar cuándo planificar la transmisión de un paquete redundante/codificado. El aspecto clave de los presentes principios dados a conocer es la planificación de la transmisión de los paquetes codificados unos en relación con los otros. En efecto, se proporciona un método para determinar la intercalación de los paquetes codificados dentro de paquetes de información.

Tal como se ha mencionado anteriormente, la codificación lineal aleatoria es meramente un ejemplo de los métodos de mapeo que se pueden usar para construir paquetes codificados a partir de paquetes de información.

Habitualmente, está disponible realimentación del receptor, por ejemplo, por medio de paquetes ACK. Esta realimentación puede incluir información sobre los paquetes de información vistos o descodificados por el nodo receptor 200, los grados de libertad recibidos y los índices de los paquetes que se han perdido de entre el flujo continuo de paquetes transmitido. Una nueva unidad de información se corresponde matemáticamente con un grado de libertad. Esencialmente, una vez que se han obtenido n grados de libertad, puede descodificarse un mensaje que habría requerido n paquetes sin codificar. Una interpretación adecuada del grado de libertad permite ordenar los grados de libertad del receptor de una manera congruente con el orden de los paquetes de la fuente.

Siempre que se le permite al nodo transmisor 100 transmitir, el mismo envía una combinación lineal aleatoria de todos los paquetes en la ventana de codificación. En segundo lugar, el nodo receptor 200 acusa el recibo de grados de libertad y no paquetes originales. La noción de paquetes vistos define una ordenación de los grados de libertad que es congruente con los números de secuencia de los paquetes, y, por lo tanto, se puede usar para acusar el recibo de grados de libertad.

En los presentes principios dados a conocer, el método se puede adaptar para usar la información de realimentación de tres maneras. En primer lugar, puede usarse información sobre paquetes vistos/descodificados en el nodo receptor 200. No hay necesidad de codificar sobre paquetes de información de los que se sabe que han sido vistos o descodificados por el nodo receptor 200, simplificándose, así, la construcción de paquetes codificados. El uso de información de realimentación de esta manera es bien conocido, tal como se da a conocer, por ejemplo, en la patente US nº 8.526.451B2.

En segundo lugar, puede usarse información sobre grados de libertad recibidos y paquetes perdidos para adaptar la planificación de transmisión de paquetes redundantes/codificados. Específicamente, pueden transmitirse paquetes codificados adicionales si existe un déficit en los grados de libertad debido a una pérdida excesiva de paquetes, o pueden transmitirse menos paquetes codificados si se han producido menos pérdidas de paquetes que las esperadas.

En tercer lugar, puede usarse información sobre paquetes perdidos para estimar la tasa de pérdida de paquetes p , y adaptar la separación entre la codificación de paquetes si cambia p .

Por lo tanto, los presentes principios dados a conocer usan información de realimentación para adaptar la planificación de transmisión o la frecuencia de intercalación de paquetes codificados. Puede implementarse fácilmente una adaptación que hace uso de la realimentación, por ejemplo aplicando el siguiente pseudocódigo:

```

1: Inicializar uncoded_nxt
2: mientras no se reciban todos los paquetes de información
3:   Esperar hasta que se produzca una oportunidad de transmisión
4:   dofs ← grados de libertad recibidos notificados por el receptor
5:   dofs_inflight ← número de paquetes de datos enviados pero sin acuse de recibo
6:   p ← tasa de pérdida de paquetes
7:    $\tilde{n} \leftarrow ((uncoded\_nxt - dofs)/(1-p)) - dofs\_inflight$ 
8:   si  $\tilde{n} \leq 0$  entonces
35:      $n = \begin{cases} \text{ceil}(\tilde{n}) & \text{con prob } \tilde{n} - \text{floor}(\tilde{n}) \\ \text{floor}(\tilde{n}) & \text{en caso contrario} \end{cases}$ 
12.
13.     si  $(n > 0)$  entonces
14.       enviar paquete codificado, codificando sobre paquetes de información enviados pero sin
         acuse de recibo
40:   15: fin del si
16: fin del mientras

```

Algoritmo 2: Codificación de bajo retardo con realimentación del receptor

La línea 13 del Algoritmo 2 implementa el uso de realimentación sobre paquetes vistos/descodificados en el nodo receptor 200 cuando se construyen paquetes codificados. La línea 7 implementa el uso de realimentación sobre grados de libertad y paquetes perdidos para adaptar la planificación de transmisión o la frecuencia de intercalación de paquetes codificados. El uso de realimentación sobre paquetes perdidos permite llevar el registro de paquetes que están de camino.

Para un fondo dado de paquetes que pueden ser transmitidos (paquetes tanto codificados como de información), el método ofrece un retardo por entrega ordenada más bajo que cualquier código por bloques; véase, por ejemplo, la figura 6. La figura 6 ilustra el retardo medio con respecto al número total de paquetes transmitidos para la codificación por bloques (usando bloques de diversos tamaños) y la codificación de retardo bajo usando el Algoritmo 2. Velocidad del enlace: 25 Mbps, RTT: 60 ms, tasa de pérdida de paquetes: 10%, realimentación de receptor.

Quando el nodo transmisor 100 y/o el nodo receptor 200 tienen restricciones computacionales, puede resultar beneficioso limitar el número de paquetes de información que protege cada paquete codificado. Por ejemplo, para construir el paquete codificado j , en lugar de los símbolos codificados $e_i^j = \sum_{k=0}^{j/p} c_k s_i^k$, $i=1,2,\dots,n$, la suma se podría modificar a $e_i^j = \sum_{k=\max(\frac{j}{p}-N,0)}^{j/p} c_k s_i^k$, $i=1,2,\dots,n$ donde el parámetro N especifica el número máximo de paquetes de información usados para construir el paquete codificado. Alternativamente, el flujo continuo de paquetes de información se segmenta en trozos y se aplica el anterior código de flujo continuo dentro de cada trozo. Estas son

ampliaciones directas sobre el método.

5 En otra forma de realización de los presentes principios dados a conocer, se pueden posicionar paquetes codificados usando el siguiente planteamiento aleatorizado. Cada vez que surge una oportunidad de transmisión de un paquete, el nodo transmisor 100 tira una moneda sesgada y con una probabilidad R transmite un paquete de información y con una probabilidad $1-R$ transmite un paquete codificado. Igual que antes, los paquetes codificados se pueden construir de diversas maneras, por ejemplo, en forma de una combinación lineal aleatoria de paquetes de información anteriores.

10 En las figuras 7a y 7b se ilustran las ventajas posibles del rendimiento de retardo. La figura 7a muestra mediciones del retardo por entrega ordenada de paquetes cuando se usa un código por bloques convencional sobre un canal de borrado con una tasa de pérdida de paquetes de 0.01, $N=10,000$, y $R=0.99$. La figura 7b muestra el retardo medido correspondiente por entrega ordenada cuando se usa una separación equidistante de paquetes codificados. Puede observarse que, con el código por bloques convencional, el retardo está próximo al tamaño de bloque de 10,000. Por contraposición, con el esquema de bajo retardo, el retardo máximo es menor en un factor de 10.

20 Todavía en otra forma de realización, el transmisor 100 está dispuesto para transmitir paquetes a través de múltiples trayectos de red 400 al receptor 200. Típicamente, un transmisor de este tipo comprendería una serie de interfaces de red, que usan, cada una de ellas, tecnologías diferentes para acceder a Internet, tales como redes celulares o redes de acceso fijo así como redes de acceso locales por cable o inalámbricas. Estas tecnologías presentan diferentes características de calidad en términos de cobertura, capacidad, consumo de energía, disponibilidad geográfica y coste.

25 Se han propuesto varios esquemas para planificar la transmisión de paquetes de información a través de dichos trayectos de red, incluyendo los que se describen en la publicación PCT nº WO2011/101425, las patentes US nº US 8.780.693, US 8.036.226, US 8.824.480, US 7.230.921 y la publicación US nº US2013/0077501. De hecho, se puede utilizar cualquier esquema adecuado para planificar paquetes de información a través de dichos trayectos de red.

30 En una forma de realización multitrayecto, el transmisor 100 determina una tasa de pérdida de paquetes para cada trayecto de red, por ejemplo, según se ha descrito anteriormente. A continuación, el transmisor planifica la transmisión de paquetes codificados a través del trayecto disponible con la tasa de pérdidas más alta. Esto se basa en la observación de que, existe menos probabilidad de que se pierdan paquetes de información, pueden perderse paquetes codificados en la medida en la que es menos probable que sean necesarios.

40 Tal como se ha descrito anteriormente, los presentes principios dados a conocer proporcionan un método para intercalar paquetes redundantes entre paquetes de información de una manera que reduce considerablemente el retardo en comparación con el planteamiento convencional de código por bloques. El retardo no se limita a ser proporcional a bloques disjuntos de N paquetes de tamaño. Esta reducción sustancial del retardo sí que se produce a costa de una eficiencia reducida en la corrección de errores, por lo que los códigos resultantes ya no son competitivos en cuanto a capacidad. Sin embargo, puede resultar favorable cambiar capacidad por un menor retardo de esta manera ya que la capacidad puede ser abundante mientras que el retardo presenta fuertes limitaciones. Esto es así, habitualmente, en las redes de comunicación actuales.

45 Los vocablos comprende/comprendiendo, cuando se utilizan en la presente memoria descriptiva, están destinados a especificar la presencia de características, enteros, etapas o componentes mencionados, pero no excluyen la presencia o adición de otra u otras características, enteros, etapas, componentes o grupos de los mismos.

REIVINDICACIONES

1. Método de corrección de errores en una red de transmisión de datos, que comprende:

5 transmitir una pluralidad de paquetes de información sin codificar (u_1, u_2, \dots, u_n) a través de un trayecto de red (400) a un receptor dado (200);

10 transmitir una pluralidad de paquetes codificados (e_j, \dots, e_{j+1}) para recuperar paquetes de información sin codificar perdidos en la transmisión a dicho receptor a través de dicho trayecto de red, intercalándose temporalmente los paquetes codificados entre dichos paquetes de información sin codificar,

en el que cada paquete de información sin codificar comprende uno o más símbolos de datos sin codificar;

15 en el que:

los paquetes codificados se codifican utilizando una codificación de red lineal aleatoria y un paquete codificado e_j comprende uno o más símbolos codificados e_i^j determinados como:

$$e_i^j = \sum_{k=K}^{K+NR-1} c_k s_i^k,$$

20 $i=1,2,\dots,n$ en la que:

k es un índice;

25 j es un índice de paquete codificado;

n es un número de los uno o más símbolos de datos sin codificar en el paquete de información sin codificar;

30 e_i^j representa un símbolo codificado i -ésimo para un paquete codificado j -ésimo;

c_k representa un coeficiente de ponderación k -ésimo extraído aleatoriamente de un mismo campo finito que los símbolos de datos sin codificar;

35 s_i^k representa un símbolo de datos i -ésimo de un paquete de información sin codificar k -ésimo;

K un índice del primer paquete de información sin codificar utilizado para codificar el paquete codificado; y

40 NR es un número de paquetes de información, en el que N es un tamaño de bloque y R es una tasa de codificación determinada en función de una tasa de pérdida de paquetes;

en el que cada uno de los paquetes codificados se codifica basándose en paquetes de información sin codificar transmitidos antes de los mismos de manera que cada uno de los paquetes codificados no se limita a paquetes de información sin codificar en un bloque especificado; e

45 intercalar los paquetes codificados entre los paquetes de información sin codificar.

2. Método según la reivindicación 1, que comprende construir los paquetes codificados en función de conjuntos solapados temporalmente de paquetes de información.

50 3. Método según la reivindicación 1, que comprende determinar la intercalación de los paquetes codificados de acuerdo con una tasa de pérdida de paquetes esperada.

4. Método según la reivindicación 1, en el que una frecuencia de intercalación de los paquetes codificados se determina de acuerdo con información de realimentación recibida desde un nodo receptor.

55 5. Método según la reivindicación 4, en el que la información de realimentación comprende un acuse de recibo, ACK, que indica que un nodo receptor ha recibido una combinación de paquetes de información y qué paquete de información de la combinación de paquetes de información se ha visualizado recientemente.

60 6. Método según la reivindicación 4, en el que la información de realimentación comprende por lo menos uno de:

número de paquetes de información visualizados o descodificados por el receptor;

65 grados de libertad recibidos, indicados como **dofs**, notificados por el receptor; y

el número de paquetes *perdidos*.

- 5 7. Método según la reivindicación 6, que comprende construir los paquetes codificados independientemente de los paquetes de información que han sido visualizados o descodificados por el receptor.
- 10 8. Método según la reivindicación 6, en el que la frecuencia de intercalación de los paquetes codificados es: o bien inversamente proporcional a los grados de libertad recibidos, *dofs*; o bien es una función de la expresión $((\text{uncoded_nxt} - \text{dofs}) / (1 - p)) - \text{dofs_inflight}$, en la que *uncoded_nxt* es el índice del siguiente paquete de información que se va a transmitir, y *p* es la tasa de pérdida de paquetes y *dofs_inflight* es el número de paquetes de datos transmitidos pero sin acuse de recibo.
- 15 9. Método según la reivindicación 1, en el que la tasa de pérdida de paquetes comprende una tasa de pérdida de paquetes de trayecto de red.
10. Método según la reivindicación 1, que comprende recibir un acuse de recibo, ACK, cuando un nodo receptor recibe una combinación lineal aleatoria de paquetes de información y determinar qué paquete de información de dicha combinación lineal aleatoria de paquetes de información se ha visualizado recientemente.
- 20 11. Método según la reivindicación 1, que comprende incluir un coeficiente de codificación respectivo en un encabezamiento de cada paquete codificado, seleccionándose el coeficiente de codificación de entre un campo finito especificado que comprende el campo binario GF(2) o GF(256).
- 25 12. Método según la reivindicación 1, que comprende transmitir dichos paquetes de información sin codificar a través de una pluralidad de trayectos de red, que incluye: determinar una tasa de pérdida de paquetes para cada uno de dicha pluralidad de trayectos de red; y transmitir dicha pluralidad de paquetes codificados a través del trayecto de red disponible con la tasa de pérdida de paquetes más elevada.
- 30 13. Método según la reivindicación 1, en el que la tasa de pérdida de paquetes comprende una tasa de pérdida de paquetes esperada.
14. Nodo transmisor que presenta unos medios para llevar a cabo el método según la reivindicación 1.

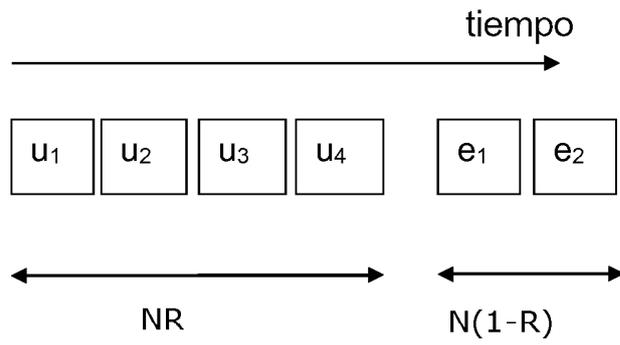


Figura 1 (Técnica Anterior)

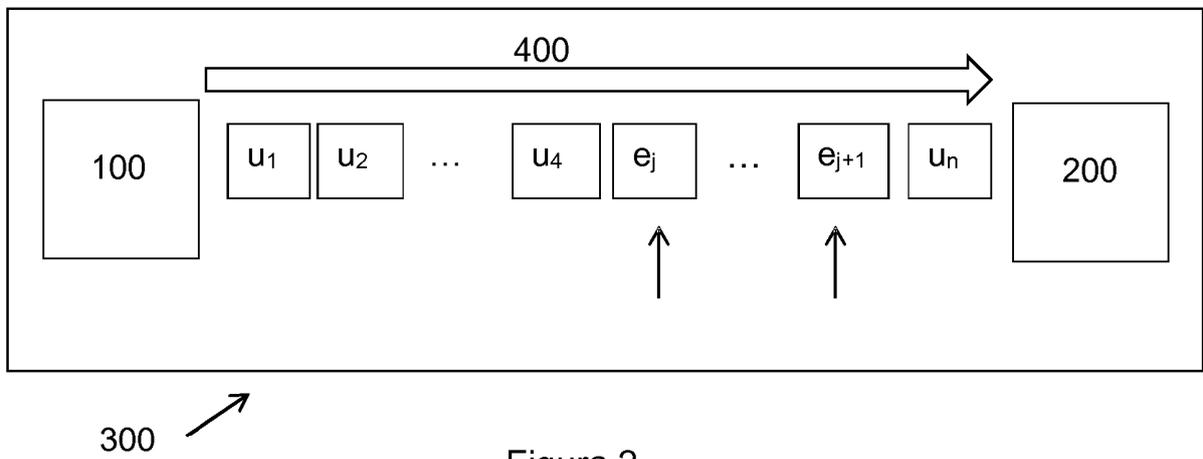


Figura 2

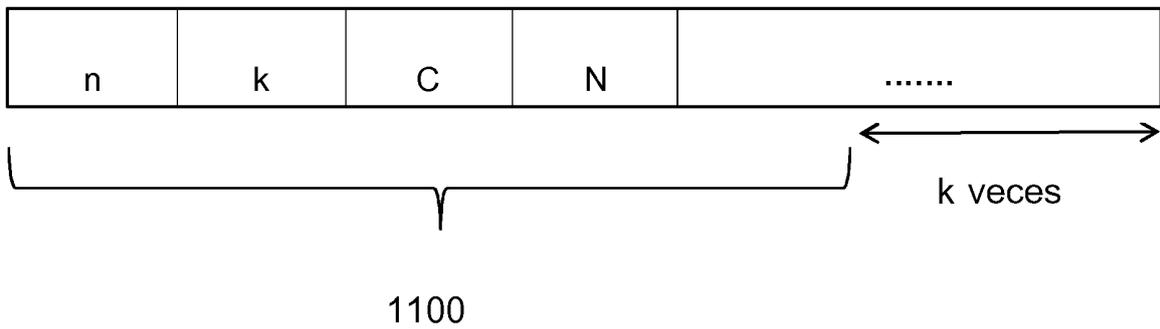


Figura 3

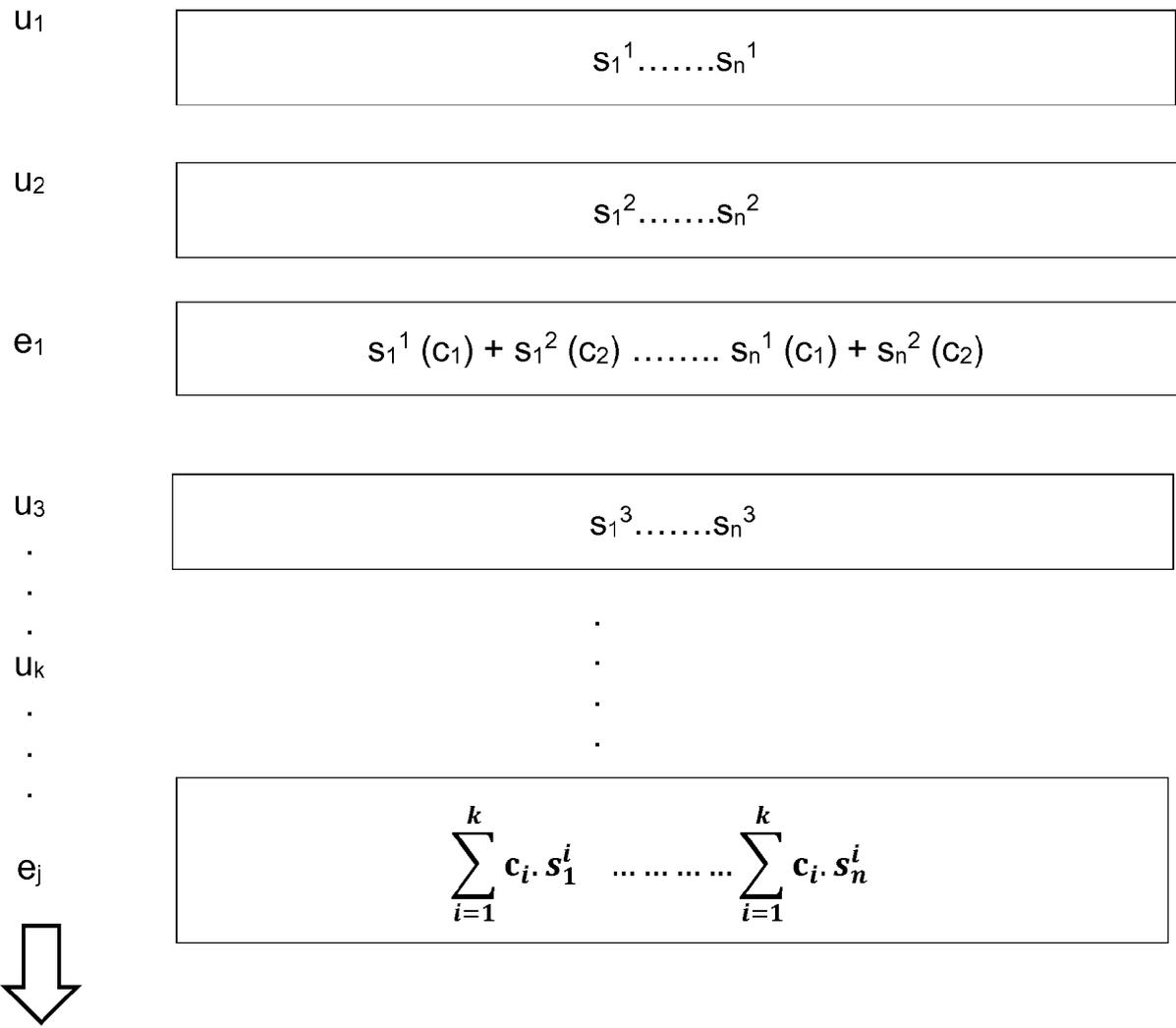


Figura 4

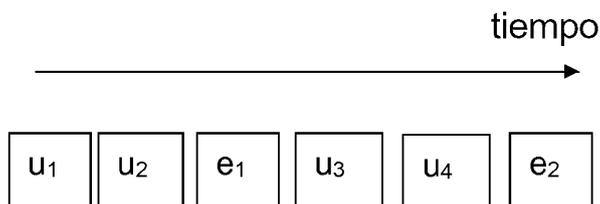


Figura 5

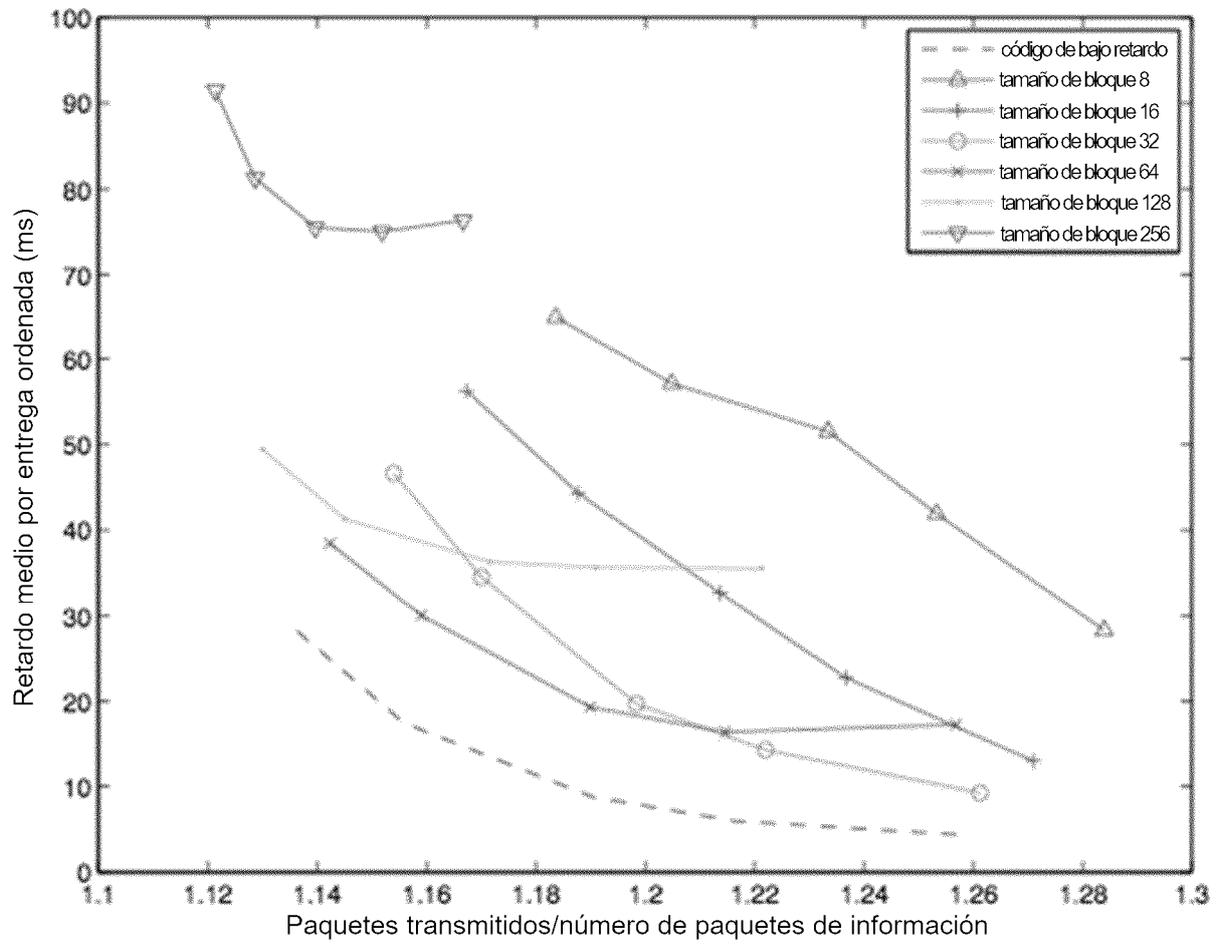


Figura 6

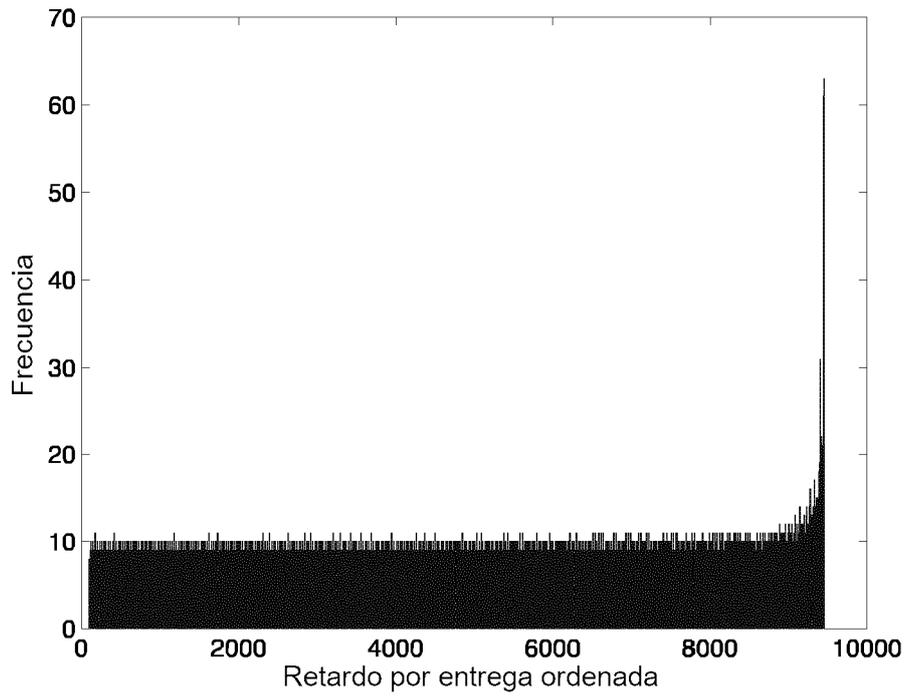


Figura 7a

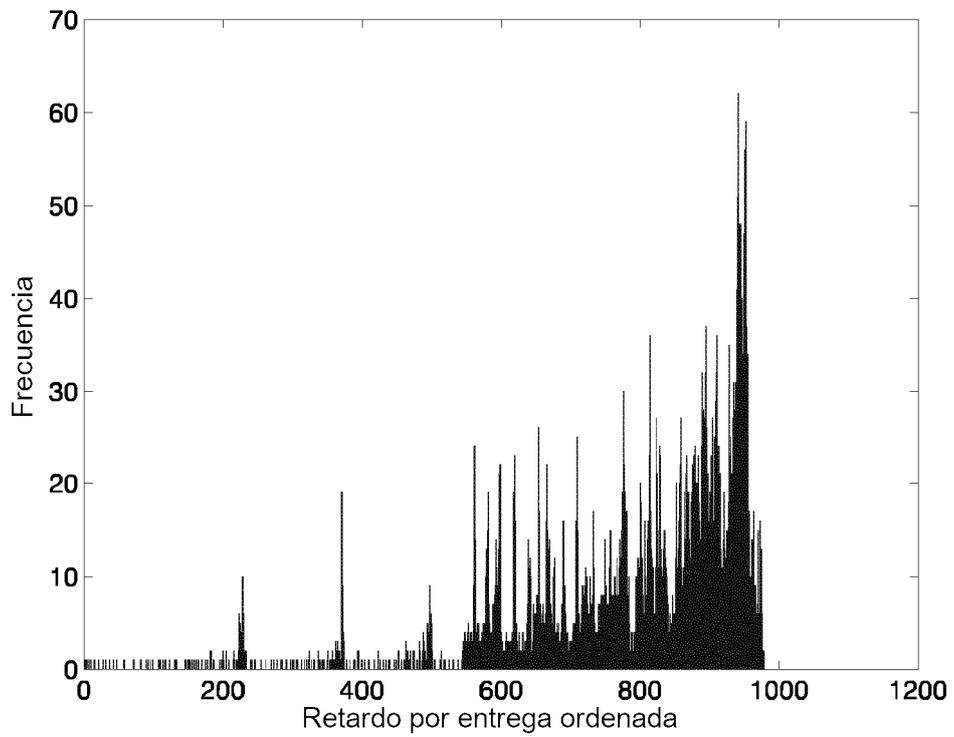


Figura 7b