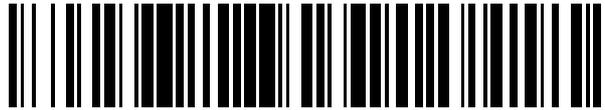


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 571**

51 Int. Cl.:

H04L 12/56 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.02.2010 E 10001573 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2012 EP 2378722**

54 Título: **Método para transmisión de datos en una red de comunicación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.03.2013

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**MOGRE, PARAG SUDHIR;
VERNET, GUILLAUME y
ZILLER, ANDREAS**

74 Agente/Representante:

ZUAZO ARALUZE, Alexander

ES 2 397 571 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para transmisión de datos en una red de comunicación.

5 La invención se refiere a un método para transmisión de datos en una red de comunicación así como a un método para generar peticiones de ancho de banda. Además, la invención se refiere a un nodo de red y a una red de comunicación.

10 En redes de comunicación que usan reservas de ancho de banda para transmitir datos, se desea proporcionar un esquema de reserva de ancho de banda óptimo. Un esquema óptimo de este tipo reserva sólo ancho de banda suficiente para la transmisión y en un momento apropiado, es decir el ancho de banda requerido está disponible para el nodo en la red de comunicación para transmisiones cuando es necesario sin retardo adicional. Especialmente, en redes de TDMA (TDMA = *Time Division Multiple Access*; acceso múltiple por división de tiempo), es necesaria una estimación en línea de las necesidades de ancho de banda durante el tiempo de ejecución de la red. Esto se debe a que los mecanismos de control requeridos para reservar el ancho de banda y calcular planificaciones de transmisión libres de conflicto implican alguna latencia inherente. La predicción de la demanda de ancho de banda en el futuro supone un reto ya que deben tenerse en cuenta patrones de tráfico complejos con una carga rápidamente cambiante. Dado que el proceso de reserva de nuevo ancho de banda es limitado en el tiempo, resulta esencial tener una buena percepción del desarrollo de la demanda de ancho de banda en el futuro cercano.

20 Se ha estudiado el problema de la estimación de las necesidades de ancho de banda y, más generalmente, la predicción de tráfico, en muchos campos de tecnologías diferentes, tales como redes de comunicación, transporte público, redes eléctricas e hidráulicas. En el documento [1], se usa el denominado modelo ARIMA (ARIMA = *Auto Regressive Inegrated Moving Average*; media móvil autorregresiva integrada) para predecir la necesidad de ancho de banda en una red principal. En este modelo, se deriva la serie de tiempo hasta que sea estacionaria, luego se calculan los coeficientes de peso y la previsión usa la suma ponderada de las medias móviles pasadas. En el documento [2], se usa un modelo ARCH (ARCH = *Auto Regressive Conditional Heteroskedasticity*; heterocedasticidad condicional autorregresiva) para prever ancho de banda y ayudar a que los proveedores de datos ajusten su asignación de ancho de banda. Este método se basa en un enfoque cuantificado para asignar y desasignar una cantidad específica de ancho de banda con políticas diferentes.

25 En el documento [3], se describe un enfoque de red neuronal para predecir el ancho de banda necesario para la transmisión de un flujo de vídeo. La publicación [4] describe un método para prever tráfico web basándose en series de tiempo de mediciones de sesión web ponderadas. En este documento, se acopla una descomposición de *wavelet* con redes neuronales para la predicción. El método en este documento no describe ningún mecanismo de reserva de ancho de banda para la transmisión de datos entre dos nodos en una red de comunicación. El documento [5] da a conocer el uso de un filtrado de *wavelet* para descomponer una señal de múltiples escalas con el fin de facilitar una extracción de información para detectar anomalías de tráfico de red.

35 El documento US 2007/0189298 A1 da a conocer una red inalámbrica distribuida con asignación de ancho de banda dinámica, en la que un nodo de comunicación comprende medios para predecir sus propias necesidades de ancho de banda y medios para comunicar sus propias necesidades de ancho de banda predichas a la red.

40 Un objeto de la invención es proporcionar un mecanismo de reserva de ancho de banda en una red de comunicación que permite una asignación de ancho de banda correcta y fiable basándose en el tráfico de red esperado.

Este objeto se resuelve por los métodos y los dispositivos de cada reivindicación independiente. Realizaciones preferidas de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

50 El método para transmisión de datos según la invención se usa en una red de comunicación que comprende una pluralidad de nodos. Para la transmisión de datos desde un primer nodo a un segundo nodo en la red se realizan varias etapas. En una etapa a) se analizan los datos que llegan a una memoria intermedia de datos del primer nodo de manera que se genera una curva de historial de llegada que describe las cantidades de datos que llegan a la memoria intermedia durante un periodo de tiempo pasado. En una etapa b) se realiza un procesamiento de la curva de historial de llegada, en el que dicho procesamiento incluye una transformada de *wavelet* en la curva de historial de llegada y da como resultado una pluralidad de señales, correspondiendo cada señal a una componente filtrada de la transformada de *wavelet*. En una etapa c) se procesa cada señal generada por la transformada de *wavelet* en una red neuronal separada entrenada con patrones de entrenamiento, estando los patrones de entrenamiento basados en datos que llegaron en el pasado a la memoria intermedia. Esto da como resultado señales de previsión para llegadas de datos en el futuro, es decir en un periodo de tiempo futuro.

60 En una etapa d) se recombinan las señales de previsión generadas dando como resultado una curva de previsión de llegada que describe las cantidades de datos que llegan a la memoria intermedia en un periodo de tiempo futuro. A continuación, en una etapa e), las peticiones de ancho de banda para reservar ancho de banda basándose en la curva de previsión de llegada se generan por el primer nodo y se transmiten del primer al segundo nodo. En una etapa f) se asigna el ancho de banda basándose en las peticiones de ancho de banda por el segundo nodo. En una

etapa g) final se transmiten datos desde el primer nodo al segundo nodo dentro del ancho de banda asignado por el segundo nodo.

5 El método de la invención proporciona un nuevo mecanismo para reservar ancho de banda para la transmisión de datos en redes de comunicación. Este mecanismo usa un marco de predicción basado en una transformada de *wavelet* y redes neuronales que generan una previsión del ancho de banda con una demanda en el futuro. El método permite una transmisión de datos en la que el ancho de banda disponible real coincide mejor con el ancho de banda requerido para transmitir los flujos de datos. Esto conduce a una mejor calidad de transmisión en términos de retardo y rendimiento global. Particularmente, el método permite una transmisión de datos con una reserva de ancho de banda precisa de antemano de una manera flexible según sea necesario para el tráfico que llega a un nodo.

15 En una realización preferida de la invención, los datos se transmiten como unidades/paquetes de datos de protocolo MAC en la capa MAC ampliamente conocida, también denominada capa L2.

En otra realización preferida, el método usa intervalos de tiempo predeterminados para transmitir datos y mensajes de control. Particularmente, el intervalo de tiempo predeterminado comprende una subtrama de datos en la que se transmiten datos y una subtrama de control en la que se transmiten mensajes de control que incluyen las peticiones de ancho de banda mencionadas anteriormente.

20 El método de la invención se usa preferiblemente en una red inalámbrica que opera en el denominado modo MeSH de la norma IEEE 802.16 ampliamente conocida, particularmente la norma IEEE 802.16-2004.

25 Pueden usarse diversas transformadas de *wavelet* basadas en diferentes *wavelets* madre en el método de la invención. En una realización preferida, la transformada de *wavelet* se basa en el denominado *wavelet* de Haar ampliamente conocido en la técnica anterior, como *wavelet* madre. Una transformada de *wavelet* basada en este *wavelet* madre se explica en la descripción detallada de la aplicación.

30 En otra realización preferida de la invención, cada componente filtrada de la transformada de *wavelet* incluye una pluralidad de coeficientes (de *wavelet*), estando cada coeficiente asociado con una etapa de tiempo en el periodo de tiempo pasado, siendo las etapas de tiempo diferentes para cada componente filtrada. En una variante preferida de esta realización, cada componente filtrada se compacta fusionando coeficientes con el mismo valor en etapas de tiempo adyacentes en el periodo de tiempo pasado, siendo la señal compactada la señal generada en la etapa b). Preferiblemente, cada red neuronal incluye una pluralidad de neuronas de entrada y neuronas de salida, en el que cada neurona de entrada recibe un coeficiente fusionado en el pasado y cada neurona de salida proporciona un coeficiente fusionado en el futuro.

40 Con el fin de mejorar la calidad de la previsión, una realización de la invención aplica una corrección de señal en la etapa c) en las salidas de las redes neuronales basándose en valores de patrones de entrenamiento anteriores. Con el fin de adaptar las redes neuronales al historial de llegada real, las redes neuronales se entrenan preferiblemente durante la transmisión de datos en intervalos de tiempo regulares o de manera continua.

45 En otra realización preferida de la invención, las peticiones de ancho de banda generadas en la etapa e) especifican una cantidad de datos que han de reservarse para la transmisión y un valor de persistencia que define una longitud de tiempo para la que ha de reservarse la cantidad de datos. En esta realización, las peticiones de ancho de banda se generan preferiblemente en la etapa e) tal como sigue:

50 - transferir la curva de previsión de llegada en una curva de previsión cuantificada que se cuantifica basándose en una unidad de tamaño de datos usada para reservar ancho de banda;

55 - aplicar un procedimiento de rellenado para rellenar el área bajo la curva de previsión cuantificada con peticiones de ancho de banda que se representan mediante rectángulos que tienen una longitud en la dirección del tiempo correspondiente a la longitud de tiempo según el valor de persistencia de la petición de ancho de banda y que tienen una altura correspondiente a la cantidad de datos especificados en la petición de ancho de banda.

La unidad de tamaño de datos mencionada anteriormente corresponde preferiblemente a una minirranura en la norma IEEE 802.16 mencionada anteriormente.

60 El procedimiento de rellenado descrito anteriormente comprende, en una realización preferida, las siguientes etapas:

i) detectar límites izquierdo y derecho explorando la curva de previsión cuantificada en exploraciones sucesivas en la dirección del tiempo, en el que las áreas cubiertas entre un límite izquierdo y derecho dentro de una exploración se asocian con un primer rectángulo;

65 ii) fusionar primeros rectángulos con los mismos límites izquierdo y derecho en segundos rectángulos;

iii) rellenar los segundos rectángulos en la dirección del tiempo con rectángulos de peticiones de ancho de banda de manera que se incluya un número mínimo de rectángulos en cada segundo rectángulo.

En la etapa ii) definida anteriormente, la fusión entre los primeros rectángulos se realiza preferiblemente permitiendo que se cubra una cantidad adicional de datos, por ejemplo varias minirranuras adicionales, por este rectángulo y, al hacer esto, fusionar dos o más rectángulos. Además, puede usarse un procedimiento de sobreajuste adicional en la etapa ii) con el fin de reducir adicionalmente el número de rectángulos. Según este procedimiento de sobreajuste adicional, la longitud de cada segundo rectángulo se incrementa en un valor predeterminado y, en caso de que este incremento dé como resultado segundos rectángulos adyacentes o solapados que pueden fusionarse en un nuevo segundo rectángulo, sustituir el nuevo segundo rectángulo a los segundos rectángulos adyacentes o solapados.

Además, en otra realización de la invención, los rectángulos de peticiones de ancho de banda que tienen los mismos límites izquierdo y derecho se fusionan en una petición de ancho de banda. Este mecanismo también reduce el número de peticiones de ancho de banda. Con el fin de tener en cuenta difusiones erróneas en el método de la invención, se monitoriza preferiblemente el estado de la memoria intermedia en el primer nodo y se envían peticiones de ancho de banda adicionales basándose en el estado de la memoria intermedia para corregir esos errores.

Además del método de transmisión de datos anterior, la invención también se refiere a un método para transmitir peticiones de ancho de banda en una red de comunicación que comprende una pluralidad de nodos, pudiendo dicho método usarse particularmente en el método de transmisión de datos anterior. En este método, una petición de ancho de banda emitida por un nodo en la red incluye un campo que indica un tiempo de inicio deseado en el que debe asignarse el ancho de banda según la petición de ancho de banda. Este método permite un mecanismo fácil y sencillo para asignar ancho de banda en el método de transmisión de datos descrito anteriormente. Preferiblemente, el método para transmitir peticiones de ancho de banda se usa en una red de comunicación inalámbrica que opera en el modo MeSH de la norma IEEE 802.16, en el que la petición de ancho de banda que incluye el campo para el tiempo de inicio deseado se incluye en un denominado mensaje de MSH-DSCH. La longitud para el campo que indica la trama de inicio deseada es preferiblemente un campo de 8 bits.

Además del método especificado anteriormente, la invención también se refiere a un nodo de red para su uso en el método de transmisión de datos tal como se describió anteriormente. Este nodo comprende los siguientes componentes:

- medios de análisis para analizar datos que llegan a una memoria intermedia de datos del nodo de manera que se genera una curva de historial de llegada que describe las cantidades de datos que llegan a la memoria intermedia durante un intervalo de tiempo pasado;

- medios de procesamiento para procesar la curva de historial de llegada, en el que dicho procesamiento realiza una transformada de *wavelet* en la curva de historial de llegada y genera una pluralidad de señales, correspondiendo cada señal a una componente filtrada de la transformada de *wavelet*;

- medios de procesamiento de red neuronal para procesar cada señal en una red neuronal separada entrenada según patrones de entrenamiento que se basan en datos que llegaron en el pasado a la memoria intermedia, dando como resultado señales de previsión para llegadas de datos en el futuro;

- medios de recombinación para recombinar las señales de previsión dando como resultado una curva de previsión de llegada que describe las cantidades de datos que llegan a la memoria intermedia en un periodo de tiempo futuro;

- medios de generación para generar peticiones de ancho de banda para reservar ancho de banda basándose en la curva de previsión de llegada y transmitir las peticiones de ancho de banda a un segundo nodo;

- medios de planificación para transmitir datos al segundo nodo basándose en el ancho de banda asignado por el segundo nodo en respuesta a las peticiones de ancho de banda.

Además, la invención comprende un nodo de red para su uso en el método para transmitir peticiones de ancho de banda descrito anteriormente. Este nodo comprende medios de transmisión para transmitir peticiones de ancho de banda que incluyen un campo que indica un tiempo de inicio deseado en el que debe asignarse el ancho de banda según la petición de ancho de banda. Adicional o alternativamente, el nodo comprende medios de procesamiento para recibir peticiones de ancho de banda que incluyen un campo que indica un tiempo de inicio deseado y para asignar ancho de banda según la respectiva petición de ancho de banda en el tiempo de inicio deseado.

La invención comprende además una red de comunicación que comprende una pluralidad de nodos, estando la red de comunicación adaptada para realizar cualquiera de los métodos descritos anteriormente según la invención.

Ahora se describirán realizaciones de la invención con respecto a los dibujos adjuntos.

La figura 1 muestra una topología en la operación de modo MeSH en la norma IEEE 802.16 de comunicación inalámbrica;

la figura 2 muestra una vista esquemática de una arquitectura para implementar una realización de la invención;

la figura 3 muestra una vista detallada del predictor de *wavelet* neuronal mostrado en la figura 2;

la figura 4 es una ilustración que explica la transformada de *wavelet* usada según la invención;

la figura 5 muestra diagramas que explican un ejemplo de una transformada de *wavelet* usada según la invención;

la figura 6 ilustra el entrenamiento de las redes neuronales según una realización de la invención;

la figura 7 muestra el proceso de reservar ancho de banda según una realización de la invención;

la figura 8 ilustra la generación de peticiones de ancho de banda según una realización de la invención; y

la figura 9 muestra un diagrama que incluye las peticiones de ancho de banda generadas según una realización de la invención.

Ahora se describirá una realización de la invención con respecto a una red de comunicación inalámbrica que opera en el denominado modo MeSH de la norma IEEE 802.16. Esta norma es una norma de comunicación inalámbrica que soporta redes de área metropolitana, redes rurales o redes para toda una empresa. La figura 1 muestra una red de comunicación inalámbrica de este tipo que opera en el modo MeSH. La red comprende una pluralidad de nodos que comprenden estaciones de abonado así como estaciones base que se comunican entre sí. En el modo MeSH mostrado en la figura 1, se permite que las estaciones de abonado SS establezcan enlaces de comunicación entre nodos vecinos y pueden comunicarse entre sí directamente tal como se indica por los enlaces de comunicación CL' correspondientes. Además, los obstáculos que se producen entre los nodos en la red se designan con símbolos de referencia O. Las estaciones de abonado SS también pueden enviar tráfico a y recibir tráfico de estaciones base BS correspondientes, donde una estación base en el modo MeSH se trata como una estación de abonado SS que proporciona servicios de retroceso a la red MeSH. El modo MeSH de la norma IEEE 802.16 permite un crecimiento flexible en la cobertura de la red MeSH y aumenta la robustez de la red debido a la provisión de múltiples pasos alternos para la comunicación entre nodos.

La norma IEEE 802.16 describe una transmisión basada en TDMA (TDMA = *Time Division Multiple Access*; acceso múltiple por división de tiempo) en la que las unidades de datos de protocolo MAC (MAC = *medium access control*; control de acceso al medio) se transmiten en subtramas de datos, y datos de control que se refieren a mensajes que controlan la transmisión de datos, en subtramas de control. Tanto las subtramas de datos como las subtramas de control son parte de una trama de tiempo global. Esta trama de tiempo se divide en una pluralidad de ranuras de tiempo. Los datos transmitidos en esas ranuras de tiempo se dividen en denominadas minirranuras. Los mensajes de control usados en el modo MeSH se denominan mensajes de MSH-DSCH.

En la realización de la invención tal como se describe a continuación, cada uno de los nodos SS y BS incluye una arquitectura para reservar ancho de banda basándose en previsiones de anchos de banda necesarios en el futuro, en el que la previsión se deriva por los datos que llegan a una memoria intermedia correspondiente de un nodo.

La figura 2 muestra una arquitectura que ilustra la reserva de ancho de banda según una realización de la invención. En la figura 2, los componentes a la izquierda de la línea L se refieren a un primer nodo/estación de abonado SS1 en la red de comunicación inalámbrica que desea transmitir datos a un segundo nodo/estación de abonado SS2 ubicado(a) a la derecha de la línea L. Según la figura 2, los datos en la forma de paquetes de datos MAC D llegan a la memoria intermedia BF del nodo SS1. Estos datos van a transmitirse basándose en minirranuras dentro de la subtrama de datos al segundo nodo SS2. Para ello, ha de reservarse y asignarse ancho de banda por el segundo nodo SS2. Según la técnica anterior, se reservó ancho de banda con la llegada de datos actual a la memoria intermedia BF dando como resultado un retardo en la transmisión de datos debido al denominado proceso de establecimiento de contacto de tres vías usado para reservar ancho de banda en el segundo nodo. El proceso de establecimiento de contacto es ampliamente conocido en la norma IEEE 802.16 y describe cómo se reserva ancho de banda. Este proceso se explicará en más detalle a continuación.

A diferencia de la técnica anterior, el sistema tal como se muestra en la figura 2, proporciona una reserva de ancho de banda por adelantado previendo demandas de ancho de banda futuras basándose en la memoria intermedia BF. Para ello, se genera un historial de llegada por medios de análisis AM a partir de las llegadas de datos a la memoria intermedia BF. Este historial de llegada forma una señal de entrada I para un predictor de *wavelet* neuronal NWF. El predictor NWF y los medios de análisis AM son parte de un generador de referencia RG. La señal de entrada I se especifica por la cantidad de datos en bytes que entraron en la memoria intermedia BF en cada trama de tiempo en un intervalo de tiempo pasado. Además, se genera una señal BS que especifica los estados de memoria intermedia por los medios de análisis AM y se introduce en un procesador de estado de memoria intermedia BSP que también

forma parte del generador de referencia RG. La salida del procesador de estado de memoria intermedia se introduce en un drenador de memoria intermedia BD que forma parte de un componente denominado generador de peticiones RQ. Las funciones de los componentes BSP y BD se explicarán más adelante.

5 El generador de peticiones RQ incluye además un empaquetador de peticiones RP que recibe una salida del previsor de *wavelet* neuronal NWF y que genera peticiones de ancho de banda RE que se envían por el emisor de petición RS al segundo nodo SS2. Además, las peticiones de ancho de banda también se generan por el drenador de memoria intermedia BD. Estas peticiones de ancho de banda también se envían por el emisor de petición RS al segundo nodo SS2. Las peticiones de ancho de banda RE se reciben en el segundo nodo en un asignador de ancho de banda BA que asigna el ancho de banda según se especifica en la petición de ancho de banda RE. La asignación de ancho de banda se realiza basándose en minirranuras correspondientes designadas como MI en la figura 2. En el proceso de asignación de ancho de banda, el asignador de ancho de banda BA envía en respuesta a una petición de ancho de banda RE una concesión GR al planificador de datos DS del primer nodo SS1. Este planificador de datos es responsable de planificar la transmisión de datos basándose en las concesiones. Después de haber recibido la concesión GR, se envía una confirmación de concesión GC de vuelta desde el planificador de datos DS al segundo nodo SS2. Según la norma IEEE 802.16, sólo puede usarse ancho de banda asignado por el primer nodo después de haber enviado la confirmación de concesión. Esta restricción se implementa con el fin de evitar colisiones ya que los mensajes de control RE, GR y GC anteriores se difunden en la red. El intercambio descrito de una petición de ancho de banda RE, un mensaje de concesión GR y una confirmación de concesión GC corresponde al establecimiento de contacto de tres vías mencionado anteriormente.

A continuación, se explicará ahora en detalle un ejemplo específico basado en la arquitectura de la figura 2. En este ejemplo, el historial de llegada comprende las cantidades de datos que llegaron a la memoria intermedia BF en las tramas 512 (de tiempo) pasadas. Por tanto, la entrada I describe una curva en un diagrama bidimensional, en el que la abscisa corresponde a las tramas f y la ordenada corresponda a cantidades de datos A en bytes. Un ejemplo de una señal de entrada de este tipo se muestra en los diagramas D1 a D4 de la figura 5. La previsión de llegadas de datos futuras usada para generar peticiones de ancho de banda correspondientes se calcula por el previsor de *wavelet* neuronal NWF del generador de referencia RG. La figura 3 muestra los subcomponentes de este previsor que se explicarán en detalle a continuación.

El previsor mostrado en la figura 3 incluye un banco de filtros de *wavelet* WFB que recibe la entrada I descrita anteriormente que corresponde a la curva de historial de llegada de datos. El banco de filtros de *wavelet* realiza una transformada de *wavelet* en la señal de entrada I, siendo las transformadas de *wavelet* conocidas *per se* a partir de la técnica anterior. Una transformada de *wavelet* proporciona información en el dominio tanto de tiempo como de frecuencia de una señal de entrada. La transformada de *wavelet* filtra una señal en varias pasadas considerando los niveles de detalle de la señal. La figura 4 muestra un ejemplo de un cálculo recursivo de una transformada de *wavelet* que se usa en la realización descrita en el presente documento. En este ejemplo, la señal de entrada I comprende una pluralidad de valores s(i) en diferentes tramas de tiempo distintivas, donde se consideran 256 tramas. Se muestran tres pasadas P1, P2 y PN, designándose la primera pasada como P1, designándose la segunda pasada como P2 y designándose la tercera pasada que es la última pasada en la transformada, como PN. En cada pasada, se analiza la señal de entrada I o la señal suavizada S de la pasada previa calculando la diferencia (s(i) - s(i+1))/2 entre valores de intervalos de tiempo adyacentes, duplicándose la longitud de un intervalo de tiempo de una pasada a la siguiente pasada. Además, la señal suavizada S se calcula como valor promedio (s(i) + s(i+1))/2.

La transformada de *wavelet* de la figura 4 se basa en el *wavelet* de Haar ampliamente conocido, como *wavelet* madre. Este *wavelet* se define tal como sigue:

$$H(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } -\frac{1}{2} < t < 0 \\ -1 & \text{si } 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ 0 & \text{en los demás casos} \end{cases}$$

Las ventajas del *wavelet* madre de Haar son su simplicidad computacional y el hecho de que da componentes filtradas que tienen la forma de una función por pasos. Esto es práctico para extraer peticiones que pueden representarse gráficamente como rectángulos.

Según la figura 4, cada pasada de la transformada de *wavelet* en la señal de entrada I atrapa detalles de un determinado nivel. La primera pasada revela detalles de anchura de una trama, es decir altas frecuencias, el segundo detalles de dos tramas, el tercero de cuatro tramas y así sucesivamente. La i-ésima pasada produce un conjunto de coeficientes de *wavelet* Ci. La figura 4 muestra los coeficientes C1, C2 y CN para las pasadas P1, P2 y PN, respectivamente. En la realización de la figura 4, la señal de entrada I comienza con un tamaño de 256 tramas

de tiempo. La primera pasada P1 de la transformada de *wavelet* devuelve una señal suavizada con un tamaño de 128 y una disposición de coeficientes de *wavelet*, también con un tamaño de 128, correspondientes a C1 en la figura 4. El proceso se repite de manera recursiva en la señal suavizada tal como se muestra en la figura 4. Cada vez, la longitud de la señal suavizada resultante y el número de coeficientes se dividen por dos. Después de la última pasada PN, se reciben un único coeficiente de *wavelet* CN (N = 8) y el valor de Haar HV, que en realidad es el promedio de la señal de entrada (promedio recursivo de un par de muestras). Por tanto, toda la transformada de *wavelet* devuelve un conjunto de filas de coeficientes de longitud decreciente, donde cada fila corresponde a un determinado nivel de detalle. La transformada de *wavelet* inversa reconstruye la señal original a partir de los coeficientes de *wavelet*.

Para mantener sólo detalles de un determinado nivel, es necesario borrar todos los coeficientes excepto la fila de interés y reconstruir una señal con la transformada de *wavelet* inversa basándose en este conjunto alterado de coeficientes. Esto extrae de manera eficaz de la señal inicial sus componentes de función por pasos, con pasos de anchura de una potencia de dos dependiendo de qué coeficientes Ci se hayan mantenido.

La siguiente tabla enumera el tamaño de disposiciones de coeficientes de *wavelet* y los detalles correspondientes (tamaño de paso/anchura en número de tramas de tiempo) para una señal de entrada de longitud 256:

Coeficientes de <i>wavelet</i>	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Valor de Haar
Longitud	128	64	32	16	8	4	2	1	1
Tamaño de paso	1	2	4	8	16	32	64	128	promedio

Los valores cambian por consiguiente si la longitud de señal es otra potencia de dos. Se ha elegido este valor de 256 porque conduce a detalles de anchura de hasta 128 tramas. Tales detalles coinciden con una denominada persistencia P6 que también corresponde a 128 tramas. Detalles de menor anchura coinciden con menores persistencias. En la realización descrita en el presente documento, un valor de persistencia describe la longitud de tiempo en tramas para las que una petición de ancho de banda es válida tal como se describe más adelante. El valor de persistencia P1 se refiere a una trama, el valor de persistencia P2 a dos tramas, el valor de persistencia P3 a cuatro tramas, el valor de persistencia P4 a ocho tramas, el valor de persistencia P5 a 32 tramas, el valor de persistencia P6 a 128 tramas y el valor de persistencia P7 a un número infinito de tramas.

La figura 5 muestra un ejemplo de los resultados de un filtrado de *wavelet* basado en cuatro diagramas D1 a D4. Cada diagrama D1 a D4 muestra a lo largo de la abscisa el número de trama f y a lo largo de la ordenada la cantidad A de datos en bytes. La señal original I se muestra mediante una línea continua que corresponde a una función seno modulada. Cada diagrama incluye señales/componentes filtradas F1, F2, ..., F8 (líneas discontinuas) que se basan en respectivos coeficientes de *wavelet* C1, ..., C8. Además, el promedio AV de la señal I se representa en el diagrama D1. Tal como puede observarse a partir de los diagramas, cada componente F1 a F8 corresponde a una función por pasos, en la que el nivel de detalle disminuye de F1 a F8. La función F1 es la componente filtrada extraída de la disposición de coeficientes C1 y, por tanto, tiene una anchura de detalle de una trama (alta frecuencia). A diferencia de eso, la componente filtrada F8 se extrae de la disposición de coeficientes de *wavelet* C8 y tiene una anchura de detalle de 128 tramas (baja frecuencia).

Los diagramas mostrados en la figura 5 ilustran la descomposición en múltiples niveles tal como se usa en el marco de reserva de ancho de banda tal como se describe en el presente documento. Para reconstruir la señal original a partir de las componentes filtradas mostradas en la figura 5, únicamente han de sumarse las ocho componentes y sustraer siete veces el valor promedio con el fin de mantenerlo sólo una vez en la suma final.

Volviendo a la figura 3, el banco de filtros de *wavelet* WFB da como resultado componentes filtradas F1 a F8 correspondientes que se introducen a continuación en un denominado módulo de agregación de tramas FA que se describirá a continuación. El resultado del proceso de filtrado según el banco de filtros de *wavelet* WFB se usa para extraer patrones de entrenamiento para redes neuronales que realizan la previsión tal como se describirá más adelante. El tamaño de la capa de entrada, es decir el número de neuronas de entrada, es uno de los elementos que influye en el tiempo computacional necesario para el entrenamiento de una red neuronal. Cada muestra de una señal usada para el entrenamiento se asigna a una neurona de entrada en la realización descrita en el presente documento. Cada componente filtrada procedente del proceso de filtrado de *wavelet* es una señal de paso largo de 256 tramas, de la que se usará una parte larga de 128 tramas como entrada para una red neuronal. Para cada componente se usa una red neuronal separada dando como resultado ocho redes neuronales. Esto implica 128 neuronas de entrada para cada una de las ocho redes neuronales. Sin embargo, dado que las señales filtradas son funciones por pasos con una determinada potencia de dos para la anchura de paso, parte de la información es redundante. En lugar de usar el valor para cada trama en la señal filtrada como entrada para una neurona, se usa la amplitud de cada paso en la realización descrita en el presente documento. Esto permite reducir el número de neuronas de entrada sin perder información y, por tanto, acelerar la fase de entrenamiento de redes neuronales. Este procedimiento se refiere a una agregación de tramas en la que las tramas se agregan manteniendo sólo una vez la amplitud de cada paso. Esta agregación de tramas se realiza mediante un módulo de agregación de tramas FA en la figura 3.

Por ejemplo, la cuarta componente filtrada F4 es una función por pasos con una anchura de paso de $23 = 8$ tramas. La agregación de tramas retendrá sólo las muestras $1^a, 9^a, 17^a, \dots$. En efecto, las primeras ocho muestras tienen el mismo valor (amplitud de paso). Lo mismo es cierto para las ocho siguientes y así sucesivamente. Esta señal agregada se usará para alimentar la cuarta red neuronal. En este caso, la eliminación de la información redundante reduce el número de neuronas de entrada en un factor de 8. Por tanto, cada red neuronal usada para la previsión aprovechará la agregación de tramas, excepto la asociada con la primera componente filtrada. Esto se debe a que la primera componente filtrada tiene una anchura de paso de una trama y, por tanto, la agregación de tramas no tiene ningún efecto.

La capa de salida de cada red neuronal también se reduce en la misma proporción mediante el uso de la agregación de tramas descrita anteriormente. Se desagregará la salida de cada red neuronal para restablecer la forma de paso inicial tal como se describirá más adelante. Volviendo a la figura 3, el módulo de agregación de tramas FA proporciona las señales agregadas/compactadas CF1, CF2, ..., CF8 para cada componente filtrada F1, F2, ..., F8. Esas señales compactadas se alimentarán a un módulo que comprende ocho redes neuronales para prever las llegadas de datos en el futuro. Las redes neuronales se designan como NN en la figura 3. Las redes neuronales NN se entrenan para prever las ocho señales filtradas. Usan funciones de activación sigmoideas. Las redes neuronales aprenden de manera progresiva a reconocer los patrones de entrada y devuelven los patrones de salida correspondientes. Los patrones se extraen de la señal de datos de llegada en dos etapas realizando en primer lugar la transformada de *wavelet* descrita anteriormente y extrayendo luego el patrón real a partir de las componentes filtradas.

En la realización descrita en el presente documento, el historial de llegada tiene un tamaño de 512 tramas. Este historial se divide en dos partes de longitud 256. Ambas mitades se filtran con el banco de filtros de *wavelet* WFB descrito anteriormente que las transforma en dos conjuntos de ocho señales filtradas de longitud de 256 tramas. Combinando cada par de señales filtradas correspondientes, se obtiene la longitud resultante de 512 tramas para el historial de llegada.

En la realización descrita en el presente documento, las redes neuronales se entrenan en intervalos regulares, extrayéndose los patrones de entrenamiento de las señales filtradas dependiendo de los siguientes dos parámetros:

- ventana: esto especifica el número de muestras usadas como entrada.
- anticipación: éste es el número de tramas previstas.

En un ejemplo, se han establecido los parámetros ventana y anticipación a 128 y 150 respectivamente. Estos dos parámetros se usan como base para la construcción de la capa de entrada y salida de cada red neuronal, pero con una división sucesiva por dos debido a la agregación de tramas descrita anteriormente. El número de neuronas en las capas de entrada y de salida para cada una de las ocho redes neuronales NN1, NN2, ..., NN8 que filtran las ocho componentes filtradas están enumeradas en la siguiente tabla:

Red neuronal	NN1	NN2	NN3	NN4	NN5	NN6	NN7	NN8
Neuronas de entrada	128	64	62	16	8	4	2	2
Neuronas de salida	150	75	38	19	10	5	3	2

Considerando el caso de la primera red neuronal NN1 sin agregación de tramas, esta red necesita un patrón de entrenamiento que comprende 278 muestras, 128 para la entrada y 150 para la salida deseada. Por tanto, a partir de la primera componente filtrada (de longitud 512), se extraen $512 - (128 + 150) + 1 = 235$ patrones de entrenamiento. En el caso de la segunda red neuronal NN2, la señal filtrada tiene una longitud de 256 debido a la agregación de tramas. La división por dos también es cierta para el número de neuronas de entrada y salida. Por consiguiente, pueden extraerse $256 - (64 + 75) + 1 = 118$ patrones de entrenamiento. Para cada red neuronal, la extracción comienza por el patrón disponible más reciente, es decir por el patrón cuyo resultado deseado termina en la última trama completada. Los patrones de entrenamiento se extraen además moviendo una trama cada vez en el pasado. Este proceso de extracción de patrones está ilustrado en la figura 6. Esta figura muestra como barra horizontal AH un historial de llegada de 512 tramas en el que la trama actual se designa como f. Los patrones de entrenamiento TP1, TP2, TP3, TP4, ..., TPN posteriores se indican como barras horizontales debajo del historial de trama AH. Los patrones de entrenamiento se dividen mediante una flecha AR, donde la barra de cada patrón de entrenamiento a la izquierda de la flecha se refiere a la entrada de tramas para entrenamiento y la barra de cada patrón de entrenamiento a la derecha de la flecha se refiere a la salida deseada usada durante el entrenamiento.

El entrenamiento de red neuronal es una tarea costosa desde el punto de vista computacional. En el método de la invención, el entrenamiento debe realizarse de manera repetida para las redes neuronales para adaptar sus capacidades de reconocimiento a la señal de datos de llegada. Sin embargo, el tiempo de entrenamiento debe mantenerse razonable. Para ello, en la realización descrita en el presente documento, el entrenamiento se produce a intervalos regulares (especificados por un parámetro de intervalo de entrenamiento) y el número máximo de patrones de entrenamiento extraídos está limitado por un parámetro límite de entrenamiento.

Las redes neuronales NN según la figura 3 generan una salida en forma de previsiones FO1, FO2, ..., FO8 para cada señal filtrada y compactada CF1, CF2, ..., CF8. Esas previsiones se alimentan al módulo SLC que realiza una corrección de nivel de señal. Esta corrección opcional se realiza porque la salida de una red neuronal tiene raramente el valor esperado exacto, incluso aunque el patrón se reconozca correctamente. Por ejemplo, una red neuronal entrenada para resolver el problema XOR binario puede devolver en lugar del valor 1, el valor 0,97 o en lugar del valor 0, el valor 0,02. Conocer el conjunto de posibles valores de salida permite corregir las salidas anteriores con 1 y 0, respectivamente. En la realización descrita en el presente documento, la corrección de nivel de señal intenta corregir la salida usando el conjunto de valores registrados para los últimos n entrenamientos, donde n es un parámetro de configuración.

Las señales FO1', FO2', ..., FO8' corregidas emitidas por el módulo de corrección de nivel de señal SLC se alimentan al módulo FD que realiza una desagregación de tramas de las señales FO1', FO2', ..., FO8' todavía agregadas. Esto da como resultado una señal expandida EF1, EF2, ..., EF8 para cada componente filtrada. A continuación, esas señales expandidas se recombinan en el módulo REC dando como resultado el historial de llegada previsto FI global basado en la señal de entrada I. Esta señal forma la salida del predictor de *wavelet* neuronal NWF mostrado en la figura 2 y se alimenta al empaquetador de peticiones RP del generador de peticiones RQ.

Tal como se explicó anteriormente, la agregación de tramas permite reducir el número de neuronas en las redes neuronales, dando como resultado así un tiempo de cálculo reducido. La longitud de campo para el número de trama de una petición de ancho de banda en la norma IEEE 802.16 es tal que una petición no pueda empezar más de 128 tramas después de haberse enviado. Esto significa que el área útil para peticiones de P6 asciende a 256 tramas en el futuro, para P5, a 160 tramas y así sucesivamente. Esto proporciona un primer límite para el parámetro de anticipación especificado anteriormente de las redes neuronales.

Las peticiones enviadas según la realización descrita en el presente documento incluyen un campo adicional que indica una trama de inicio deseada, es decir el número de trama en el futuro en el que debe comenzar preferiblemente la asignación de ancho de banda. Sin embargo, si hay otra oportunidad de transmisión en las siguientes τ tramas, no es necesario emitir una petición con una trama de inicio deseada después de τ . En efecto, durante la siguiente oportunidad de transmisión habrá datos de entrada más nuevos para una mejor previsión. De hecho, éste también es el caso para la oportunidad después de la siguiente debido a la confirmación de concesión, pero el razonamiento sigue siendo el mismo.

La figura 7 muestra el proceso de reservar ancho de banda y transmitir datos tal como se usa según la invención. En esta figura, el eje de tiempo se representa en la dirección horizontal mediante tramas f subsiguientes. La reserva de ancho de banda se realiza por el establecimiento de contacto de tres vías descrito anteriormente, en el que un primer nodo que solicita ancho de banda envía una petición RE correspondiente a un segundo nodo. El segundo nodo concede ancho de banda basándose en la petición enviando un mensaje de concesión GR. A continuación, el primer nodo contesta al mensaje de concesión GR mediante una confirmación de concesión GC. El ancho de banda sólo puede usarse por el primer nodo en intervalos de tiempo después de haberse enviado la confirmación de concesión. Por tanto, no puede usarse el ancho de banda concedido en el intervalo de tiempo UNG entre 0 y t_1 (excluyendo t_1). La figura 7 muestra además oportunidades de transmisión TO del primer nodo que se producen en respectivas ranuras de tiempo 0, t_1 , t_2 , t_3 y t_4 . Debido al mecanismo de establecimiento de contacto de tres vías, las ranuras que antes pueden usarse son t_1 , t_2 , t_3 , t_4 y así sucesivamente. Estas ranuras están ubicadas dentro de la barra USG que designa el intervalo de tiempo de ancho de banda concedido que puede usarse.

Para cada nivel de persistencia de una petición de ancho de banda y, por tanto, para cada nivel de detalle en términos de filtrado de *wavelet*, hay diferentes zonas de tiempo de interés en forma de áreas de previsión específicas. Para los componentes filtradas F1 a F5, se indican ejemplos de esas áreas de previsión mediante las barras horizontales en la figura 7. Las peticiones de ancho de banda se envían en la norma IEEE 802.16 en los mensajes de MSH-DSCH correspondientes. El número de peticiones está limitado en esos mensajes. Por tanto, las peticiones para reservar ancho de banda se envían en intervalos regulares. Las peticiones enviadas en un mensaje de MSH-DSCH nuevo se basan en una previsión actualizada de las llegadas de datos. Como consecuencia, las peticiones ya existentes se actualizan basándose en las nuevas previsiones disponibles.

Según realizaciones preferidas de la invención, pueden usarse tipos seleccionados de postprocesamiento de las salidas de las redes neuronales. Este postprocesamiento está implementado como parte de la etapa c) de procesamiento según la reivindicación 1. A continuación, se explican los métodos de postprocesamiento preferidos.

Como primer método de postprocesamiento, los picos pueden eliminarse para suavizar la señal prevista. Un pico se detecta cuando un aumento de señal y una caída de señal mayores que un umbral dado están separados menos de un determinado número de tramas (anchura de pico). Como otro método de postprocesamiento, puede usarse un reajuste a escala. Para ello, la señal prevista se reajusta a escala linealmente de manera que su mínimo y máximo coincidan con los de la señal de entrada. Este reajuste a escala se basa en la suposición de que la ventana de tiempo de la señal prevista es lo suficientemente grande para retener todas las variaciones de señal. Como otro

método de postprocesamiento puede realizarse una amortiguación. Para ello, la previsión se desplaza con un desfase que se ajusta con realimentación. La realimentación se calcula como la diferencia media de los datos de llegada y el ancho de banda reservado durante las últimas n tramas. La realimentación se añade al valor de cada trama difundida. De esta manera, si el previsor ha provocado demasiada reserva anteriormente, la realimentación será negativa y se reducirá la señal de previsión. Al contrario, una reserva muy pequeña tenderá a aumentar la señal de previsión añadiendo una realimentación positiva.

A continuación, se describirá la generación de las peticiones de ancho de banda basándose en la señal prevista FI introducida en el empaquetador de peticiones RP mostrado en la figura 2. La tarea del empaquetador de peticiones es emitir peticiones de ancho de banda que cubran las futuras llegadas previstas por el previsor de *wavelet* neuronal. El método realizado por el empaquetador de peticiones se basa en rectángulos. Cada rectángulo representa una petición de ancho de banda. La altura de un rectángulo corresponde al nivel de demanda, es decir la cantidad de datos en minirranuras de la petición de ancho de banda, y la anchura de un rectángulo se refiere al número de tramas que corresponde al nivel de persistencia de la petición de ancho de banda. El empaquetador de peticiones rellenará el área bajo la curva prevista de datos de llegada con tales recuadros de rectángulos. En realidad, la señal de entrada para el empaquetador de peticiones es la señal prevista de la que se han sustraído minirranuras ya reservadas. En efecto, peticiones concedidas previas (de persistencia mayor de 1) todavía estarán activas y se ocuparán de una parte de las llegadas previstas. Hasta ahora, la unidad de la señal prevista era la cantidad de datos en bytes. A diferencia de ello, la unidad usada por el empaquetador de peticiones será la minirranura que hace referencia a una cantidad especificada de datos transmitidos. Para conmutar de bytes a minirranuras, se realiza una cuantificación de la señal prevista redondeando cada muestra (y no tomando el valor de suelo o techo) suponiendo que el número de muestras redondeadas por exceso compensan las muestras redondeadas por defecto.

El método de empaquetamiento usado por el empaquetador de peticiones realiza exploraciones horizontales sucesivas para detectar límites en la señal prevista cuantificada. Los límites son puntos en el borde entre el dominio para cubrir con rectángulos y el resto (respectivamente por debajo de y por encima de la señal de entrada). Los límites pueden ser límites derecho o izquierdo. Un límite izquierdo se produce cuando la curva de señal aumenta, una disminución corresponde al límite derecho. Los rectángulos se crean entonces entre los puntos de límite izquierdo y derecho. Esto se produce en la anchura en primer lugar, es decir un rectángulo siempre tiene la anchura máxima posible, y sólo entonces se establece la altura con respecto al máximo permitido por el límite. En el método real, la detección de límites y de rectángulos se realiza simultáneamente para mejorar la eficacia. Finalmente se extraen peticiones del conjunto resultante de rectángulos detectados.

Con el fin de reducir el número de peticiones necesarias para empaquetar el dominio, se usan algunas técnicas de sobreajuste. En primer lugar, para una anchura w dada, puede ser posible aumentar el nivel de demanda permitiendo algunas minirranuras adicionales que han de cubrirse por este rectángulo y, al hacer eso, fusionar dos o más rectángulos juntos. En segundo lugar, aumentando un poco la anchura de rectángulo puede reducirse el número de peticiones para este rectángulo. Por ejemplo, para un rectángulo de anchura 30, la traducción de la anchura en términos de niveles de persistencia conducirá a cinco peticiones: tres P4, una P3 y una P2 ($30 = 3 \cdot 8 + 4 + 2$). Permitiendo dos tramas de tiempo adicionales se reduce el conjunto de peticiones a sólo P5. Las minirranuras adicionales máximas en tramas adicionales permitidas son parámetros del método de empaquetamiento. Se usa un tercer parámetro para limitar la zona en la que pueden iniciar las peticiones. Esto tiene sentido porque es probable que la señal prevista sea más precisa para una menor anticipación, por lo que puede enviarse una mejor petición durante la siguiente oportunidad de transmisión.

Se muestra una explicación gráfica del método de empaquetamiento explicado anteriormente en la figura 8. El diagrama DI1 muestra la detección de límites izquierdos y derechos durante cinco exploraciones horizontales sucesivas 1, 2, ..., 5. Las detecciones de límites izquierdos se indican por flechas de doble cabeza mientras que las detecciones de límites derechos se indican por flechas de una cabeza. Durante cada exploración horizontal según el diagrama DI1, se crean rectángulos de una altura 1 con los límites descubiertos. Esos rectángulos se fusionan con rectángulos hallados previamente. La fusión se produce si el sobreajuste inducido está dentro de los límites permitidos. El diagrama DI2 de la figura 8 muestra la fusión de rectángulos en la dirección vertical después de la quinta exploración horizontal. Según este diagrama, el rectángulo R1 y el rectángulo R2 no se fusionarán debido a la diferencia en anchura. Por el contrario, el rectángulo R3 y el rectángulo R4 se fusionarán en un rectángulo. El diagrama DI3 muestra un ejemplo de variar la anchura de rectángulos en la dirección horizontal con el fin de reducir el número de peticiones para un rectángulo y/o fusionar rectángulos en la dirección horizontal. El diagrama DI3 muestra el aumento de la anchura de los rectángulos R5 y R6 de una trama indicada como línea discontinua. Para el rectángulo R6, el aumento de anchura dará como resultado un rectángulo fusionado combinando los rectángulos R6 y R7.

Un pseudocódigo del método de empaquetamiento explicado anteriormente se indica a continuación:

Definiciones:

d: nivel de demanda actual, índice para la exploración vertical

f: trama actual, índice para la exploración horizontal

ventana: límite de la exploración horizontal

5

L: conjunto de límites izquierdos detectados

R: conjunto de límites derechos detectados

10

Rect: conjunto de rectángulos detectados

Req: conjunto de peticiones convertidas a partir de Rect

```

15      1: d ← 1
        2: repetir
        3:     L, R ← 0
        4:     trama ← 1
        5:     repetir
        6:         si se halla el límite izquierdo 1 entonces
20      7:             L ← L ∪ 1
        8:         fin si
        9:         si se halla el límite derecho r entonces
10     10:             R ← R ∪ r
        11:         fin si
25     12:     trama ← trama + 1
        13:     hasta que trama = ventana
        14:     Rect ← fusión (Rect, L, R)
        15:     d ← d + 1

30     16: hasta que d > dmáx
        17: para rect ∈ Rect hacer
        18:     rect ← optimizar longitud (rect, tramas adicionales)
        19:     Req ← Req ∪ peticiones (rect)
        20: fin para
35     21: función fusión (Rect, L, R)
        22:     para rect a partir de L y R hacer
        23:         para r ∈ Rect hacer
        24:             m ← fusión (r, rect)
        25:             si sobreajuste (m) ≤ minirranura adicional entonces
40     26:                 Rect ← Rect \ {r} ∪ m
        27:             si no
        28:                 Rect ← Rect ∪ rect
        29:             fin si
        30:         fin para
45     31:     fin para
        32: fin función
    
```

50 La fase de detección de rectángulos empieza en la línea 1 del pseudocódigo. La exploración vertical comienza en la línea 2 con un bucle de repetición. La exploración horizontal comienza en la línea 5 con un bucle de repetición. Según la línea 6 del pseudocódigo, se detecta el lado izquierdo de un rectángulo. Según la línea 9 del pseudocódigo, se detecta el lado derecho de un rectángulo. En la línea 12 del pseudocódigo, se actualiza el índice de exploración horizontal. En la línea 13 del pseudocódigo, se detecta que se alcanza el límite horizontal. En la línea 14 del pseudocódigo, tiene lugar la fusión de rectángulos. En la línea 16 del pseudocódigo, se detecta que se alcanza el límite vertical. La fase de extracción de peticiones a partir de los rectángulos empieza en la línea 17. En la línea 18, se minimiza el número de peticiones con un sobreajuste de longitud. En la línea 21, empieza la función para fusionar nuevos rectángulos de límites con rectángulos existentes. En la línea 25, se fusiona el sobreajuste dentro de los límites permitidos. En la línea 26, se mantiene la fusión. En la línea 28, se descarta la fusión y se añade el rectángulo rect.

60 La figura 9 es un ejemplo del resultado del método de empaquetamiento descrito anteriormente. La figura 9 muestra la curva de previsión cuantificada de llegadas de datos sustancialmente correspondientes a los límites más externos de los rectángulos mostrados en esta figura. Por motivos de claridad, sólo algunos de los rectángulos mostrados en la figura 9 se designan mediante símbolos de referencia R. La abscisa en el diagrama de la figura 9 corresponde al número de trama f y la ordenada a la cantidad de datos A en bytes. Esta curva se rellena con rectángulos indicados por diferentes sombreados/rellenos, en los que el sombreado/relleno corresponde a uno de los niveles de

persistencia P1, ..., P7 de las peticiones. La altura de cada rectángulo se refiere a la cantidad de datos que han de reservarse por la petición correspondiente representada por un rectángulo. Tal como puede observarse a partir de la figura 9, el resultado del método es un relleno del área bajo la curva de previsión con un número mínimo de rectángulos según los niveles de persistencia, donde cada rectángulo corresponde a una petición de ancho de banda. Para reducir aún más el número de peticiones, los rectángulos que tienen los mismos límites izquierdo y derecho en el diagrama de la figura 9 pueden fusionarse en un rectángulo. Tales rectángulos se designan como R' y R" en la figura 9. La fusión de esos rectángulos da como resultado una única petición de ancho de banda para los mismos.

Según el método descrito en el presente documento, las peticiones de ancho de banda también incluyen denominadas peticiones P0 que se tratan de manera especial. Para peticiones de nivel de persistencia P1 a P7, sólo es necesario que el método divida la anchura de rectángulos detectados sobre la longitud de persistencia, donde una longitud de parámetro para P7 establece una longitud arbitraria para la persistencia P7. Este parámetro debe ser obviamente superior a 128 tramas. Las peticiones P0 se usan para reducir o cancelar una petición P7, es decir una reserva a largo plazo, cuando se reservan demasiadas minirranuras por la petición P7. Tal como se explicó anteriormente, la entrada del empaquetador de peticiones es la curva de llegada prevista en la que se han sustraído minirranuras ya reservadas. De esta manera, demasiado ancho de banda reservado en una trama aparecerá como valor negativo. La detección de "rectángulos P0" funciona de manera muy parecida a la detección de rectángulos P7, a través de un parámetro de longitud para P0, pero en el dominio negativo. La elección de la longitud basada en este parámetro no debe ser demasiado pequeña, lo que detectará probablemente reservas excesivas provocadas por persistencias menores y puede degradar una buena reserva en curso basada en una petición P7, provocando oscilación. Por otra parte, la longitud no debe ser demasiado larga porque provocará un retardo al reducir reservas basándose en peticiones P7.

Con el fin de tener en cuenta previsiones erróneas, la memoria intermedia BF del nodo se monitoriza por el procesador de estado de memoria intermedia BSP mostrado en la figura 2. En realidad, en un escenario ideal de previsiones perfectas, la memoria intermedia siempre estaría vacía. Sin embargo, dado que se producirán errores en las difusiones, es necesario un mecanismo para vaciar la memoria intermedia de paquetes acumulados debido a los errores de previsión. La memoria intermedia también puede llenarse si en una trama pueden transmitirse más datos que en una única llegada de trama. Basándose en el estado de la memoria intermedia BS monitorizado por el procesador de estado de memoria intermedia BSP, el drenador de memoria intermedia BD que se comunica con el procesador de estado de memoria intermedia emitirá una petición basándose en los datos actualmente en la memoria intermedia. En la realización descrita en el presente documento, la tasa de variación de la ocupación de memoria intermedia se calcula de una manera autorregresiva en las últimas dos tramas. Representa los datos por trama que el drenador de memoria intermedia espera tener que enviar las siguientes pocas tramas. Distingue entonces dos cosas: los datos relacionados con la tasa calculada, y la cantidad de datos que llegarán hasta que se reserve de manera eficaz el ancho de banda que corresponde a la parte de tasa. Se envían dos peticiones, una para la parte de tasa con un nivel de persistencia medio, la otra para la parte restante, que puede enviarse dentro de una trama o gastarse en más tramas para evitar un nivel de demanda demasiado grande y el riesgo de una petición que no pueda concederse. La persistencia usada para la parte de tasa y la parte restante son parámetros de configuración del método.

El método para reservar ancho de banda descrito anteriormente permite la previsión de ancho de banda en el futuro y genera peticiones de ancho de banda correspondientes basándose en estas previsiones. El método reduce el retardo para transmitir datos de un nodo a otro en una red de comunicación y se ha descrito basándose en el modo MeSH de la norma IEEE 802.16. Los inventores realizaron varias simulaciones basándose en el método de la invención que condujeron a buenos resultados en términos de un retardo reducido en la transmisión de datos de un nodo a otro.

Bibliografía

[1] N. Groschwitz y G. Polyzos: "A Time Series Model of Long-term NSFNET Backbone Traffic", In: IEEE ICC'94, volumen 3, páginas 1400-1404, 1994.

[2] B.Krithikaivasan, Y. Zeng, K. Deka y D. Medhi: "ARCH-based Traffic Forecasting and Dynamic Bandwidth Provisioning for Periodically Measured Nonstationary Traffic", In: IEEE/ACM Transactions on Networking, volumen 15, 2007.

[3] S. Chong, S-Q. Li y J. Ghosh: "Dynamic Bandwidth Allocation for Efficient Transport of Real-time VBR Video over ATM", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 13:12-23, 1995.

[4] A. Aussem y F. Murtagh: "Web Traffic Demand Forecasting using Wavelet-Based Multiscale Decomposition", International Journal of Intelligent Systems, 16:215-236.

[5] P. Barford, J. Kline, D. Plonka y A. Ron: "A Signal Analysis of Network Traffic Anomalies", In: Internet Measurement Workshop 2002, 2002.

REIVINDICACIONES

1. Método para transmisión de datos en una red de comunicación que comprende una pluralidad de nodos (SS, BS, SS1, SS2), en el que una transmisión de datos desde un primer nodo (SS1) a un segundo nodo (SS2) en la red se caracteriza por las etapas de:
 - a) analizando los datos que llegan a una memoria intermedia (BF) de datos del primer nodo (SS1), generar una curva (I) de historial de llegada que describe las cantidades de datos (A) que llegan a la memoria intermedia (BF) durante un periodo de tiempo pasado;
 - b) procesar la curva de historial de llegada (I), incluyendo dicho procesamiento una transformada de *wavelet* en la curva de historial de llegada (I) y dando como resultado una pluralidad de señales (CF1, CF2, ..., CF8), correspondiendo cada señal (CF1, CF2, ..., CF8) a una componente filtrada (F1, F2, ..., F8) de la transformada de *wavelet*;
 - c) procesar cada señal (CF1, CF2, ..., CF8) en una red neuronal (NN) separada entrenada con patrones de entrenamiento que se basan en datos que llegaron en el pasado a la memoria intermedia (BF), dando como resultado señales de previsión (FO1, FO2, ..., FO8) para llegadas de datos en el futuro;
 - d) recombinar las señales de previsión (FO1, FO2, ..., FO8) dando como resultado una curva de previsión de llegada (FI) que describe las cantidades de datos (A) que llegan a la memoria intermedia (BF) en un periodo de tiempo futuro;
 - e) generar peticiones de ancho de banda (RE) para reservar ancho de banda basándose en la curva (FI) de previsión de llegada por el primer nodo (SS1) y transmitir las peticiones de ancho de banda (RE) del primer al segundo nodo (SS1, SS2);
 - f) asignar ancho de banda basándose en las peticiones de ancho de banda (RE) por el segundo nodo (SS2);
 - g) transmitir datos desde el primer nodo (SS1) al segundo nodo (SS2) dentro del ancho de banda asignado.
2. Método según la reivindicación 1, en el que los datos se transmiten como unidades de datos de protocolo MAC en la capa MAC.
3. Método según las reivindicaciones 1 ó 2, en el que los datos se transmiten en una subtrama de datos de un intervalo de tiempo predeterminado y se transmiten mensajes de control que incluyen peticiones de ancho de banda (RE) en una subtrama de control del intervalo de tiempo predeterminado.
4. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la red de comunicación es una red inalámbrica que opera en el modo MeSH de la norma IEEE 802.16.
5. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la transformada de *wavelet* en la etapa b) se basa en el *wavelet* de Haar como *wavelet* madre.
6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que cada componente filtrada (F1, F2, ..., F8) de la transformada de *wavelet* incluye una pluralidad de coeficientes (C1, C2, CN), estando cada coeficiente asociado con una etapa de tiempo en el periodo de tiempo pasado, siendo las etapas de tiempo diferentes para cada componente filtrada (F1, F2, ..., F8).
7. Método según la reivindicación 6, en el que cada componente filtrada (F1, F2, ..., F8) se compacta fusionando coeficientes (C1, C2, CN) con el mismo valor en etapas de tiempo adyacentes en el periodo de tiempo pasado, siendo la señal compactada (CF1, CF2, ..., CF8) la señal generada en la etapa b).
8. Método según la reivindicación 7, en el que cada red neuronal (NN) incluye una pluralidad de neuronas de entrada y neuronas de salida, en el que cada neurona de entrada recibe un coeficiente fusionado en el pasado y cada neurona de salida proporciona coeficientes fusionados en el futuro.
9. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se aplica una corrección de señal en la etapa c) en las salidas de las redes neuronales (NN) basándose en valores de patrones de entrenamiento anteriores.
10. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las redes neuronales (NN) se entrenan durante la transmisión de datos en intervalos de tiempo regulares o de manera continua.

- 5
11. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las peticiones de ancho de banda (RE) generadas en la etapa e) especifican una cantidad de datos (A) que ha de reservarse para la transmisión y un valor de persistencia (P1, P2, ..., P7) que define una longitud de tiempo durante la que ha de reservarse la cantidad de datos (A).
- 10
12. Método según la reivindicación 11, en el que las peticiones de ancho de banda se generan en la etapa e):
- transfiriendo la curva de previsión de llegada (FI) a una curva de previsión cuantificada que se cuantifica basándose en una unidad de tamaño de datos (MI) usada para reservar ancho de banda;
 - aplicando un procedimiento de rellenado para rellenar el área bajo la curva de previsión cuantificada con peticiones de ancho de banda (RE) que se representan por rectángulos (R, R', R'') que tienen una longitud en la dirección del tiempo correspondiente a la longitud de tiempo según el valor de persistencia de la petición de ancho de banda (RE) y que tienen una altura correspondiente a la cantidad de datos (A) especificados en la petición de ancho de banda (RE).
- 15
13. Método según la reivindicación 12, en el que el procedimiento de rellenado comprende las etapas de:
- i) detectar límites izquierdo y derecho explorando la curva de previsión cuantificada en exploraciones sucesivas (1, 2, ..., 5) en la dirección del tiempo, en el que áreas cubiertas entre un límite izquierdo y derecho dentro de una exploración se asocian con un primer rectángulo;
 - ii) fusionar primeros rectángulos con los mismos límites izquierdo y derecho en segundos rectángulos;
 - iii) rellenar los segundos rectángulos en la dirección del tiempo con rectángulos (R, R', R'') de peticiones de ancho de banda (RE) de manera que se incluye un número mínimo de rectángulos (R, R', R'') en cada segundo rectángulo.
- 20
14. Método según la reivindicación 13, en el que la etapa ii) incluye un procedimiento de sobreajuste en el que la longitud de cada segundo rectángulo se incrementa en un valor predeterminado y, en caso de que este incremento dé como resultado segundos rectángulos adyacentes o solapados que pueden fusionarse en un nuevo segundo rectángulo, el nuevo segundo rectángulo sustituye a los segundos rectángulos adyacentes o solapados.
- 25
15. Método según la reivindicación 13 ó 14, en el que los rectángulos (R', R'') de peticiones de ancho de banda (RE) que tienen los mismos límites izquierdo y derecho se fusionan en una petición de ancho de banda (RE).
- 30
16. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se monitoriza el estado de la memoria intermedia (BF) en el primer nodo (SS1) y se envían peticiones de ancho de banda (RE) adicionales basándose en el estado de la memoria intermedia (BF) para corregir errores en la curva de previsión de llegada (FI).
- 35
17. Método para transmitir peticiones de ancho de banda (RE) en una red de comunicación que comprende una pluralidad de nodos (SS, BS, SS1, SS2), particularmente para su uso en un método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que una petición de ancho de banda (RE) emitida por un nodo (SS1) en la red incluye un campo que indica un tiempo de inicio deseado en el que debe asignarse el ancho de banda según la petición de ancho de banda (RE).
- 40
18. Método según la reivindicación 17, en el que la red de comunicación es una red de comunicación inalámbrica que opera en el modo MeSH de la norma IEEE 802.16, en el que la petición de ancho de banda (RE) se incluye en un mensaje de MSH-DSCH.
- 45
19. Nodo de red para su uso en un método para transmisión de datos según una de las reivindicaciones 1 a 16, estando el nodo de red caracterizado por:
- medios de análisis (AM) para analizar datos que llegan a una memoria intermedia (BF) de datos del nodo (SS1) para generar una curva de historial de llegada (I) que describe las cantidades de datos (A) que llegan a la memoria intermedia (BF) durante un periodo de tiempo pasado;
 - medios de procesamiento (WFB, FA) para procesar la curva de historial de llegada (I), realizando dichos medios de procesamiento (WFB, FA) una transformada de *wavelet* en la curva de historial de llegada (I) y generando una pluralidad de señales (CF1, CF2, ..., CF8), correspondiendo cada señal (CF1, CF2, ..., CF8) a una componente filtrada (F1, F2, ..., F8) de la transformada de *wavelet*;
 - medios de procesamiento de red neuronal (NN) para procesar cada señal (CF1, CF2, ..., CF8) en una
- 50
- 55
- 60
- 65

red neuronal (NN) separada entrenada con patrones de entrenamiento que se basan en datos que llegaron en el pasado a la memoria intermedia (BF), dando como resultado señales de previsión (FO1, FO2, ..., FO8) para la llegada de datos en el futuro;

5 - medios de recombinación (FD, REC) para recombinar las señales de previsión (FO1, FO2, ..., FO8) dando como resultado una curva de previsión de llegada (FI) que describe las cantidades de datos (A) que llegan a la memoria intermedia (BF) en un periodo de tiempo futuro;

10 - medios de generación (RQ) para generar peticiones de ancho de banda (RE) para reservar ancho de banda basándose en la curva de previsión de llegada (FI) y transmitir las peticiones de ancho de banda (RE) a un segundo nodo (SS1, SS2);

15 - medios de planificación (DS) para transmitir datos al segundo nodo (SS2) basándose en el ancho de banda asignado por el segundo nodo en respuesta a las peticiones de ancho de banda (RE).

20. Nodo de red adaptado para su uso en un método para generar peticiones de ancho de banda según la reivindicación 17 ó 18, estando el nodo de red caracterizado por:

20 - medios de transmisión (RS) para transmitir peticiones de ancho de banda (RE) que incluyen un campo que indica un tiempo de inicio deseado en el que debe asignarse el ancho de banda según la petición de ancho de banda (RE); y/o

25 - medios de procesamiento (BA) para recibir peticiones de ancho de banda que incluyen un campo que indica un tiempo de inicio deseado y para asignar ancho de banda según la respectiva petición de ancho de banda (RE) en el tiempo de inicio deseado.

21. Red de comunicación, que comprende una pluralidad de nodos, estando la red de comunicación adaptada para realizar un método según una de las reivindicaciones 1 a 18.

FIG 1

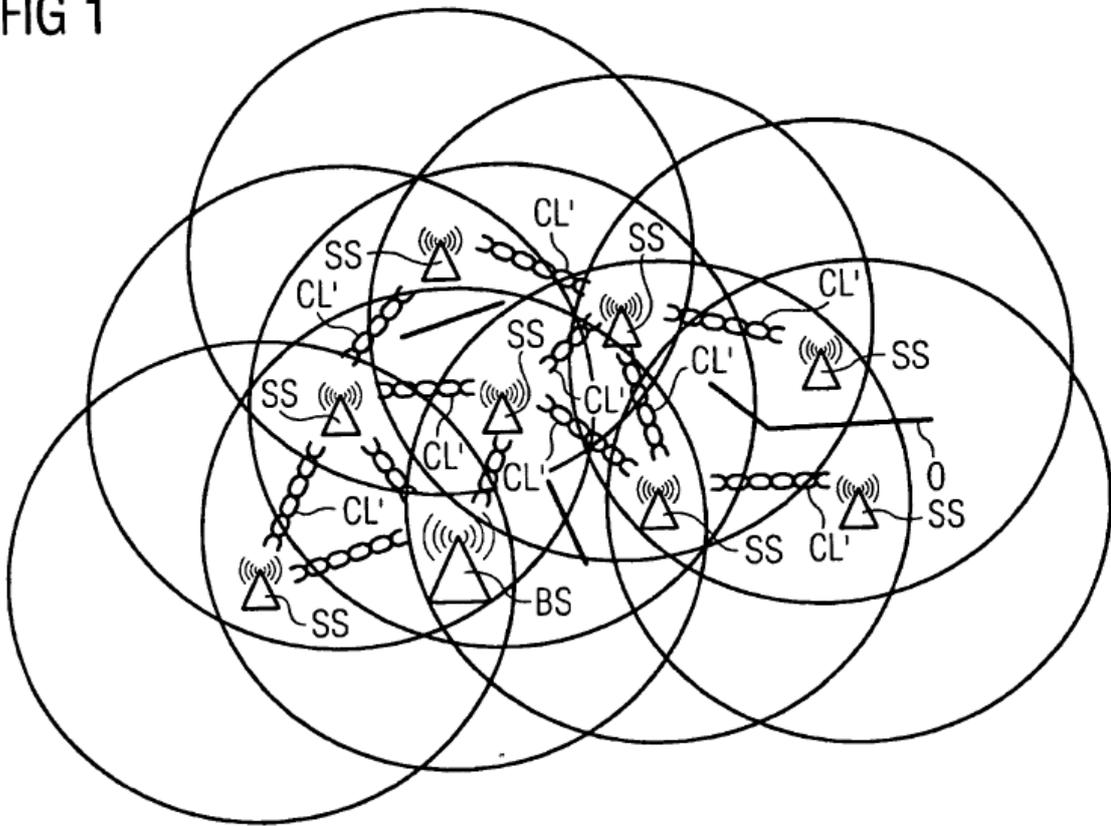


FIG 2

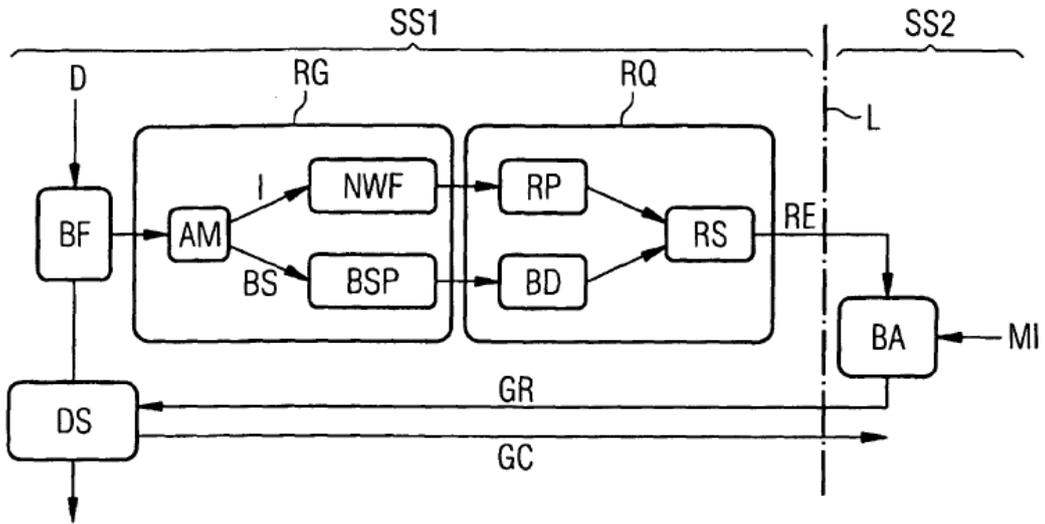
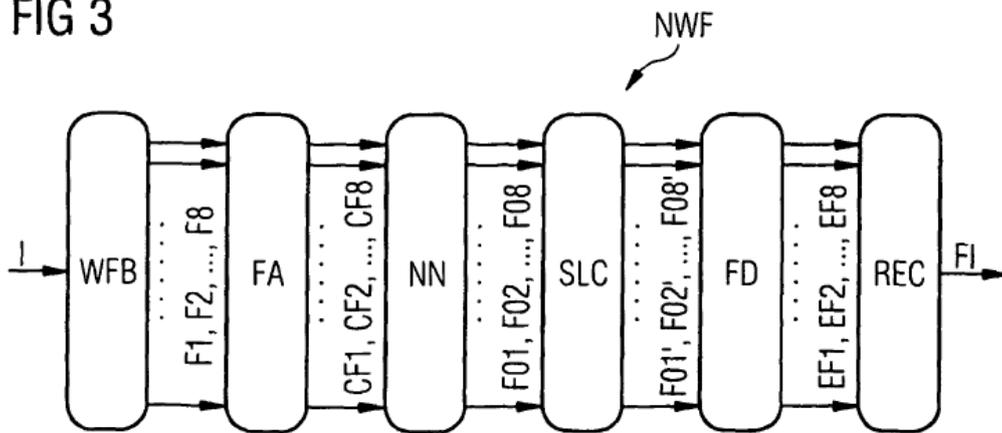
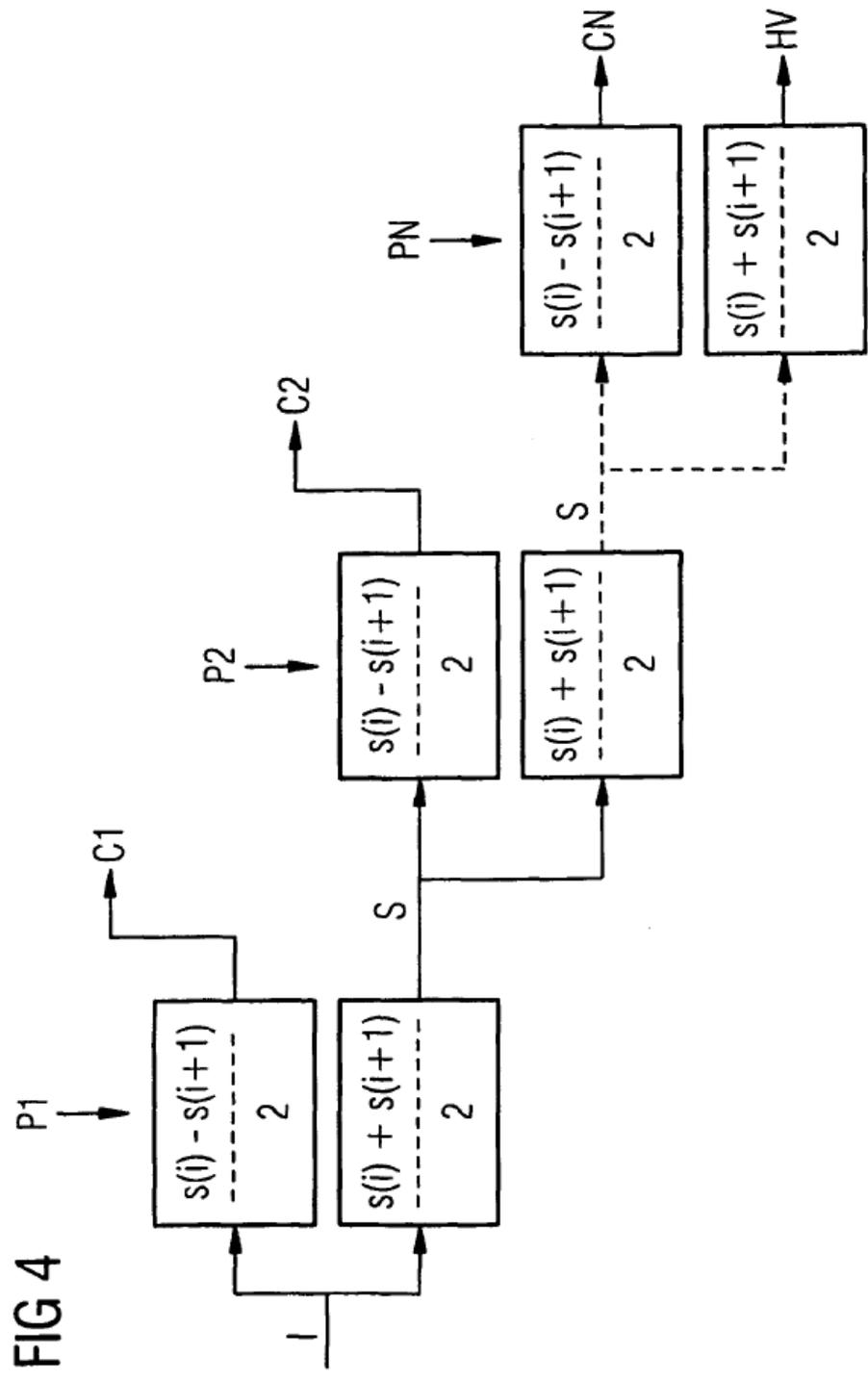


FIG 3





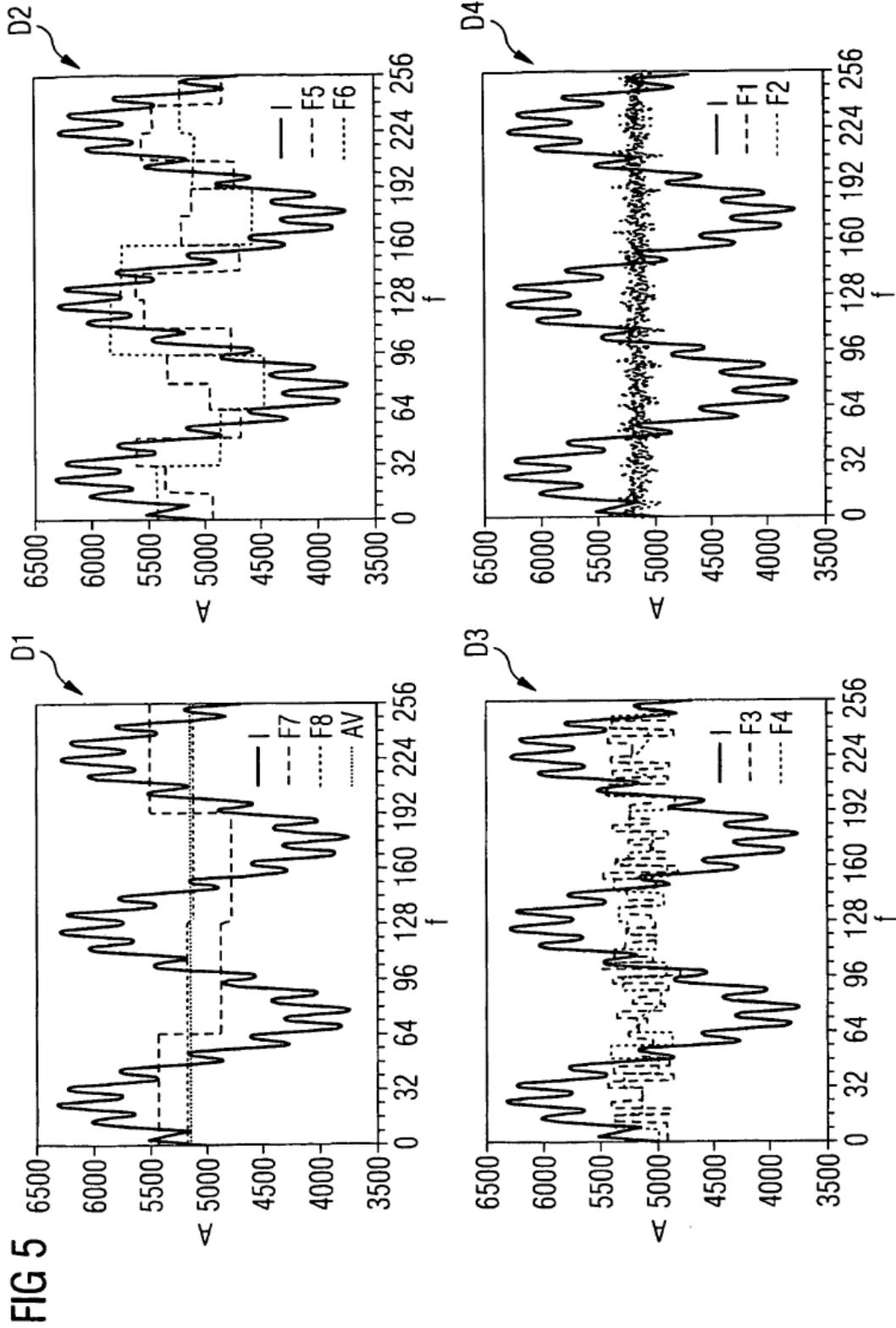


FIG 6

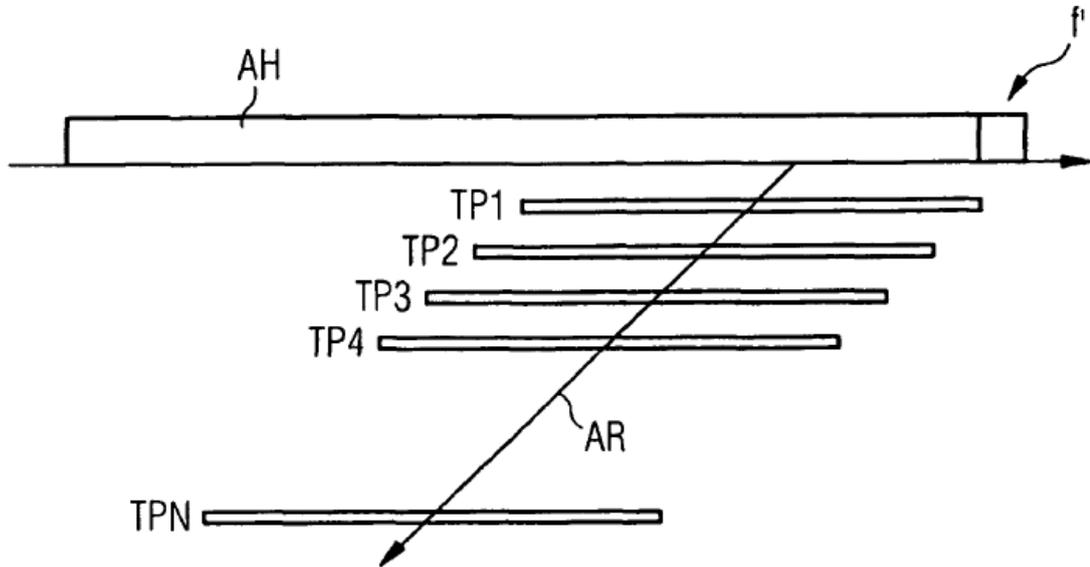


FIG 7

