

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 651 441**

51 Int. Cl.:

H04L 12/851 (2013.01)

H04L 12/801 (2013.01)

H04L 12/825 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2015 E 15382161 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.09.2017 EP 3076618**

54 Título: **Un método implementado por ordenador, un sistema y programas de ordenador para controlar la congestión en un nodo de transporte de una red de comunicaciones**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.01.2018

73 Titular/es:

TELEFONICA, S.A. (100.0%)
Gran Vía, 28
28013 Madrid, ES

72 Inventor/es:

BERBERANA FERNÁNDEZ-MURIAS, IGNACIO

74 Agente/Representante:

ARIZTI ACHA, Monica

ES 2 651 441 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).

Un método implementado por ordenador, un sistema y programas de ordenador para controlar la congestión en un nodo de transporte de una red de comunicaciones

DESCRIPCIÓN

5 **Campo técnico**

10 La presente invención se refiere, en general, al campo de los métodos y sistemas de comunicación. En particular, la invención se refiere a un método implementado por ordenador, un sistema y programas de ordenador para controlar la congestión en un nodo de transporte de una red de comunicaciones en la que se gestionan los diferentes flujos de paquetes de datos asociados a diferentes divisiones funcionales con diferentes requisitos.

Antecedentes de la invención

15 El tráfico de datos móviles continúa creciendo rápidamente. El reto para los operadores móviles es soportar a más abonados con una demanda de ancho de banda cada vez mayor. Para cumplir estos requisitos de ancho de banda, existe una necesidad de nuevas soluciones tecnológicas que ayuden a los operadores en la utilización eficiente de los recursos de red disponibles.

20 Una de las tendencias para las futuras redes móviles es la virtualización de parte o la totalidad del procesamiento de banda base asociado a la interfaz de radio en las estaciones base. Esto significa que este procesamiento se realiza en su lugar en una localización centralizada (un centro de datos, una oficina central, etc.), idealmente usando las soluciones de tecnología de información convencionales, como el uso de las máquinas virtuales e hipervisores, en una solución arquitectónica normalmente identificada como la nube RAN. Sin embargo, es muy poco probable que
25 toda la red móvil pueda migrar a la nueva arquitectura de una vez, por lo que la coexistencia del procesamiento distribuido (es decir, localizado cerca de la antena) y centralizado puede coexistir en la infraestructura desplegada por un operador.

30 Además de esto, debe tenerse en cuenta que existen diferentes opciones posibles para la división entre las funciones de interfaz de radio que permanecen distribuidas y las que están centralizadas. Los flujos de información generados por las diferentes divisiones funcionales pueden tener diferentes requisitos en términos de tasa de bits que deberían garantizarse y de latencia que puede tolerarse.

35 El documento RFC 5783 'Congestion Control in the RFC Series' de la IRTF, define el control de la congestión como el ajuste basado en la realimentación de la tasa a la que los datos se envían a la red. El control de la congestión en las redes de paquetes ajusta la cuota de los enlaces con el ancho de banda variable en el momento que reciben las diferentes conexiones.

40 El control de la congestión ha estado estrechamente asociado con TCP desde 1988, con la introducción del algoritmo de disminución exponencial aumento lineal (AIMD). El control de la congestión de TCP está diseñado para utilizar totalmente el ancho de banda de red, manteniendo toda la red estable. Pero, como AIMD está mostrando sus límites en una serie de áreas, también ha habido un gran acuerdo de trabajo de control de la congestión fuera de TCP (por ejemplo, para las aplicaciones multimedia en tiempo real, la multidifusión y los mecanismos basados en un enrutador). Varias de tales propuestas se han producido dentro de la IETF y publicado como RFC, junto con las
45 RFC que proporcionan una orientación arquitectónica (por ejemplo, señalando la importancia de realizar alguna forma de control de la congestión). Una lista no exhaustiva de ejemplos incluye TCP de alta velocidad, TCP escalable, H-TCP, FAST y XCP. Varios de estos mecanismos están en uso dentro de la Internet.

50 Una nueva área que ha generado el desarrollo de nuevas soluciones de control de la congestión es la necesidad de soportar las redes de los centros de datos, que comprenden miles de máquinas interconectadas con conmutadores básicos. Las características de estas redes difieren de las de la Internet en muchos aspectos, tales como el ancho de banda, la latencia, las topologías y los patrones de tráfico. La cuestión a enfrentarse en las redes de los centros de datos es el hecho de que los flujos pueden dividirse en dos categorías que tienen requisitos contradictorios sobre la ocupación de la memoria intermedia de enlace: grandes flujos sensibles al rendimiento y pequeños flujos
55 sensibles a la latencia.

60 Algunas de las tecnologías desarrolladas para estos entornos especiales pueden ser de aplicación para el problema que esta invención se propone hacer frente, en el sentido de que soportan el intercambio de capacidad de latencia, es decir, reducir la capacidad usada con el fin de minimizar la latencia. En este sentido, la presente invención toma algunos elementos del concepto de cola fantasma, que se centra en mantener las colas vacías en todos los puertos de salida del nodo de transporte cuando existen flujos con requisitos de latencia estrictos. El concepto está motivado por la idea de que es posible eliminar el retardo en el almacenamiento en la memoria intermedia y el encolamiento detectando la congestión basándose en la utilización del enlace cuando se acerca a su capacidad, en lugar de la ocupación de la cola. La cola fantasma representa un flujo imaginario cuya capacidad no usada puede usarse para

adaptar el tráfico que aumenta sin acumulación de cola.

En términos de implementación, la cola fantasma es una cola virtual mantenida en cada puerto de salida del nodo de transporte, que establece marcas de notificación de congestión explícita (ECN) basándose en la utilización del enlace. Simula la acumulación de cola para un enlace virtual que funciona a una velocidad configurable más lenta
 5 que su capacidad física, sin almacenar en la memoria intermedia realmente ningún paquete de datos. El mecanismo marca los paquetes de datos entrantes con la ECN cuando la cola simulada está por encima de cierto umbral, que a continuación se usa por el protocolo de transporte para realizar el control de la congestión adaptativo. Ya que la cola fantasma limita de manera deliberada la tasa de flujo de paquetes de datos agregados para que sea estrictamente menor que la capacidad física, las memorias intermedias de los nodos de transporte se mantienen en gran parte sin
 10 ocupar, y los paquetes experimentan un retardo de transmisión de referencia sin hacer cola.

Asociado al uso de colas fantasmas, los mecanismos de control de la congestión para los centros de datos también incorporan la marcación de paso de paquetes basada en hardware. Los marcadores de paso de paquetes están destinados a enfrentarse con el tráfico a ráfagas que provoca picos en el encolado, aumentando la latencia.
 15 marcadores de paso se implementan por lo general como un contador dinámico simple con una tasa de salida configurable, y deberían estar presentes cuando la tasa de bits del puerto de entrada es más alta que la tasa de bits del puerto de salida.

Debería observarse que se espera que las colas fantasmas se enfrenten con la coexistencia de los flujos de información con una alta tasa de bits, pero tolerante a una latencia grande con otra caracterizada por una tasa de bits baja, pero un requisito de muy baja latencia. Por otra parte, la implementación de estos mecanismos no es gratuita, sino que implica una reducción del ancho de banda disponible. Las estimaciones disponibles en la bibliografía indican que puede esperarse una disminución del orden del 10-15 % en el ancho de banda (con respecto al uso de mecanismos de congestión convencionales).
 20

Los primeros mecanismos de control de la congestión basados en TCP implementados en la Internet se basaron en la suposición de que todos los flujos tienen requisitos similares. Sin embargo, en algunos entornos esto no es claramente el caso, y no está nada claro que en estas circunstancias el control de la congestión basado en TCP sería el adecuado. Por ejemplo, ha habido algunas preocupaciones serias acerca del rendimiento de TCP en las redes de centros de datos, incluyendo problemas como el largo tiempo de terminación de los flujos TCP cortos en competencia con los flujos TCP largos, y la congestión debida a la difusión de tipo incast de TCP.
 25

El grupo de trabajo de técnicas de evitación de congestión de medios RTP (rmcat) de la IETF está trabajando en el desarrollo de mecanismos de control de la congestión que garanticen la coexistencia de los flujos de información multimedia en tiempo real punto a punto interactivos, que necesitan de una entrega de datos semi-fiable de bajo retardo, con los asociados a la transferencia en bloque como FTP o a las transferencias a ráfagas como las páginas web. Sin embargo, debería observarse que el uso de estos mecanismos no es adecuado para los casos de uso en consideración para esta invención, en tanto que la escala de tiempo para estos mecanismos es mucho más grande, al tiempo que debe proporcionarse un nivel más alto de fiabilidad.
 30

Las soluciones de control de la congestión de los centros de datos están más cerca de cumplir con los requisitos de la invención, especialmente en términos de escala de tiempo. Sin embargo, los algoritmos y tecnologías desarrolladas se basan en el supuesto de que los grandes bloques de información que deben transportarse normalmente toleran más retardo que los pequeños, en general, asociados a mensajes de control o de señalización.
 35 Por otro lado, en el caso de los flujos de paquetes de datos asociados a diferentes divisiones funcionales en las redes móviles, los flujos de paquetes de datos que requieren un ancho de banda más grande también requieren una latencia más baja.

El documento EP2469778A1 se refiere a gestión de la congestión de múltiples algoritmos de tráfico en un único dispositivo de red que usa varios algoritmos de evitación de congestión. El método incluye separar tráfico de entrada en sub-flujos de tráfico, gestionar colas virtuales que corresponden a los sub-flujos de tráfico usando algoritmos de evitación de congestión, y reasignar dinámicamente una capacidad total de tráfico a través del único dispositivo de red a las colas virtuales.
 40

El documento US20140307554A1 describe sistemas, métodos y programas informáticos adaptados para recibir un flujo de tráfico que tiene una pluralidad de paquetes, clasificar el flujo de tráfico en una clase de tráfico basándose en una característica del flujo de tráfico, que es la clase de tráfico seleccionada a partir de una pluralidad de clases, almacenar un identificador de la clase seleccionada a uno o más de los paquetes, y transmitir el flujo de tráfico de acuerdo con su destino basándose en una prioridad de su clase de tráfico seleccionada.
 45

El documento US20070201499A1 describe un dispositivo, sistema y método para gestionar congestión de paquetes con un procesador que puede recibir un paquete y puede mapear el paquete a una de varias colas y a una de varias clasificaciones basándose en una indicación de prioridad. El procesador también comprueba congestión en las colas con respecto a la clasificación del paquete y comprueba congestión en la cola con respecto a la clasificación, pone
 50

en cola el paquete si no hay congestión y descarta el paquete si hay congestión.

El documento US8072887 hace referencia a métodos, sistemas y productos de programa de ordenador para controlar el encolado de paquetes en una cola agregada que incluye una pluralidad de colas virtuales. De acuerdo con un método, se reciben paquetes en el lado de entrada de un sistema de encolado. Cada paquete se clasifica en una cola virtual que corresponde a una de una pluralidad de colas de salida. La cola de salida envía mensajes de contrapresión al codificador de encolado. El controlador de encolado determina si colocar los paquetes en la cola agregada basándose en los mensajes de contrapresión.

10 Descripción de la invención

El estado actual de las propuestas de la técnica no permite el control de la congestión en los nodos de transporte que tienen que gestionar los flujos de información asociados a las diferentes divisiones funcionales con diferentes requisitos, por lo tanto, un objeto de la presente invención es permitir el control de la congestión en los nodos de transporte (conmutadores/encaminadores) de una red de comunicaciones con diferentes flujos de paquetes de datos que necesiten diferentes tasas de bits y tolerar diferentes valores máximos de latencia. Estos requisitos especiales surgen de un caso de uso asociado con la centralización de las funciones de procesamiento de la interfaz de radio en las redes móviles, la así llamada arquitectura nube RAN, que coexiste con los elementos de redes móviles convencionales. Aunque puede argumentarse que la C-RAN necesita una infraestructura de transporte específica, está claro que la posibilidad de compartir las anteriores con otras soluciones arquitectónicas beneficiaría a los operadores.

La invención toma como punto de partida el uso del concepto de cola virtual, que se modifica con el fin de hacer frente a los requisitos específicos de los casos de uso indicados anteriormente. Debe tenerse en cuenta que la aplicación al caso de uso considerado en esta invención de las colas existentes virtuales, como el mecanismo de cola fantasma (u otras alternativas similares diseñadas para el funcionamiento en los centros de datos), como se han definido en la bibliografía, conduciría a un deterioro del rendimiento.

Para ese fin, como es de manera común en el campo, las realizaciones de la presente invención proporcionan de acuerdo con un primer aspecto un método implementado por ordenador para controlar la congestión en un nodo de transporte de una red de comunicaciones. El método propuesto identifica y clasifica, mediante una unidad de clasificación, los flujos de paquetes de datos recibidos entre los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija y los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable, por medio de la comprobación de una pluralidad de parámetros de configuración en relación con los flujos de paquetes de datos.

A continuación, los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija identificados y clasificados se envían a una unidad de marcación de paso que separa la transmisión de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija hacia un puerto de salida del nodo de transporte, y la pluralidad de parámetros de configuración en relación con los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable identificados y clasificados se envían a una unidad de cola virtual que incluye un procesador que ejecuta un algoritmo para activar uno o más procedimientos de corrección de la congestión. Finalmente, si el resultado obtenido mediante dicho algoritmo está por encima de, o es igual a, al menos un umbral, el método propuesto activa un procedimiento de corrección de la congestión correspondiente de dicho uno o más procedimientos de corrección de la congestión.

Preferentemente, dicho algoritmo, que puede funcionar o de una manera asíncrona o síncrona, calcula la tasa de bits que la unidad de cola virtual puede soportar basándose en una tasa de bits de referencia que resulta de la resta de la tasa de bits del puerto de salida menos la capacidad necesaria para transmitir los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija.

La pluralidad de parámetros de configuración incluyen, para el caso de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija, una tasa de bits garantizada y una latencia máxima, y para el caso de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable, una tasa de bits media; una tasa de bits máxima; una latencia máxima y una prioridad de flujo. La prioridad de flujo puede establecerse a partir de un indicador de calidad soportado en una norma de comunicación que incluye al menos LTE o UMTS, o puede basarse en los datos de suscripción.

De acuerdo con una realización, el al menos un umbral se calcula por medio de: $\text{Thr}_2 = \text{min_lat_VB} \cdot (\zeta \cdot \text{tasa_de_bits_puerto_salida_corregida})$, donde min_lat_VB es el valor mínimo de la latencia que no puede superarse por los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable, $\text{tasa_de_bits_puerto_salida_corregida}$ es la tasa de bits disponible para los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable y ζ es el factor de utilización del enlace de cola virtual.

El procedimiento de corrección de la congestión correspondiente se activa preferentemente, mediante una unidad de marcador, mediante una unidad de descarte, o por ambas, basándose en la latencia de activación asociada a un mecanismo de notificación de congestión explícita, o ECN. La unidad de marcador puede marcar el flujo de

paquetes de datos de tasa de bits variable de dichos flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable identificados y clasificados que tienen: una prioridad más baja, una tasa de bits media medida que se desvía el máximo de una tasa de bits media declarada, o un retardo de acuse de recibo medido más corto. Por otra parte, la unidad de descarte puede descartar de forma aleatoria los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable de dichos flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable identificados y clasificados de acuerdo con una probabilidad de descarte.

En el caso de que el procedimiento de corrección de la congestión correspondiente activado mediante la unidad de marcador, mediante la unidad de descarte, o por ambas, no sea suficiente para resolver la congestión, puede activarse adicionalmente un procedimiento de corrección de la congestión complementario. El procedimiento de corrección de la congestión complementario puede incluir modificar las tasas de bits de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija o mover los flujos de paquetes de datos a una ruta menos congestionada.

Las realizaciones de la presente invención también proporcionan, de acuerdo con un segundo aspecto, un sistema para controlar la congestión. El sistema incluye una unidad de clasificación configurada y dispuesta para identificar y clasificar los flujos de paquetes de datos recibidos entre los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija o los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable considerando una pluralidad de parámetros de configuración con respecto a los flujos de paquetes de datos; una unidad de marcación de paso configurada y dispuesta para recibir los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija identificados y clasificados desde la unidad de clasificación y para separar la transmisión de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija hacia un puerto de salida de un nodo de transporte de una red de comunicaciones; y una unidad de cola virtual configurada y dispuesta para recibir la pluralidad de parámetros de configuración en relación con los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable identificados y clasificados desde la unidad de clasificación, comprendiendo dicha unidad de cola virtual un procesador que ejecuta un algoritmo para activar uno o más procedimientos de corrección de la congestión.

El sistema también incluye preferentemente una unidad de marcador y/o una unidad de descarte, configuradas y dispuestas para activar el uno o más procedimientos de corrección de la congestión basándose en una latencia de activación asociada a un mecanismo de notificación de congestión explícita, o ECN.

De acuerdo con una realización, el sistema está completamente incluido en el nodo de transporte que comprende un dispositivo de comunicación física de capa 2 o de capa 3 que incluye al menos un conmutador, o como alternativa, un dispositivo de comunicación virtual que incluye al menos un conmutador virtual implementado con una tecnología de software.

De acuerdo con otra realización, el sistema está incluido en parte en el nodo de transporte e incluido en parte en un controlador de nodo de transporte, estando el nodo de transporte y el controlador de nodo de transporte, configurados y dispuestos para comunicarse entre sí a través de una interfaz de comunicaciones.

Otras realizaciones de la invención que se divulgan en el presente documento incluyen programas de software para realizar las etapas de realización del método y las operaciones anteriormente resumidas y divulgadas en detalle a continuación. Más particularmente, un producto de programa de ordenador es una realización que tiene un medio legible por ordenador que incluye instrucciones de programa de ordenador codificadas en el mismo, que cuando se ejecutan en al menos un procesador en un sistema de ordenador hace que el procesador realice las operaciones indicadas en el presente documento como realizaciones de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Las ventajas y características anteriores y otras se comprenderán más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones, con referencia a las figuras adjuntas, que deben considerarse de una manera ilustrativa y no limitativa, en las que:

La figura 1 ilustra el sistema del segundo aspecto de la invención de acuerdo con una realización. En este caso, la arquitectura del sistema está completamente incluida en un nodo de transporte de una red de comunicaciones.

La figura 2 ilustra el sistema del segundo aspecto de la invención de acuerdo con otra realización. En este caso, la arquitectura del sistema está dividida entre un nodo de transporte y un controlador de nodo de transporte.

La figura 3 es una ilustración de la arquitectura general usada por la presente invención de acuerdo con la realización de la figura 1, es decir, el procedimiento de la congestión solo se implementa en el nodo de transporte.

La figura 4 es una ilustración de la arquitectura general usada por la presente invención de acuerdo con la realización de la figura 2, es decir, el procedimiento de la congestión está implementado en parte en el nodo de transporte e implementado en parte en el controlador de nodo de transporte.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

5 Con referencia a las figuras 1 o 2, la presente invención se implementa principalmente por dos componentes: el hardware subyacente que implementa los procedimientos de control de la congestión y el software encargado de la configuración y el control del comportamiento del componente de hardware. Ambas entidades no deben necesariamente colocarse de manera conjunta físicamente en el elemento de nodo de transporte 100 (por ejemplo, un elemento de conmutación), ya que el software de control puede desplegarse en una entidad del plano de control separada, como un controlador de nodos de transporte o el controlador SDN 10.

10 Como puede verse en las figuras 1 o 2, los componentes de hardware pueden incluir: una unidad de clasificación 102; una unidad(s) de marcación de paso 103 (una por puerto de salida); una unidad(s) de cola virtual 104 (una por puerto de salida); una unidad de marcador 105 y/o una unidad de descarte 106.

15 El método de control de la congestión propuesto puede funcionar, o de una manera asíncrona o síncrona. En el primer caso, el control de la congestión se activaría en cualquier momento en que un puerto de entrada reciba un bloque de información. En el segundo caso, el control de la congestión se activaría periódicamente con la periodicidad establecida por el flujo de paquetes de datos de tasa fija con el intervalo más pequeño entre los paquetes de datos.

20 La presente invención establece la configuración del procedimiento de control de la congestión para implementarse basándose en las características de los flujos de paquetes de datos que se procesan por un conmutador 101. A continuación, la unidad de clasificación 102 identifica el tipo de flujo de paquetes de datos que se dirigen a cada puerto de salida. Una primera clasificación distingue entre los flujos FB de paquetes de datos de tasa de bits fija y los flujos VB de paquetes de datos de tasa de bits variable considerando una pluralidad de parámetros de configuración.

25 Preferentemente, los flujos de paquetes de datos que tienen una tasa de bits fija se caracterizan por dos parámetros de configuración: una tasa de bits garantizada necesaria por el flujo de paquetes de datos y una latencia máxima que puede soportarse. Por otro lado, los flujos de paquetes de datos que tienen una tasa de bits variable se caracterizan por los siguientes parámetros de configuración: la tasa de bits media, la tasa de bits máxima, la latencia máxima que puede soportarse y la prioridad de flujo. La prioridad de flujo puede establecerse a partir del indicador de calidad que se soporta en normas como LTE o UMTS. Como alternativa, la prioridad de flujo puede estar basada en los datos de suscripción.

30 En una realización de la invención, la clasificación de los flujos de paquetes de datos se basa en la etiqueta QinQ de IEEE 802.1ad que se supone que se usa para encaminar diferentes flujos en la red.

35 Los flujos FB de paquetes de datos de tasa de bits fija identificados y clasificados se envían, a continuación, a los marcadores de paso 103, que en la presente invención se implementan preferentemente como un mecanismo de contador dinámico simple, pero en cualquier caso no son obligatorios.

40 Los parámetros de configuración de los flujos VB de paquetes de datos de tasa de bits variable se introducen en la unidad de cola virtual 104 (tamaño del paquete de datos en bytes) cuando salen de la unidad de clasificación 102. La unidad de cola virtual 104 comprende un procesador (no ilustrado) que ejecuta un algoritmo para simular una acumulación de cola de un enlace virtual que se ejecuta a una menor velocidad, preferentemente calculada restando a la velocidad del puerto de salida la suma de las velocidades de los flujos de paquetes de datos que tienen la tasa de bits continua (por ejemplo, si existen dos flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija a 2 Gbit/s y el puerto de salida tiene una tasa de bits de 10 Gbit/s, entonces el puerto de salida de la cola 104 virtual se dimensiona para una tasa máxima de 6 Gbit/s). En ese momento, el algoritmo aplica un factor de reducción o de corrección para la velocidad del puerto de salida virtual. El nuevo tamaño de la cola se calcula y se compara con un conjunto de umbrales que se han configurado anteriormente.

45 Si el tamaño de la cola (después de descontar los bytes que deberían haberse transmitido) supera uno de los umbrales configurados, entonces el algoritmo activa uno de los procedimientos de corrección de la congestión programados, que puede ser marcando, mediante la unidad de marcador 105, los paquetes de datos con congestión usando, por ejemplo, la notificación de congestión explícita (ECN) en las cabeceras IP o TCP y/o descartando, mediante la unidad de descarte 106, los paquetes de datos de acuerdo con el algoritmo programado.

50 Los umbrales que se aplican se calculan basándose en uno de los varios procedimientos posibles cuya formulación general es la misma. Se consideran dos tipos de umbrales por la presente invención, los asociados a la protección de los flujos FB de paquetes de datos de tasa de bits fija (Thr1) y los asociados con la protección de los flujos VB de paquetes de datos de tasa de bits variable (Thr2): $\text{Thr1} = \text{min_lat_FB} \cdot (\zeta \cdot \text{tasa_de_bits_puerto_salida_corregida})$ y $\text{Thr2} = \text{min_lat_VB} \cdot (\zeta \cdot \text{tasa_de_bits_puerto_salida_corregida})$, donde min_lat_ (FB o VB) es el valor mínimo de

latencia que no puede superarse por los flujos de paquetes de datos de tasa fija o de tasa variable. Debería observarse que este valor no es la latencia de extremo a extremo que puede tolerarse por los flujos de paquetes de datos, si no la contribución aceptable desde el nodo de transporte 100 a esta latencia de extremo a extremo.

5 La tasa_de_bits_puerto_salida_corregida es la tasa de bits disponible para los flujos VB de paquetes de datos de tasa de bits variable (es decir, la tasa de bits del puerto de salida menos la suma de las tasas de bits de los flujos constantes).

10 El factor ζ de utilización del enlace de cola virtual se calcula como una función de la relación de la suma de las tasas de bits media de los flujos VB de paquetes de datos de tasa de bits variable (VBF_tasa_de_bits_media) para la tasa_de_bits_puerto_salida_corregida:

$$\zeta = \alpha \cdot [1 - \sum (\text{VBF_tasa_de_bits_media})/\text{tasa_de_bits_puerto_salida_corregida}],$$

15 donde ($\alpha \leq 1$) es un factor de diseño que puede usarse para modular este parámetro con el fin de mejorar el rendimiento global del procedimiento. Este parámetro, en una realización de la invención, es una función de la relación entre las tasas de bits media y máxima de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable. En esta realización, α tiene un valor más bajo como la relación entre los aumentos de las tasas de bits máximas y medias.

20 Puede haber umbrales asociados con la activación de los diferentes procedimientos de corrección de la congestión que se describen en las siguientes secciones (por ejemplo, un umbral más bajo para activar los procedimientos de notificación de la congestión y un umbral más alto para la activación del descarte de paquetes). Puede haber también diferentes umbrales asociados a los flujos de paquetes de datos con diferentes prioridades, es decir, valores umbrales más bajos para esos flujos de paquetes de datos que tienen menor prioridad, por lo que son más propensos a que se les marque o descarte.

La comparación del umbral con la ocupación de la cola virtual puede realizarse considerando o el valor absoluto o un promedio móvil de la ocupación de la cola. En una realización de la invención, se usa un filtro de mediana para estimar el promedio móvil de la ocupación de la cola, mientras que en otra realización de la invención se usa un promedio móvil ponderado exponencial. Los parámetros a usarse para el cálculo del promedio móvil de la ocupación de la cola (el tamaño de ventana del filtro de mediana, el factor de ponderación de la media móvil exponencial) serán una función de los parámetros que caracterizan los flujos de paquetes de datos y la relación entre las escalas de tiempo de los flujos de paquetes de datos de información controlados.

35 Procedimientos de corrección de la congestión

Se prevén dos procedimientos de corrección de la congestión a emprenderse por el nodo de transporte 100 que implementa el método propuesto.

40 Uno de los procedimientos de corrección de la congestión se basa en el marcado de los paquetes de datos. El marcado puede basarse en mecanismos ECN a nivel IP o en nuevos protocolos de notificación de la congestión de capa inferior. Como los anteriores, en general, funcionan a una escala de tiempo más grande, no pueden usarse para resolver problemas de congestión a corto plazo si el retardo de transporte es significativo. Los mecanismos ECN existentes se basan en la señalización en banda de la congestión. Todos los paquetes de datos en una conexión tienen un bit activado en la cabecera IP que le indica al nodo de transporte que este paquete de datos pertenece a una conexión que entiende, y que reaccionará a la ECN. Cada nodo de transporte puede usar su propia política para implementar el mecanismo ECN, por ejemplo, marcando el paquete mediante el establecimiento de otro bit en la cabecera IP cuando el tamaño medio de la cola supera cierto umbral. Tras recibir cualquier paquete de datos con el ECN activado en el mismo, el receptor se hace eco de esta información en su mensaje ACK (o realimentación equivalente) al emisor. Cuando el emisor recibe un mensaje ACK o de realimentación con la ECN hecha eco, toma medidas apropiadas de control de la congestión; por ejemplo, reduciendo su ventana. También activa alguna información en la cabecera IP que indique al receptor que de hecho el emisor ha reaccionado a este eco.

55 En el contexto de las redes 3GPP, el elemento encargado de reaccionar a la notificación de la congestión es la función de política y reglas de cargas (PCRF), que dinámicamente controla y gestiona todas las sesiones de datos. La PCRF proporciona políticas para la mitigación de la congestión a una o más de las siguientes entidades de red:

- a la PCEF (función de política y aplicación de cargas) sobre la interfaz Gx;
- 60 • a la TDF (función de detección de tráfico) sobre la interfaz Sd;
- a la AF (función de aplicación) sobre la interfaz Rx.

Otra opción es el uso del algoritmo de notificación de la congestión cuantificado (QCN), normalizado por el DCB Task Group en marzo de 2010 como la norma de notificación de congestión IEEE 802.1Qau. QCN es un mecanismo

de control de la congestión de capa 2 en el que un conmutador congestionado puede controlar las tasas de las fuentes de capa 2 (Tarjetas Ethernet de interfaz de red), cuyos paquetes están pasando a través del conmutador. El algoritmo especifica esencialmente un bucle de control de la congestión en la capa 2 similar a los bucles de control TCP/RED (o DCTCP) en la capa 3.

5 El marcado de paquetes de datos en el contexto de la presente invención se realiza con una de las siguientes soluciones propuestas: marcado de acuerdo con las prioridades establecidas para los diferentes flujos de paquetes de datos, es decir, se marcan primero los flujos de menor prioridad; marcado de paquetes de datos del flujo cuya tasa de bits media medida se desvía más de la tasa de bits media declarada; marcado de paquetes de datos cuyo retardo de acuse de recibo medido es más corto; marcado de acuerdo con una combinación de las anteriores, etc.

10 El otro procedimiento de corrección de la congestión consiste en el descarte de los paquetes de datos de la cola del puerto de salida a partir de los flujos de paquetes de datos seleccionados. El mecanismo descartaría los paquetes de datos de manera aleatoria de acuerdo con una probabilidad de descarte, p , que se obtiene a partir de un componente de "cálculo de probabilidad de descarte". En una realización de la invención, la probabilidad de descarte se calcula basándose en el tamaño del paquete de datos, que dividido por, entre el paquete de datos y entre el tiempo de llegada, proporciona la tasa v de bits real. Esta tasa de bits puede compararse con la tasa de bits que se necesitaría para mantener la ocupación de la cola por debajo del umbral establecido, v' . De esta manera es posible calcular el factor de reducción γ , tal que $v' = \gamma \cdot v$. Es fácil calcular que para reducir la tasa de bits de v a v' es necesario descartar 1 cada n paquetes, siendo n igual a $1/(1 - \gamma)$. Entonces la probabilidad de descarte se ajusta a $(1 - \gamma)$.

La ventaja de esta estrategia es que, además de activar los mecanismos de control de la congestión de extremo a extremo de TCP (por ejemplo, reduciendo la ventana de transmisión), esto permite una disminución directa de la latencia. También es más eficaz cuando existe un alto porcentaje de flujos de paquetes de datos basados en UDP. El principal inconveniente es el impacto negativo que puede tener de la QoE de los flujos afectados.

Se estimará la probabilidad de paquetes de descarte para los diferentes flujos de paquetes de datos de acuerdo con la ocupación de la cola virtual y la prioridad de los flujos de paquetes de datos del puerto de salida correspondiente.

30 De acuerdo con una realización, con el fin de decidir qué procedimiento de corrección de la congestión se activa, es decir, el marcado o el descarte de los paquetes de datos, el método propuesto tendrá en cuenta la latencia de activación asociada a los mecanismos ECN, es decir, el período de tiempo necesario ya que la congestión se notifica marcando los paquetes de datos hasta que el emisor recibe la notificación en el paquete ACK correspondiente.

35 Como alternativa, de acuerdo con otra realización, se activan ambos procedimientos de corrección de la congestión, es decir, el marcado y el descarte de paquetes de datos, reforzando por lo tanto el control de la congestión.

40 Por otra parte, de acuerdo con otra realización más, se activa también un procedimiento de corrección de la congestión complementario, similar a la modificación de las tasas de bits de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija reduciendo, por ejemplo, el número de bits por muestra en las señales I/Q digitalizadas que se transmiten a través de la interfaz CPRI. Además, existe la posibilidad de mover uno o más flujos de paquetes de datos a otras rutas menos congestionadas alternativas.

45 Se espera que la presente invención se use en el contexto de las redes de comunicaciones móviles LTE virtualizadas en las que los flujos de paquetes de datos correspondientes a diferentes divisiones funcionales atraviesan un nodo de transporte 100 donde puede suceder la congestión. Con referencia a la figura 3 se ilustra la realización en la que el método propuesto se ejecuta por completo en el nodo de transporte 100, que determina los valores de los parámetros de configuración a usar. El nodo de transporte 100 puede ser un conmutador físico de capa 2/capa 3 o un conmutador virtual implementado con Open vSwitch u otra tecnología de software.

50 Con referencia a la figura 4, se ilustra la realización de la invención en la que el método propuesto se ejecuta en parte por una arquitectura controlada de software. En este caso, el plano de control, responsable de la configuración de los valores de los diferentes parámetros de configuración, reside en y el nodo independiente, el controlador 10 de nodo de transporte que se comunica con el nodo de transporte 100 a través de una interfaz normalizada, como, por ejemplo, una extensión del protocolo OpenFlow. Sin embargo, debería observarse que el método propuesto puede soportarse con otras soluciones y protocolos.

60 La invención propuesta puede implementarse en hardware, software, firmware, o cualquier combinación de los mismos. Si se implementa en software, las funciones pueden almacenarse en o codificarse como una o más instrucciones o código en un medio legible por ordenador.

Los medios legibles por ordenador incluyen un medio de almacenamiento por ordenador. Los medios de almacenamiento pueden ser cualquier medio disponible al que pueda accederse por un ordenador. A modo de

ejemplo, y no de limitación, tales medios legibles por ordenador pueden comprender RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM u otro almacenamiento en disco óptico, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnéticos, o cualquier otro medio que pueda usarse para llevar o almacenar un código de programa deseado en la forma de instrucciones o estructuras de datos y que pueda accederse por un ordenador. Un disco magnético y un disco óptico, como se usan en el presente documento, incluyen discos compactos (CD), discos láser, discos ópticos, discos versátiles digitales (DVD), disquetes y discos Blu-ray, discos magnéticos en los que en general se reproducen datos magnéticamente, mientras que en los discos ópticos se reproducen datos ópticamente con un láser. Las combinaciones de los anteriores también estarían incluidas dentro del alcance de los medios legibles por ordenador. Cualquier procesador y el medio de almacenamiento pueden residir en un ASIC. El ASIC puede residir en un terminal de usuario. Como alternativa, el procesador y el medio de almacenamiento pueden residir como componentes discretos en un terminal de usuario.

Como se usa en el presente documento, los productos de programa de ordenador que comprenden medios legibles por ordenador incluyen todas las formas de medio legible por ordenador, excepto, en la medida en que tales medios se considere que son señales de propagación transitorias no estatutarias.

El alcance de la presente invención se define en el siguiente conjunto de reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método implementado por ordenador para controlar la congestión en un nodo de transporte de una red de comunicaciones, comprendiendo el método:
- 5
- identificar y clasificar, mediante una unidad de clasificación (102), los flujos de paquetes de datos recibidos entre los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija (FB) y los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable (VB), realizándose dicha clasificación en la unidad de clasificación (102) que ha comprobado una pluralidad de parámetros de configuración con respecto a los flujos de paquetes de datos; **caracterizado porque**
 - 10 el método comprende adicionalmente:
 - enviar los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija (FB) identificados y clasificados a una unidad de marcación de paso (103) que separa la transmisión de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija (FB) hacia un puerto de salida del nodo de transporte (100); y
 - 15 - enviar la pluralidad de parámetros de configuración en relación con los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable (VB) identificados y clasificados a una unidad de cola virtual (104), incluyendo dicha unidad de cola virtual (104) un procesador que ejecuta un algoritmo para activar uno o más procedimientos de corrección de la congestión, en el que en el caso de que el resultado obtenido por dicho algoritmo esté por encima de, o sea igual a, al menos un umbral se activa un procedimiento de corrección de la congestión correspondiente.
- 20 2. El método implementado por ordenador de la reivindicación 1, en el que dicho algoritmo calcula una tasa de bits que la unidad de cola virtual (104) puede soportar basándose en una tasa de bits de referencia resultante de la resta de la tasa de bits del puerto de salida menos la capacidad necesaria para transmitir los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija.
- 25 3. El método de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de parámetros de configuración incluyen, para el caso de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija (FB), una tasa de bits garantizada y una latencia máxima, y para el caso de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable (VB), una tasa de bits media; una tasa de bits máxima; una latencia máxima y una prioridad de flujo.
- 30 4. El método de la reivindicación 3, en el que se establece la prioridad de flujo a partir de un indicador de calidad soportado en una norma de comunicaciones que incluye al menos LTE o UMTS, o se basa en los datos de suscripción.
5. El método de la reivindicación 1, que comprende calcular dicho al menos un umbral por medio de la siguiente expresión: $\text{Thr}_2 = \text{min_lat_VB} \cdot (\zeta \cdot \text{tasa_de_bits_puerto_salida_corregida})$, en la que min_lat_VB es el valor mínimo de la latencia que no puede superarse por los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable (VB), tasa_de_bits_puerto_salida_corregida es la tasa de bits disponible para los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable (VB), y ζ es el factor de utilización del enlace de cola virtual.
- 35
- 40 6. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el algoritmo funciona de una manera asíncrona o síncrona.
7. El método de la reivindicación 1, en el que se activa dicho procedimiento de corrección de la congestión correspondiente, mediante una unidad de marcador (105) y/o una unidad de descarte (106), basándose en la latencia de activación asociada a un mecanismo de notificación de congestión explícita, o ECN.
- 45
8. El método de la reivindicación 7, en el que el procedimiento de corrección de la congestión correspondiente comprende marcar, mediante la unidad de marcador (105), el flujo de paquetes de datos de tasa de bits variable (VB_x) de dichos flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable (VB) identificados y clasificados que tienen una prioridad más baja, o una tasa de bits media medida que se desvía el máximo de una tasa de bits media declarada o un retardo de acuse de recibo medido más corto.
- 50
9. El método de la reivindicación 7 u 8, en el que el procedimiento de corrección de la congestión correspondiente comprende descartar de forma aleatoria, mediante la unidad de descarte (106), los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable de dichos flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable (VB) identificados y clasificados de acuerdo con una probabilidad de descarte.
- 55
10. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores 7 a 9, que comprende además activar un procedimiento de corrección de la congestión complementario, incluyendo dicho procedimiento de corrección de la congestión complementario al menos modificar las tasas de bits de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija (FB) o mover los flujos de paquetes de datos a una ruta menos congestionada.
- 60
11. Un sistema para controlar la congestión, que comprende:

- una unidad de clasificación (102) configurada y dispuesta para identificar y clasificar los flujos de paquetes de datos recibidos entre los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija (FB) o los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable (VB) considerando una pluralidad de parámetros de configuración con respecto a los flujos de paquetes de datos;

5 **caracterizado porque** el sistema comprende adicionalmente:

10 - una unidad de marcación de paso (103) configurada y dispuesta para recibir los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija (FB) identificados y clasificados desde la unidad de clasificación (102) y para separar la transmisión de los flujos de paquetes de datos de tasa de bits fija (FB) hacia un puerto de salida de un nodo de transporte (100) de una red de comunicaciones; y

15 - una unidad de cola virtual (104) configurada y dispuesta para recibir la pluralidad de parámetros de configuración en relación con los flujos de paquetes de datos de tasa de bits variable (VB) identificados y clasificados desde la unidad de clasificación (102), comprendiendo dicha unidad de cola virtual (104) un procesador que ejecuta un algoritmo para activar uno o más procedimientos de corrección de la congestión, en el que en el caso de que el resultado obtenido por dicho algoritmo esté por encima de, o sea igual a, al menos un umbral se activa un procedimiento de corrección de la congestión correspondiente.

20 12. El sistema de la reivindicación 11, que comprende además una unidad de marcador (105) y/o una unidad de descarte (106) configuradas y dispuestas para activar el uno o más procedimientos de corrección de la congestión basándose en una latencia de activación asociada a un mecanismo de notificación de congestión explícita, o ECN.

13. El sistema de la reivindicación 11 o 12, que está completamente incluido en el nodo de transporte (100).

25 14. El sistema de la reivindicación 13, en el que el nodo de transporte (100) comprende un dispositivo de comunicación física de capa 2 o de capa 3 que incluye al menos un conmutador, o un dispositivo de comunicación virtual que incluye al menos un conmutador virtual implementado con una tecnología de software.

30 15. El sistema de la reivindicación 11 o 12, está incluido en parte en el nodo de transporte (100) e incluido en parte en un controlador de nodo de transporte (10), estando el nodo de transporte (100) y el controlador de nodo de transporte (10) configurados y dispuestos para comunicarse entre sí a través de una interfaz de comunicaciones.

35 16. Un producto de programa de ordenador que comprende instrucciones de código de programa de software que cuando se cargan en un sistema de ordenador que incluye al menos un procesador controla el sistema de ordenador para realizar cada una de las etapas del método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

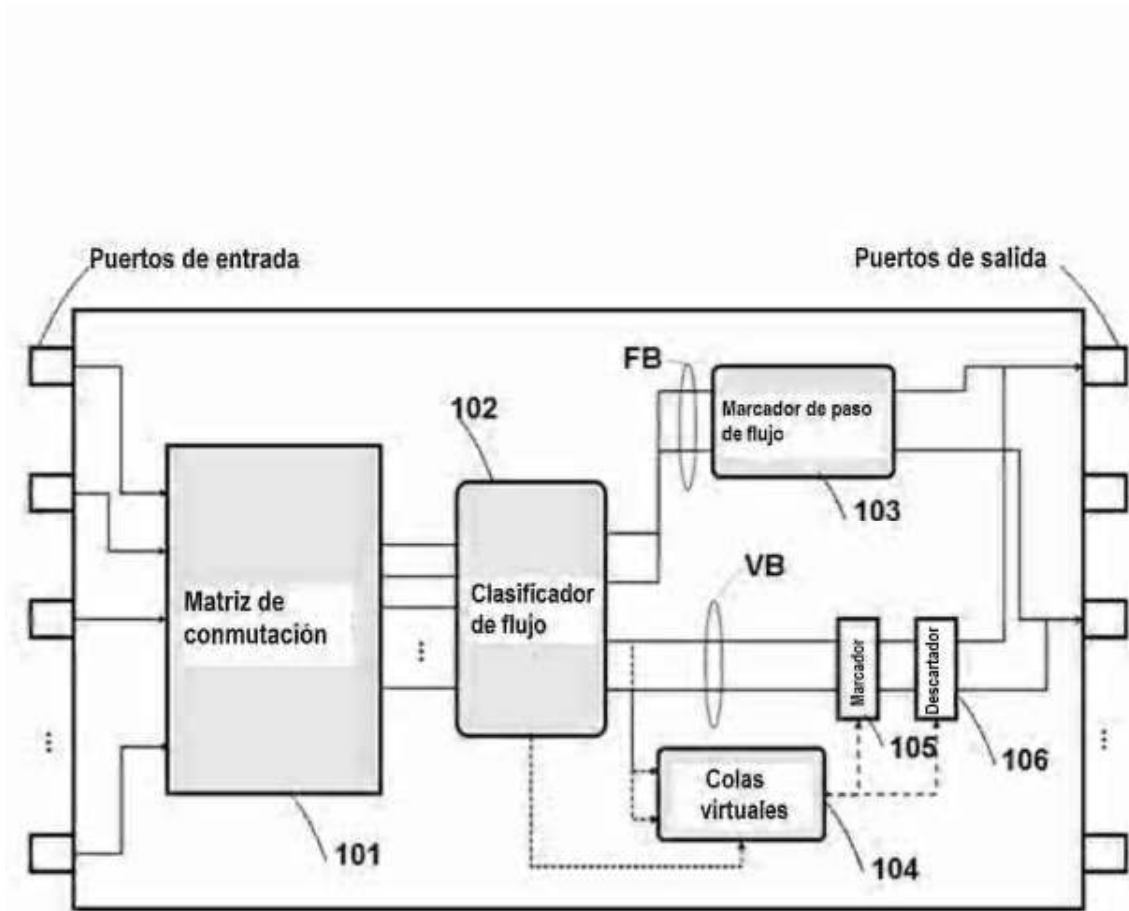


Fig. 1

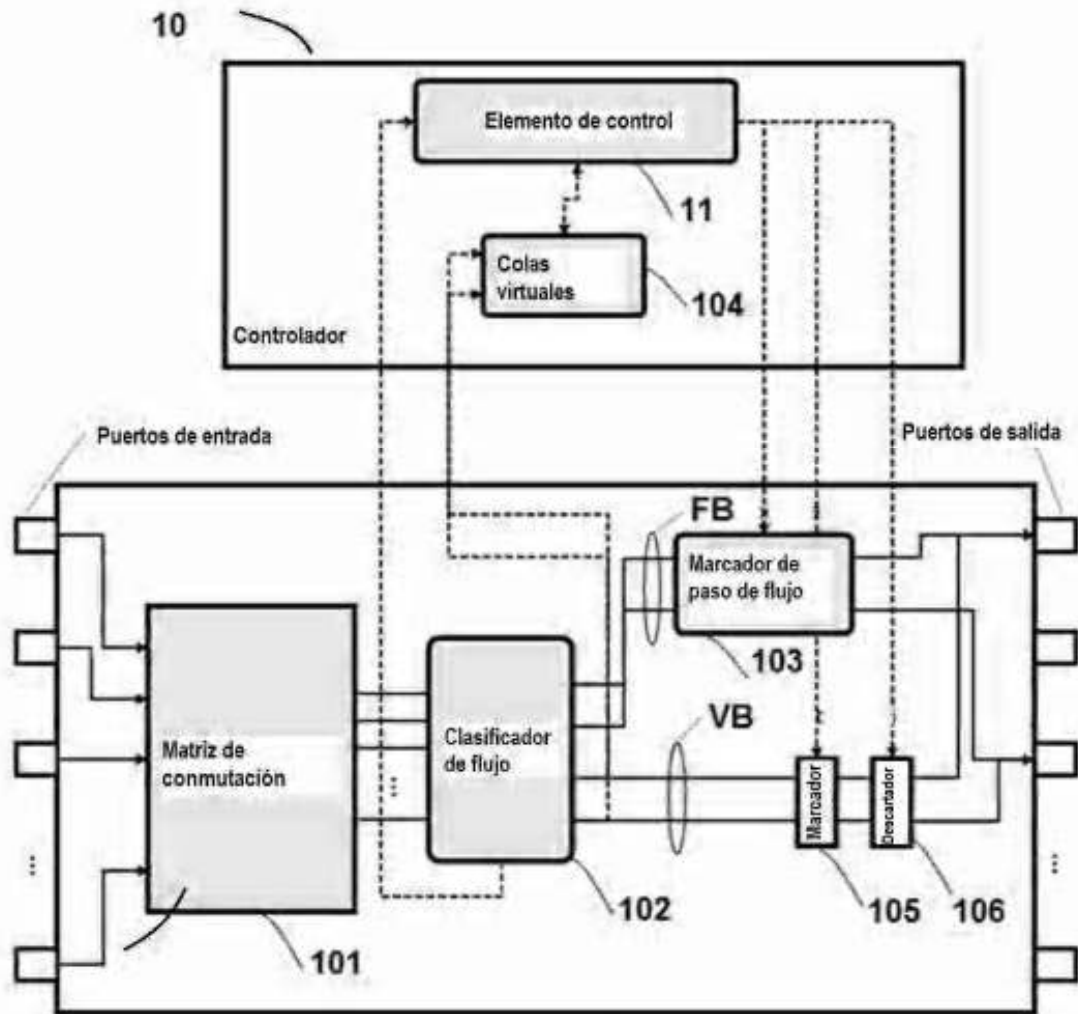


Fig. 2

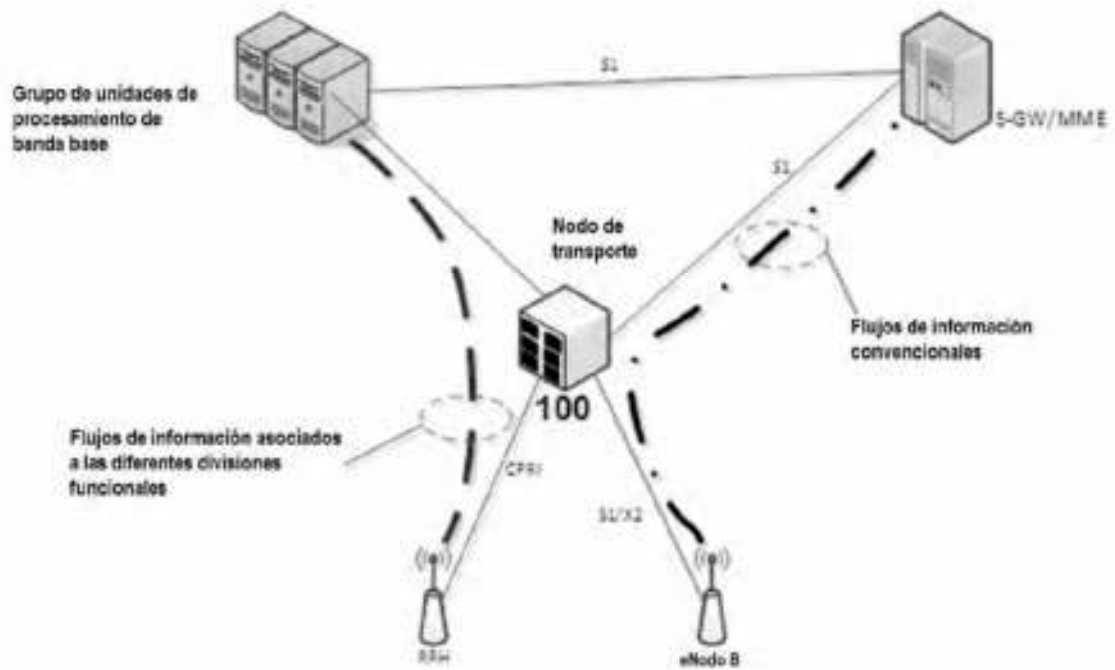


Fig. 3

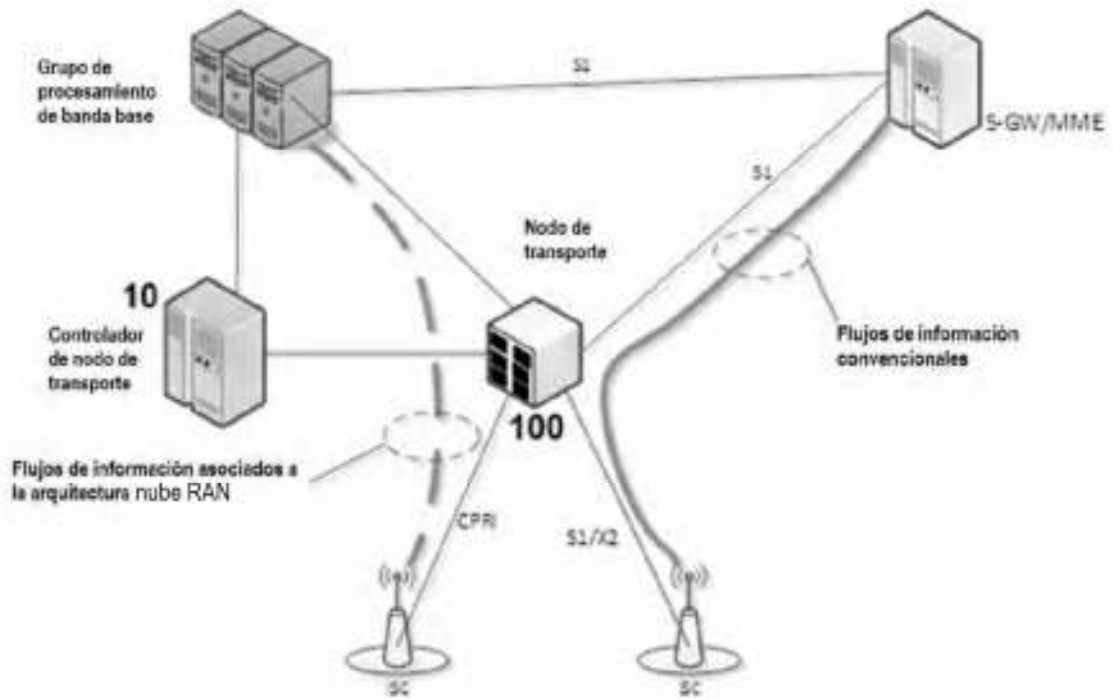


Fig. 4