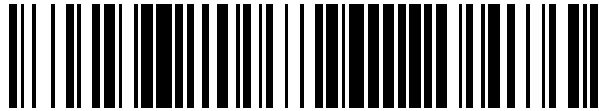


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 447**

51 Int. Cl.:

H04L 12/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.04.2013** **E 13724741 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.03.2015** **EP 2710767**

54 Título: **Procedimiento y sistema para la determinación de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío de una red**

30 Prioridad:

27.04.2012 EP 12166042

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

25.05.2015

73 Titular/es:

**NEC EUROPE LTD. (100.0%)
Kurfürsten-Anlage 36
69115 Heidelberg, DE**

72 Inventor/es:

**BIFULCO, ROBERTO;
HASSELMAYER, PEER y
BRUNNER, MARCUS**

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 536 447 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

Procedimiento y sistema para la determinación de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío de una red

5

La invención se refiere a un procedimiento para la detección de interacciones en un elemento de reenvío de una red, en el que el elemento de reenvío se puede utilizar para reenviar datos de acuerdo con las reglas instaladas en el elemento de reenvío, y en el que se instala un conjunto de reglas en el elemento de reenvío, y en el que el conjunto de reglas comprende unas reglas, y en el que una regla comprende un conjunto de criterios de coincidencia (*match set*) y al menos un conjunto de acciones (*action set*) correspondiente, en el que el conjunto de criterios de coincidencia comprende al menos un campo de coincidencia y en el que el conjunto de acciones comprende una o más acciones en las que una acción se lleva a cabo cuando se encuentra una coincidencia con un conjunto de criterios de coincidencia y en el que se asigna una prioridad de regla a cada regla.

10

15 La presente invención también se refiere a un procedimiento para la detección de interacciones de contigüidad entre elementos de reenvío contiguos pertenecientes a una red.

La presente invención también se refiere a un procedimiento para la determinación de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío pertenecientes a una red.

20

Además, la presente invención se refiere a un sistema para la determinación de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío pertenecientes a una red.

En el documento US 8.161.151 B2, se describe un procedimiento para la detección de interacciones de reglas en un elemento de reenvío de una red. El elemento de reenvío analiza las reglas que se aplican durante un periodo de tiempo predefinido. Dichos análisis se evalúan comparándolos con los datos transmitidos. Si una parte de los datos transmitidos está presente para varias reglas, se detecta una interacción entre reglas y se almacena.

25

Aunque se pueda aplicar a elementos de reenvío y redes en general, la presente invención se describirá haciendo referencia a redes basadas en OpenFlow que comprenden conmutadores habilitados para OpenFlow como elementos de reenvío.

30

En redes basadas en OpenFlow, cada conmutador habilitado para OpenFlow está configurado para actuar de acuerdo con las denominadas reglas OpenFlow OFR, instaladas por medio de un protocolo de OpenFlow. Dicha regla de OpenFlow está definida por un conjunto de criterios de coincidencia, un conjunto de acciones y una prioridad de regla. El conjunto de criterios de coincidencia define a qué flujos de la red se les aplica el conjunto de acciones. El conjunto de acciones define elaboraciones y decisiones de reenvío para flujos entrantes que cumplen todas las condiciones del conjunto de criterios de coincidencia. La prioridad de regla se usa para ordenar una regla con respecto a otras reglas instaladas en el conmutador OpenFlow. El comportamiento de la red estará definido entonces por la combinación de todas las reglas instaladas en todos los conmutadores habilitados para OpenFlow y por la topología de la red, es decir, la forma que adoptan las interconexiones físicas de los conmutadores OpenFlow.

35

40

Por ejemplo, cuando se instala una regla OpenFlow en un conmutador OpenFlow dado, esta tiene la posibilidad de interactuar con otras reglas instaladas en otros conmutadores OpenFlow, dependiendo de la topología de red. Una regla instalada en un conmutador OpenFlow puede hacer que otras reglas instaladas en otros conmutadores OpenFlow a lo largo de una determinada ruta de red resulten inservibles. La presencia o ausencia de dichas interacciones entre reglas en diferentes conmutadores OpenFlow influye sobre el comportamiento de la red en general. Por ejemplo, las interacciones pueden generar un comportamiento erróneo en la red. Dichas interacciones de reglas resultan muy difíciles de detectar, ya que el número total de reglas que intervienen en una red OpenFlow, en particular en una red de gran escala, y el número de posibilidades resultantes al combinarlas de acuerdo con la topología de red son enormes.

45

50

Para ayudar a definir o programar reglas OpenFlow, se puede usar el lenguaje denominado «Frenetic», que es un lenguaje de alto nivel basado en el paradigma de programación funcional. Después de programar las reglas OpenFlow en el alto nivel, las reglas se traducen a un conjunto de reglas de procesamiento de paquetes de un nivel más bajo; no obstante, se limitan a un único conmutador OpenFlow. Las interacciones entre reglas se resuelven en el lenguaje de alto nivel.

55

Sin embargo, esto presenta el inconveniente de que, una vez que se han proporcionado reglas a un conmutador

OpenFlow, cualquier alteración de las reglas, como un cambio de puerto de las reglas de reenvío, etc., podría dar lugar a otras interacciones que ya no se puedan resolver, si por ejemplo no hay un descompilador presente o si otro usuario no cuenta con ninguna herramienta para descompilar las reglas instaladas en el lenguaje Frenetic.

5 Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es el de proporcionar procedimientos y sistemas para la determinación de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío.

Otro objetivo de la presente invención es el de proporcionar un procedimiento y un sistema para la detección de interacciones en un único elemento de reenvío.

10

Otro objetivo más de la presente invención es el de proporcionar un procedimiento y un sistema para la detección de interacciones en una red, que sean más flexibles.

15 Otro objetivo más de la presente invención es el de proporcionar unos procedimientos y un sistema para la detección de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío en una red, que sean fáciles de implementar, a la vez que fiables.

20 Aún otro objetivo más de la presente invención es el de proporcionar unos procedimientos y un sistema que reduzcan el consumo de recursos de red, en particular, la memoria en los elementos de reenvío, así como la carga de procesamiento en los elementos de reenvío.

Aún otro objetivo más de la presente invención es el de habilitar el análisis de interacciones para toda la red.

25 Aún otro objetivo más de la presente invención es el de clasificar las reglas que interactúan.

Los objetivos mencionados anteriormente se logran mediante un procedimiento de la reivindicación 1, un procedimiento de la reivindicación 7, un procedimiento de la reivindicación 11 y un sistema de la reivindicación 17.

30 En la reivindicación 1, se define un procedimiento para la detección de interacciones en un elemento de reenvío en un red, en el que el elemento de reenvío se puede utilizar para reenviar datos de acuerdo con las reglas instalables en el elemento de reenvío, y en el que se instala un conjunto de reglas en el elemento de reenvío, y en el que el conjunto de reglas comprende reglas, y en el que una regla comprende un conjunto de criterios de coincidencia y al menos un conjunto de acciones correspondiente, en el que el conjunto de criterios de coincidencia comprende al menos un campo de coincidencia y en el que el conjunto de acciones comprende una o más acciones, en el que
35 debe llevarse a cabo una acción cuando se encuentra una coincidencia con el conjunto de criterios de coincidencia y en el que se asigna una prioridad de regla a cada regla.

De acuerdo con la reivindicación 1, el procedimiento se caracteriza por las etapas de:

40 a) determinación de una o más relaciones entre los conjuntos de criterios de coincidencia,

b) determinación de una o más relaciones entre los conjuntos de acciones,

45 c) determinación de una o más interacciones entre las reglas, basándose en las relaciones determinadas entre los conjuntos de criterios de coincidencia y los conjuntos de acciones, en la que cada regla se coteja con otra regla para determinar la interacción,

50 d) reducción del conjunto de reglas hasta dar lugar a un conjunto concreto de reglas de acuerdo con las interacciones determinadas, de manera que el conjunto concreto de reglas comprende únicamente reglas que no presentan interacciones entre ellas.

En la reivindicación 7, se define un procedimiento para la detección de interacciones de contigüidad entre elementos de reenvío contiguos en una red.

55 De acuerdo con la reivindicación 7, el procedimiento se caracteriza por las etapas de:

a1) selección de uno de los elementos de reenvío como referencia para la determinación de elementos de reenvío contiguos,

b1) determinación de una lista de contigüidad basándose en los elementos de reenvío conectados directamente con el elemento de reenvío seleccionado,

5 c1) ejecución del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6 para cada uno de los elementos de reenvío en la lista de contigüidad para obtener un conjunto concreto de reglas para cada uno de los elementos de reenvío,

10 d1) determinación de una o más interacciones entre los conjuntos concretos de reglas de dos elementos de reenvío contiguos,

e1) reducción de los conjuntos concretos de reglas de acuerdo con las interacciones determinadas, de manera que los conjuntos concretos de reglas comprenden únicamente reglas que no presentan interacciones con una regla del otro conjunto concreto de reglas correspondiente.

15 En la reivindicación 11, se define un procedimiento para la determinación de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío en una red.

De acuerdo con la reivindicación 11, el procedimiento se caracteriza por las etapas de:

20 a2) realización del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6 para cada elemento de reenvío de la red,

b2) selección de uno de los elementos de reenvío,

25 c2) determinación de una lista de contigüidad de elementos contiguos con respecto al elemento de reenvío seleccionado,

d2) ejecución de las etapas c1) a e1) del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 10,

30 e2) fusión de los conjuntos concretos de reglas disjuntos con un nuevo conjunto concreto de reglas que representa tanto al elemento de reenvío contiguo como al elemento de reenvío seleccionado,

f2) definición de un elemento de reenvío fusionado con el nuevo conjunto concreto de reglas como nuevo elemento de reenvío seleccionado,

35 g2) ejecución de las etapas c2) a f2) de manera iterativa hasta que un número predeterminado, preferentemente todos los elementos de reenvío de la red, se hayan fusionado para dar lugar a dos elementos de reenvío.

40 En la reivindicación 17, se define un sistema para la determinación de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío en red.

De acuerdo con la reivindicación 17, el sistema se caracteriza por

45 unos medios de reducción, preferentemente el propio elemento de reenvío y/o un controlador centralizado de la red, que pueden utilizarse para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6 en el elemento de reenvío,

50 unos medios de determinación que se pueden utilizar para seleccionar uno de los elementos de reenvío y para determinar una lista de contigüidad de elementos contiguos con respecto al elemento de reenvío seleccionado,

unos medios de reducción que se pueden utilizar para llevar a cabo las etapas c1) a e1) del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 10,

55 unos medios de fusión que se pueden utilizar para fusionar los conjuntos concretos de reglas disjuntos en un nuevo conjunto concreto de reglas que representa tanto al elemento de reenvío contiguo como al elemento de reenvío seleccionado y para definir un elemento de reenvío fusionado con el nuevo conjunto concreto de reglas como nuevo elemento de reenvío seleccionado,

unos medios de iteración que se pueden utilizar para llevar a cabo las etapas c2) a g2) del procedimiento de acuerdo

con una de las reivindicaciones 11 a 16 de manera iterativa hasta que un número predeterminado, preferentemente todos los elementos de reenvío de la red, se hayan fusionado para dar lugar a dos elementos de reenvío.

De acuerdo con la invención, se ha reconocido que la interacción entre reglas se puede detectar desde un punto de vista global de la red.

De acuerdo con la invención, también se ha reconocido que se proporciona una simplificación de un análisis de red, en particular debido a las transformaciones de la red en forma de fusión y/o reducción de elementos de reenvío.

10 De acuerdo con la invención, también se ha reconocido que, debido a las transformaciones de la red, se permiten las optimizaciones del funcionamiento del tiempo de ejecución.

De acuerdo con la invención, también se ha reconocido que se optimiza el consumo de recursos de red, por ejemplo ahorrando ancho de banda del reenvío en enlaces, espacio de tablas de flujo y carga de la CPU en elementos de reenvío, preferentemente conmutadores.

De acuerdo con la invención, también se ha reconocido que las interacciones se pueden poner de manifiesto en los elementos de reenvío, por ejemplo en las tablas de flujo, con el fin de habilitar una comprobación de funciones del controlador que compiten entre sí o la implementación del controlador.

De acuerdo con la invención, también se ha reconocido que, de manera muy flexible, se pueden determinar de forma automática y continua interacciones de reglas que interactúan respectivamente y se pueden aplicar a diferentes dominios operativos sin que ello conlleve ninguna modificación de los respectivos controladores de tales dominios.

En las siguientes reivindicaciones secundarias, se describen más características, ventajas y formas de realización preferidas.

De acuerdo con una forma de realización, se determina la duplicación, redundancia, generalización, enmascaramiento (*shadowing*), correlación, inclusión y/o ampliación como interacciones de reglas. Esto permite una definición completa y fiable de interacciones entre dos reglas. Por ejemplo, para una regla Rx con un conjunto de criterios de coincidencia Mx y un conjunto de acciones Ax y una regla Ry con un conjunto de criterios de coincidencia My y un conjunto de acciones Ay, suponiendo que la prioridad de la regla Rx es siempre más baja que la prioridad de la regla Ry, Rx puede tomar parte en las siguientes interacciones:

Duplicación: Suponiendo que la prioridad de las dos reglas es la misma, están duplicadas si además son exactamente iguales en cualquier otra parte de la regla, es decir, el conjunto de criterios de coincidencia y el conjunto de acciones.

Redundancia: Las reglas redundantes poseen los mismos efectos sobre el subconjunto de flujos con el que coinciden ambas reglas, por lo que, en algunas condiciones (por ejemplo, cuando no hay interacciones con terceras reglas), dependiendo de las prioridades de las reglas, se podría borrar una de las reglas sin afectar al comportamiento de la ruta de datos.

Generalización: Las reglas poseen diferentes acciones, pero Rx coincide con un superconjunto de los flujos con el que coincide Ry. Por tanto, el conjunto de acciones Ay se aplicará a flujos con los que coincide la intersección de Mx y My, mientras que para los flujos con los que coincide la diferencia entre Mx y My, se aplicará el conjunto de acciones Ax.

Enmascaramiento: Si Rx está enmascarado por Ry, entonces Rx nunca se aplica, ya que Ry coincide con todos los flujos antes de que Rx sea examinado.

Correlación: Las dos reglas poseen diferentes conjuntos de criterios de coincidencia, pero la intersección de estos conjuntos de criterios de coincidencia no es vacía, por lo tanto, para los flujos que están en la intersección solo se aplicará el conjunto de acciones de la regla de mayor prioridad. Obsérvese que esta interacción es diferente a las interacciones de enmascaramiento, ya que para algunos flujos la regla se sigue aplicando.

Inclusión: La interacción de inclusión es similar al enmascaramiento. Esta interacción aparece en el caso de que una regla nunca sea aplicada «tal como está», pero sus acciones se siguen aplicando en combinación con las acciones

de otra regla (de mayor prioridad). Por ejemplo, Rx nunca se aplica, pero, ya que el conjunto de acciones de Rx es un subconjunto del conjunto de acciones de Ry, las acciones de Rx se siguen aplicando, pero solo en combinación con las acciones de Ry.

- 5 *Ampliación*: La interacción de ampliación es similar a la generalización. Una regla con una prioridad más baja amplía el conjunto de acciones aplicado por otra regla, añadiendo más acciones. Las acciones ampliadas solo se aplican para los flujos con los que coincide la diferencia entre Mx y My.

De acuerdo con otra forma de realización preferida, las relaciones de los campos de coincidencia se clasifican en:

10 relación disjunta, de igualdad, de subconjunto, de superconjunto y/o correlacionada. Esto permite, incluso en presencia de comodines (*wildcards*), una descripción completa de las relaciones entre diferentes campos de coincidencia (*match fields*). La relación entre un campo de coincidencia f₀ y un campo de coincidencia f₁ puede ser una de las siguientes:

- 15 *Disjunta*: los campos de coincidencia poseen diferentes valores;

Igualdad: el valor f₀ es el mismo que f₁;

Subconjunto: el valor f₀ es un subconjunto del valor de f₁ (Por ejemplo, f₀ posee un valor definido, mientras que el

20 valor de f₁ es un comodín).

Superconjunto: el valor f₀ es un superconjunto del valor de f₁ (Por ejemplo, el valor f₀ es una dirección IP en la forma 192.168.0.0/16, mientras que el valor de f₁ es 192.168.1.0/24).

- 25 *Solapamiento*: f₀ y f₁ se solapan, pero no se pueden clasificar en las categorías de superconjunto/subconjunto. (Por ejemplo, f₀ contiene todas las direcciones IP 128.0.0.0/1, mientras que f₁ contiene todas las direcciones IP con el bit menos significativo ==1).

De acuerdo con otra forma de realización preferida, las relaciones del conjunto de criterios de coincidencia se

30 clasifican en: relación disjunta, de coincidencia exacta, de subconjunto, de superconjunto y/o correlacionada. Esto permite una descripción completa de las relaciones entre dos conjuntos de coincidencias diferentes. Por ejemplo, la relación entre un conjunto de criterios de coincidencia M₀ y un conjunto de criterios de coincidencia M₁ puede ser una de las siguientes:

- 35 *Disjunta*: M₀ y M₁ son *disjuntos* si cada campo de M₀ es *disjunto* con respecto al campo de M₁ correspondiente;

Coincidencia exacta: M₀ y M₁ *coinciden exactamente* si cada campo de M₀ es *igual* al campo de M₁ correspondiente;

Subconjunto: M₀ es un *subconjunto* de M₁ si al menos un campo de M₀ es un *subconjunto* del campo de M₁

40 correspondiente y los otros campos de M₀ son *iguales* a los campos de M₁ correspondientes;

Superconjunto: M₀ es un *superconjunto* de M₁ si al menos un campo de M₀ es un *superconjunto* del campo de M₁ correspondiente y los otros campos de M₀ son *iguales* a los campos de M₁ correspondientes;

- 45 *Correlacionada*: M₀ está *correlacionado* con M₁ si el uno o más campos de M₀ son *superconjuntos* de los campos de M₁ correspondientes y los otros campos de M₀ son *iguales* con respecto a los campos de M₁ correspondientes o constituyen *subconjuntos*.

De acuerdo con otra forma de realización preferida, las relaciones del conjunto de acciones se clasifican en: relación

50 disjunta, relacionada, de subconjunto, de superconjunto y/o de igualdad. Esto permite una descripción completa de las interacciones entre dos conjuntos de acciones. Por lo tanto, la relación del conjunto de acciones A₀ y el conjunto de acciones A₁ puede ser una de las siguientes:

Disjunta: A₀ es disjunto con respecto a A₁ si, para cualquier acción de A₀, no existe una acción correspondiente en

55 A₁;

Relacionada: A₀ está relacionado con A₁ si existe al menos una acción de A₀ que está relacionada con una acción de A₁;

Subconjunto: A0 es un subconjunto de A1 si todas las acciones contenidas en A0 son iguales a acciones contenidas en A1, y el número de acciones de A1 es mayor que el número de acciones de A0;

Superconjunto: A0 es un superconjunto de A1 si todas las acciones contenidas en A0 son iguales a acciones contenidas en A1, y el número de acciones de A0 es mayor que el número de acciones de A1;

Igualdad: A0 es igual a A1 si todas las acciones contenidas en A0 son iguales a acciones contenidas en A1, y el número de acciones de A0 es igual al número de acciones de A1.

- 10 Un conjunto de acciones puede contener cero o más acciones. Acciones típicas son, por ejemplo, «reenviar a puerto X», «reescribir dirección de origen/destino de red», «desapilar/apilar (*pop/push*) etiqueta VLAN» o similares. Dentro de un conjunto de acciones, una acción dada puede aparecer solo una vez, por ejemplo un conjunto de acciones no puede contener dos veces una acción de «reenviar al mismo puerto». Una acción a0 puede ser igual a una acción a1 únicamente si son del mismo tipo y poseen los mismos valores. Si el tipo es el mismo pero los valores son diferentes, entonces las acciones a0, a1 están relacionadas. Una acción a0 es diferente a una acción a1 si sus tipos son diferentes.

De acuerdo con otra forma de realización preferida, la etapa d) se realiza llevando a cabo las subetapas de:

- da) Borrado de todas las reglas clasificadas como duplicación, enmascaramiento e inclusión.
 db) Construcción iterativa del conjunto concreto de reglas, en la que el número de iteraciones es el número de reglas del conjunto de reglas que se deben reducir y en la que los campos de coincidencia se reducen dependiendo de la relación entre un campo de coincidencia de una regla con una prioridad más alta y un campo de coincidencia de otra regla.
 Esto permite una reducción rápida y fiable, así como fácil de implementar, de un conjunto de reglas para obtener un conjunto concreto de reglas. Por ejemplo, un conjunto concreto de reglas ARS es un conjunto de reglas para el que la siguiente propiedad es válida:

$$\forall i, j M_i \neq M_j; M_i \in R_i; M_j \in R_j; R_i, R_j \in ARS$$

- 30 En un conjunto concreto de reglas no se dan interacciones entre diferentes reglas R y es posible observar una regla para entender el comportamiento del flujo de red correspondiente. Por ejemplo, las etapas da) y db) se llevan a cabo del siguiente modo: en primer lugar, se lleva a cabo una reducción del conjunto de reglas de acuerdo con la etapa da) borrando del conjunto de reglas cualquier regla duplicada, enmascarada o incluida. A continuación, se construye un conjunto de reglas RS_{j+1} de manera iterativa: en primer lugar, se selecciona la regla de mayor prioridad R_h de RS_j
 35 y, después, para cada R_i de RS_i, se lleva a cabo la siguiente acción:

$$\begin{aligned} RS_{j+1} &= RS_j - \{R_h\} - \{R_i\} + \{R'_i\} \\ ARS &= ARS + \{R_h\} \\ M_h \subset M_i &\rightarrow R'_i: (M_i - M_h); A_i \\ M_h \supset M_i &\rightarrow R'_i: \text{borrado} \\ M_h = M_i &\rightarrow R'_i: \text{borrado} \\ M_h \sim M_i &\rightarrow R'_i: (M_i - (M_h \cap M_i)); A_i \\ M_h \neq M_i &\rightarrow R'_i: R_i \end{aligned}$$

- El conjunto concreto de reglas ARS se construye tras N iteraciones de la etapa db), en las que N es el número de reglas del conjunto de reglas RS. Preferentemente, se puede habilitar una negación en definiciones de conjuntos de criterios de coincidencia con el fin de describir en detalle el subconjunto de flujos coincidentes.

- De acuerdo con una forma de realización preferida del procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, unas reglas de un conjunto concreto de reglas se dividen con respecto a un puerto de ingreso de un elemento de reenvío. Esto permite un rápido procesamiento de las reglas para la determinación de una o más interacciones y la respectiva la reducción del conjunto concreto de reglas de acuerdo con la etapa e1).

- De acuerdo con otra forma de realización preferida, el conjunto concreto de reglas del elemento de reenvío seleccionado comprende todas las reglas de reenvío a un elemento de reenvío contiguo, se determinan interacciones entre el conjunto concreto de reglas y el conjunto concreto de reglas del elemento de reenvío contiguo, y después se comprueban, con respecto a los puertos, interacciones contenidas en el conjunto concreto de reglas del elemento de reenvío seleccionado, preferentemente en la que para interacciones de enmascaramiento se determina una lista de enmascaramiento potencial separada y la lista de enmascaramiento potencial se reduce de manera separada eliminando todas las reglas que no estén enmascaradas. Esto permite obtener un modo rápido y fiable de llevar a cabo las etapas c)1 a e1).
- 10 De acuerdo con otra forma de realización preferida, en la etapa d1) se comprueban transformaciones del conjunto de criterios de coincidencia. Esto permite que se puedan tener en cuenta las transformaciones de paquetes, en particular funciones de reescritura de cabeceras, con lo que se aumenta la flexibilidad.
- De acuerdo con otra forma de realización preferida, se instalan unas reglas en un elemento de reenvío mediante un controlador centralizado, preferentemente, en el que el controlador lleva a cabo un almacenamiento en memoria caché de las reglas instaladas en los elementos de reenvío. En particular, mediante el almacenamiento en memoria caché, el controlador central garantiza la coherencia de las reglas del vaciado de memoria de las reglas instaladas en los elementos de reenvío, es decir, el controlador posee el conocimiento de las reglas instaladas en todos los elementos de reenvío de la red.
- 20 De acuerdo con otra forma de realización preferida, para fusionar puertos de los elementos de reenvío se añade información de identificación del elemento de reenvío. Esto permite, de una manera fácil de implementar, establecer la distinción entre diferentes puertos en diferentes conmutadores, con lo cual se permite una rápida fusión de conjuntos concretos de reglas.
- 25 De acuerdo con otra forma de realización preferida, para fusionar acciones se combinan al menos dos acciones en un único conjunto de acciones basándose en una topología de red. Esto permite combinar acciones con respecto a la topología de red, lo cual permite una combinación fiable de los dos conjuntos de acciones.
- 30 De acuerdo con otra forma de realización preferida, la combinación se lleva a cabo colocando las acciones por su orden de aparición en la red. Esto permite, por ejemplo, que acciones de una regla procedente de un primer elemento de reenvío se apliquen antes de las reglas de un segundo elemento de reenvío. En caso de conflicto, este se puede resolver basándose en las acciones que están en conflicto: siempre se aplica la acción del «último» conjunto. Por ejemplo, en la dirección desde un primer elemento de reenvío hasta un segundo elemento de reenvío, se aplica la acción de una regla procedente del segundo elemento de reenvío. Además, en el caso de una acción de descarte y una acción de reenvío, la acción de descarte siempre goza de la preferencia y, en el caso de acciones de reenvío, siempre se aplica la acción del «último» conjunto. Por ejemplo, en la dirección desde el primer elemento de reenvío hasta el segundo elemento de reenvío, la acción de la regla procedente del segundo elemento de reenvío es aplicada en primer lugar. Evidentemente, es posible más de un enlace (desde un primer elemento de reenvío hasta un
- 40 segundo elemento de reenvío).
- De acuerdo con otra forma de realización preferida, determinadas interacciones se anuncian en al menos una parte de la red, preferentemente a un controlador centralizado.
- 45 Esto permite, por ejemplo, que un administrador de la red analice si el comportamiento de la red es el esperado. Además, se puede poner de relieve una interacción después de que se hayan detectado las interacciones tras un número de pasadas predefinido. Incluso suponiendo también una pluralidad de controladores para diferentes dominios administrativos, se pueden determinar interacciones para cada dominio mediante cada controlador y, además, los procedimientos también se pueden usar para detectar interacciones entre controladores que trabajan de
- 50 modo independiente.
- Existen varias maneras de diseñar y desarrollar las enseñanzas de la presente invención de forma ventajosa. Para ello, es preciso referirse, por una parte, a reivindicaciones de patente subordinadas a la reivindicación de patente 1, reivindicación de patente 11 y reivindicación de patente 17, y por otra parte, a la siguiente explicación de formas de realización preferidas de la invención a modo de ejemplo, ilustradas por la figura. En relación con la explicación de las formas de realización preferidas de la invención mediante la ayuda de la figura, se explicarán formas de realización de la invención generalmente preferidas y otros desarrollos de las enseñanzas. En los dibujos:
- 55

la fig. 1 muestra un diagrama de flujo para un procedimiento de acuerdo con una primera forma de realización de la

presente invención;

la fig. 2 muestra un diagrama de flujo de acuerdo con una segunda forma de realización de la presente invención;

5 la fig. 3 muestra un diagrama de flujo de acuerdo con una tercera forma de realización de la presente invención;

la fig. 4 muestra una parte de un procedimiento de acuerdo con una cuarta forma de realización de la presente invención y

10 la fig. 5 muestra una parte de un procedimiento de acuerdo con una quinta forma de realización de la presente invención.

La fig. 1 muestra un diagrama de flujo para un procedimiento de acuerdo con una primera forma de realización de la presente invención.

15

En la fig. 1, se muestra un esquema de flujo para un procedimiento para la detección de interacciones en el elemento de reenvío en una red, en el que el elemento de reenvío se puede utilizar para reenviar datos de acuerdo con unas reglas instalables en el elemento de reenvío y en el que el conjunto de reglas comprende un conjunto de criterios de coincidencia y al menos un conjunto de acciones correspondiente, en el que el conjunto de criterios de coincidencia comprende al menos un campo de coincidencia y en el que el conjunto de acciones comprende una o más acciones, en el que hay un conjunto de acciones que se deben llevar a cabo cuando se encuentra una coincidencia con un campo de coincidencia, y una prioridad asignada a cada regla.

20

En una primera etapa S1, se determinan una o más relaciones entre los conjuntos de criterios de coincidencia basándose en relaciones de los campos de coincidencia.

25

En una segunda etapa S2, se determinan una o más relaciones entre los conjuntos de acciones.

En una tercera etapa S3, se determinan una o más interacciones entre reglas basándose en la relación determinada entre los conjuntos criterios de coincidencia y los conjuntos de acciones, en la que cada regla se coteja con otra regla para determinar la interacción.

30

En una cuarta etapa S4, el conjunto de reglas se reduce hasta obtener un conjunto concreto de reglas de acuerdo con las interacciones determinadas, de manera que el conjunto concreto de reglas comprende únicamente reglas sin interacciones entre ellas.

35

Para detectar interacciones en un único elemento de reenvío, se llevan a cabo dos procedimientos auxiliares para definir las relaciones entre conjuntos de coincidencias y relaciones entre acciones. Si, por ejemplo, para dos reglas R_x y R_y se supone que la prioridad de la regla R_x es más baja o igual que la prioridad de la regla R_y , es decir $\text{prioridad}(R_x) \leq \text{prioridad}(R_y)$, entonces se lleva a cabo en primer lugar el procedimiento de relación de conjuntos de criterios de coincidencia *matchset_relation* (R_x ; R_y) y después el procedimiento de relación de conjuntos de acciones *actionset_relation* (R_x ; R_y). Para detectar la interacción entre las dos reglas R_x y R_y , se llevan a cabo los procedimientos descritos anteriormente: el procedimiento de relación de conjuntos de coincidencias se lleva a cabo, por ejemplo, del siguiente modo:

40

Algoritmo 1 relación entre conjuntos de criterios de coincidencia *matchset_relation* (R_x ; R_y)

relación ← indeterminada

relaciones_campo ← comparar_campos (R_x ; R_y)

50 **para** campo de *campos_coincidencia* **hacer**

si relaciones_campos [campo] = igual **entonces**
 si relación = indeterminada **entonces**
 relación ← exacta

55

fin si

si no, si relaciones_campos [campo] = superconjunto **entonces**
 si relación = subconjunto **o** relación = correlacionada **entonces**

```

                    relación ← correlacionada
                si no, si relación ≠ disjunta entonces
                    relación ← superconjunto
                fin si
5
    si no, si relaciones_campos [campo] = subconjunto entonces
        si relación = superconjunto o relación = correlacionada entonces
            relación ← correlacionada
10        si no, si relación ≠ disjunta entonces
            relación ← subconjunto
        fin si

        si no
15            relación ← disjunta
        fin si

    fin para
20    retornar relación

```

25 Para hallar la interacción, se puede llevar a cabo el siguiente procedimiento:

Algoritmo 2 detección de anomalías *anomaly_detection* (R_x ; R_y)

```

anomalía ← ninguna
30 relación_ms ← relación_matchset ( $R_x$ ;  $R_y$ )
   relación_as ← relación_actionset ( $R_x$ ;  $R_y$ )

   si prioridad ( $R_x$ ) = prioridad ( $R_y$ ) y relación_ms
   exacta y relación_as = igualdad entonces
35 anomalía ← duplicación

   si no, si relación_ms ≠ disjunta entonces

       si relación_ms = correlacionada entonces
40           si relación_as = igualdad entonces
               anomalía ← redundancia
           si no
               anomalía ← correlación
       fin si

       si no, si relación_ms = superconjunto entonces
           si relación_as = igualdad entonces
               anomalía ← redundancia
50           si no, si relación_as = superconjunto entonces
               anomalía ← ampliación
           si no
               anomalía ← generalización
       fin si

55   si no, si relación_ms = exacta entonces
       si relación_as = igualdad entonces
           anomalía ← redundancia

```

```

    si no, si relación_as = subconjunto entonces
        anomalía ← inclusión
    si no
        anomalía ← enmascaramiento
    fin si
5
    si no, si relación_ms = subconjunto entonces
        si relación_as = igualdad entonces
            anomalía ← redundancia
10
    si no, si relación_as = subconjunto entonces
        anomalía ← inclusión
    si no
        anomalía ← enmascaramiento
    fin si
15
    fin si
    retornar anomalía
20

```

en el que «anomalía» es el tipo de interacción.

La fig. 2 muestra un diagrama de flujo del procedimiento de acuerdo con una segunda forma de realización de la presente invención.

En la fig. 2, se muestra en forma de diagrama de flujo un procedimiento para la detección de interacciones de contigüidad entre elementos de reenvío contiguos en una red.

30 En una primera etapa T1, uno de los elementos de reenvío se selecciona como referencia para la determinación de elementos de reenvío contiguos.

En una segunda etapa T2, se determina una lista de contigüidad basándose en los elementos de reenvío conectados directamente con el elemento de reenvío seleccionado.

35 En una tercera etapa T3, se lleva a cabo el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6 para cada uno de los elementos de reenvío de la lista de contigüidad para obtener un conjunto concreto de reglas para cada uno de los elementos de reenvío.

40 En una cuarta etapa T4, se determinan una o más interacciones entre los conjuntos concretos de reglas de dos elementos de reenvío contiguos y, en una quinta etapa T5, los conjuntos concretos de reglas se reducen de acuerdo con las interacciones determinadas, de manera que los conjuntos concretos de reglas comprenden únicamente reglas sin interacciones del otro conjunto concreto de reglas respectivo.

45 Cuando se considera que dos elementos de reenvío α , σ están conectados directamente mediante un enlace, entonces las interacciones entre los elementos de reenvío α , σ se definen cotejando el conjunto concreto de reglas ARS^α con ARS^σ . En particular, se definen las siguientes interacciones en la dirección $\alpha \rightarrow \sigma$, por tanto se determina el subconjunto de reglas de ARS^α que contiene una acción que reenvía paquetes al elemento de reenvío α . Además, en lo sucesivo, se define el subconjunto $ARS^{\alpha\sigma}$, ya que los paquetes se dirigen al elemento de reenvío α si se reenvían mediante el puerto x del elemento de reenvío σ . Además, un subconjunto del conjunto concreto de reglas del elemento de reenvío α ARS^α_y se debe considerar como un subconjunto de reglas de ARS^α que se aplican para el único puerto y del elemento de reenvío α . Entonces, son posibles las siguientes interacciones:

Postergación (procrastination)	
$M_i^\sigma = M_j^\sigma$	$\{\text{descarte}\} \in A_j^\sigma$
$M_i^\sigma \subset M_j^\sigma$	$\{\text{descarte}\} \in A_j^\sigma$

$M_i^{\alpha} \supset M_j^{\beta}$	$\{\text{descarte}\} \in A_j^{\beta}$
$M_i^{\alpha} \sim M_j^{\beta}$	$\{\text{descarte}\} \in A_j^{\beta}$
Enmascaramiento (shadowing)	
$M_j^{\beta} \neq M_i^{\alpha}, \forall i$	sin condiciones
$M_j^{\beta} \supset M_i^{\alpha}$ y $\{M_j^{\beta} - M_i^{\alpha}\} \neq M_k^{\gamma}, \forall k \neq i$	sin condiciones
$M_j^{\beta} \sim M_i^{\alpha}$ y $\{M_j^{\beta} - (M_i^{\alpha} \cap M_j^{\beta})\} \neq M_k^{\gamma}, \forall k \neq i$	sin condiciones
«Anudamiento» (knotting)	
$M_i^{\alpha} = M_j^{\beta}$	\exists puerto $z \in \alpha$, conectado con σ : $\{\text{reenviar a } z\} \in A_j^{\beta}$
$M_i^{\alpha} \subset M_j^{\beta}$	\exists puerto $z \in \alpha$, conectado con σ : $\{\text{reenviar a } z\} \in A_j^{\beta}$
$M_i^{\alpha} \supset M_j^{\beta}$	\exists puerto $z \in \alpha$, conectado con σ : $\{\text{reenviar a } z\} \in A_j^{\beta}$
$M_i^{\alpha} \sim M_j^{\beta}$	\exists puerto $z \in \alpha$, conectado con σ : $\{\text{reenviar a } z\} \in A_j^{\beta}$

Cabe señalar que la misma regla en realidad puede generar más de una interacción con otras reglas de elementos de reenvío.

5 La fig. 3 muestra un diagrama de flujo de acuerdo con una tercera forma de realización de la presente invención.

En la fig. 3 se muestra un esquema de flujo para un procedimiento para la determinación de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío en una red.

En una primera etapa V1, para cada elemento de reenvío de la red, el procedimiento se lleva a cabo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6.

5 En una segunda etapa V2, se selecciona uno de los elementos de reenvío.

En una tercera etapa V3, se determina una lista de contigüidad de elementos contiguos con respecto al elemento de reenvío seleccionado.

10 En una cuarta etapa V4, se llevan a cabo las etapas c1) a e1) del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 10.

En una quinta etapa V5, los conjuntos concretos de reglas disjuntos se fusionan en un nuevo conjunto concreto de reglas que representa tanto al elemento de reenvío contiguo como al elemento de reenvío seleccionado.

15

En una sexta etapa V6, se define un elemento de reenvío fusionado con un nuevo conjunto concreto de reglas como el nuevo elemento de reenvío seleccionado y, en una séptima etapa V7, se llevan a cabo las etapas c2) a f2) de manera iterativa hasta que un número predeterminado, preferentemente todos los elementos de reenvío de la red, se hayan fusionado para dar lugar a dos elementos de reenvío.

20

En una octava etapa V8, la iteración se detiene y las iteraciones se pueden anunciar a un controlador perteneciente a la red.

La fig. 4 muestra parte de un procedimiento de acuerdo con una cuarta forma de realización de la presente invención.

En la fig. 4, se muestran diferentes etapas de fusión de elementos de reenvío que comprenden conjuntos de reglas. En la fig. 4, una red N posee un cierto número de elementos de reenvío FE. Además, la elipse de puntos M1 muestra (comenzando desde la parte superior de la fig. 4) dos elementos de reenvío que se van a fusionar mediante un procedimiento de fusión M. Esto da lugar a un elemento de reenvío fusionado MFE. Este elemento de reenvío fusionado MFE comprende conjuntos de reglas de los dos elementos de reenvío fusionados FE. A continuación, el elemento de reenvío fusionado MFE se combina (lo cual se indica con el signo de referencia M2) con otro elemento de reenvío más FE en otra operación de fusión M. Esto se lleva a cabo a condición de que solo queden dos elementos de reenvío. El procedimiento de fusión M se usa para transformar dos elementos de reenvío conectados directamente en un elemento de reenvío. Después de una etapa de fusión, la nueva topología de red posee un nodo/elemento de reenvío FE menos que la topología de red original y el número de «aristas» (*edges*) se reduce en el número de aristas conectadas al elemento de reenvío fusionado. Mediante la aplicación del procedimiento de fusión M n veces, este corresponde a una interacción de n saltos.

40 El procedimiento de fusión M lleva a cabo la fusión de dos elementos de reenvío conectados directamente, preferentemente conmutadores OpenFlow, para dar lugar a un único elemento de reenvío, preferentemente un único conmutador OpenFlow. El procedimiento de fusión M se lleva a cabo tanto desde el punto de vista de la topología de red como del conjunto de reglas: en lo sucesivo, se supone que dos conmutadores OpenFlow, indicados como α y σ , están conectados directamente a través de un enlace. Los puertos correspondientes con los que se conectan se indican como x e y. Para aplicar una fusión de los dos conmutadores OpenFlow, se llevan a cabo las siguientes etapas:

• **Actualizar conjuntos de reglas RS reduciéndolos hasta obtener los conjuntos concretos de reglas ARS:** aplicar

50

$$RS^\alpha \rightarrow ARS^\alpha \text{ y } RS^\sigma \rightarrow ARS^\sigma;$$

• **Reducción de conjuntos ARS:** detectar interacciones contiguas para ARS^α y ARS^σ y borrar todas las reglas enmascaradas;

55

• **Renombrado de puertos de conmutadores:** renombrar puertos de conmutadores de $\langle port_id \rangle$ a $\langle switch_id \rangle \langle port_id \rangle$ tanto en ARS^α como en ARS^σ ;

• **Adición de reglas no modificadas:** Construir

$$ARS^{\sigma\sigma} = \{ARS^{\sigma} - ARS^{\sigma\sigma}\} \cup \{ARS^{\sigma} - ARS^{\sigma\sigma}\}$$

• Para cada regla $R_i \in ARS^{\sigma\sigma}$:

- 5 ○ Para cada regla $R_k \in \{ARS_{\text{Todos}}^{\sigma}, ARS_{\sigma}^{\sigma}\}$:
- **hacer:**
si $M_i - M_k = M_i$ **entonces** *no hacer nada*;
si no $ARS^{\sigma\sigma} = \{ARS^{\sigma\sigma}\} \cup R'$ donde $R': \{M_i - M_k\}$,
seleccionar (A_i, A_k) ;
 $M_i = M_i - M_k$;
- 10 **mientras** M_i *no sea* Φ **o** *no haya más reglas en* $\{ARS_{\text{Todos}}^{\sigma}, ARS_{\sigma}^{\sigma}\}$:

• Para cada regla $R_i \in ARS^{\sigma\sigma}$:

- 15 ○ Para cada regla $R_k \in \{ARS_{\text{Todos}}^{\sigma}, ARS_{\sigma}^{\sigma}\}$:
- **hacer:**
si $M_i - M_k = M_i$ **entonces** *no hacer nada*;
si no $ARS^{\sigma\sigma} = \{ARS^{\sigma\sigma}\} \cup R'$ donde $R': \{M_i - M_k\}$,
seleccionar (A_i, A_k) ;
 $M_i = M_i - M_k$;
- 20 **mientras** M_i *no sea* Φ **o** *no haya más reglas en* $\{ARS_{\text{Todos}}^{\sigma}, ARS_{\sigma}^{\sigma}\}$:

Además, «TODOS» con respecto al puerto, se usa como puerto con el significado de que la regla se aplica a todos los puertos correspondientes de un elemento de reenvío.

25 El procedimiento de selección (A_i, A_k) se usa con el fin de establecer la acción para las reglas generadas para $ARS^{\sigma\sigma}$. El procedimiento de selección combina la acción de los dos conjuntos de acciones, construyendo un conjunto de acciones que es la combinación de dichas acciones. Las acciones se combinan colocándolas por el orden en el que aparecen, basándose en la topología de la red, por ejemplo si las acciones en dirección $\sigma \rightarrow \alpha$ de la regla procedente de σ se aplican antes. En caso de conflicto, este se resuelve basándose en las acciones que

30 entran en conflicto:

- acciones de conjunto \rightarrow aplicar siempre la «última» acción del conjunto, por ejemplo, en la dirección $\sigma \rightarrow \alpha$, aplicar la acción de la regla procedente de α
 - acción de descarte y acción de reenvío \rightarrow el descarte siempre tiene prioridad
 - acciones de reenvío \rightarrow aplicar siempre la «última» acción del conjunto, por ejemplo, en la dirección σ
- 35 $\rightarrow \alpha$, aplicar la acción de la regla procedente de α

El algoritmo presentado se puede ampliar fácilmente a un caso más general en el que hay más de un enlace entre los elementos de reenvío.

40 La fig. 5 muestra parte de un procedimiento de acuerdo con una quinta forma de realización de la presente invención.

En la fig. 5, se muestran etapas para la detección de interacciones en toda la red. En primer lugar, en una red N1 que comprende unos elementos de reenvío FE, se selecciona un elemento de reenvío indicado con el signo de referencia SFE. Después, se determinan los elementos contiguos, es decir, los elementos de reenvío contiguos NNFE, con respecto al elemento de reenvío seleccionado SFE. A continuación se detectan las interacciones entre los elementos de reenvío contiguos NNFE (signo de referencia NID) y se selecciona uno de estos elementos de reenvío contiguos NNFE de manera preferentemente aleatoria para fusionarlo con el elemento de reenvío seleccionado previamente SFE. El procedimiento de fusión M se aplica y los elementos de reenvío FE de la elipse M1 se fusionan. Entonces, comenzando desde el elemento de reenvío fusionado MFE, se detectan las interacciones en los elementos de reenvío contiguos NNFE (signo de referencia NID) y se selecciona aleatoriamente un elemento de reenvío contiguo NNFE para la fusión. Entonces, el procedimiento de fusión M se aplica de nuevo a los elementos de reenvío FE de la elipse M2. Esto se lleva a cabo de manera iterativa hasta que solo quedan dos elementos de reenvío (véase en la parte inferior derecha de la fig. 5).

45

50

55

Por lo tanto, se pueden detectar interacciones en toda la red mediante la combinación de las interacciones entre los elementos contiguos y un procedimiento de fusión. El procedimiento comienza a partir del elemento de reenvío para el que se detectan interacciones en las reglas y, después, se detecta la interacción con los elementos contiguos. Después se selecciona uno de los elementos de reenvío contiguos, preferentemente de modo aleatorio, y se fusiona con el elemento de reenvío anterior. A continuación, con respecto al elemento de reenvío fusionado, se vuelven a determinar las interacciones de los elementos de reenvío con los elementos contiguos para detectar las interacciones, y así sucesivamente. Esto proporciona una red que se transforma en una red con una topología de dos elementos de reenvío.

- 10 La presente invención se puede usar particularmente para la programación y análisis de redes en OpenFlow y la gestión de elementos de reenvío, preferentemente conmutadores OpenFlow y su optimización. Además, la presente invención se puede usar como herramienta de depuración: cuando se desarrolla una aplicación, preferentemente una aplicación OpenFlow, se pueden usar algoritmos para verificar la interacción entre reglas que están instaladas en los correspondientes conmutadores OpenFlow. Por ejemplo, puede señalar cualquier exceso de cabeceras en la aplicación desarrollada o se puede detectar una interacción de reglas inesperada que prediga una gestión errónea de algunos flujos de tráfico, por ejemplo bucles o similares.

- La presente invención se puede usar con uno de los, así denominados, controladores de avance. La presente invención se puede integrar en un controlador avanzado como un medio para analizar reglas con el fin de proporcionar algunas formas de automatización en la gestión de reglas, por ejemplo el rechazo de reglas duplicadas, la reordenación de prioridades de reglas para evitar el enmascaramiento, la división de reglas para evitar la redundancia y la correlación, la modificación de reglas para evitar la postergación, etc. En particular, la presente invención se puede usar en un sistema operativo de red. Debido a que, por ejemplo, el sistema operativo de red puede incluir un entorno de tiempo de ejecución que es capaz de traducir entradas de alto nivel procedentes de varias aplicaciones a entradas de tablas de flujo de un nivel más bajo, la presente invención se puede aplicar para llevar a cabo diferentes optimizaciones. En particular, las optimizaciones se pueden usar para reducir el consumo de recursos en la red, por ejemplo, el ancho de banda del reenvío en los enlaces, espacio en las tablas de flujo, carga de la CPU en los conmutadores correspondiente y similares.

- 30 Además, la presente invención se puede usar cuando la red es controlada por varios controladores utilizados por diferentes dominios administrativos. Por ejemplo, se desarrollan controladores OpenFlow por separado y sus interacciones no se pueden planear de antemano. Suponiendo que, de acuerdo con algunas políticas, los dominios administrativos aceptan compartir parte del conocimiento que poseen sobre sus redes, la presente invención se puede usar para detectar interacciones entre los controladores que funcionan de manera independiente. La automatización de la detección de interacciones permite a los operadores administrativos reaccionar con rapidez ante cualquier actualización de los controladores fuera de su red, en el caso de que dichas actualizaciones estén modificando el comportamiento de su red con reglas que potencialmente entren en conflicto. Además, la presente invención se puede usar para determinar interacciones de red entre dominios, ya que es capaz de poner de relieve las interacciones de dos redes gestionadas de manera independiente, preferentemente redes OpenFlow.

- 40 En resumen, la presente invención permite la definición de procedimientos de análisis y transformación de red para proporcionar optimizaciones del funcionamiento del tiempo de ejecución. La presente invención además permite la detección de reglas que interactúan, preferentemente reglas OpenFlow desde un punto de vista global de la red y permite la definición de procedimientos de transformación de red para simplificar el análisis de la red.

- 45 La presente invención también permite una optimización del consumo de recursos de red, por ejemplo, ahorrando ancho de banda del reenvío en enlaces, espacio en las tablas de flujo y carga de la CPU en los elementos de reenvío. La presente invención permite poner de manifiesto las interacciones en los elementos de reenvío, preferentemente en las tablas de flujo de los conmutadores de red, con el fin de permitir la comprobación de una implementación de controlador o funciones de controlador que compiten entre sí. Además, la presente invención permite una clasificación de reglas que interactúan, para observar el grado de gravedad. Por ejemplo, una interacción de postergación puede apuntar a un desaprovechamiento del ancho de banda.

- 55 Además, la presente invención permite un descubrimiento automatizado de reglas de interacción, lo que hace posible que el usuario se concentre únicamente en problemas potenciales y no pierda tiempo con reglas no problemáticas. La presente invención permite la detección de problemas potenciales con las reglas, de manera continua, incluso antes de que un error se ponga de manifiesto. La presente invención es fácil de implementar, por ejemplo, se puede aplicar para diferentes dominios operativos sin que ello conlleve ninguna modificación de los controladores de dichos dominios.

Al experto en la materia a la que pertenece la invención se le ocurrirán muchas otras modificaciones y otras formas de realización de la invención expuesta en la presente memoria, con la ventaja que suponen las enseñanzas presentadas en la anterior descripción y los dibujos relacionados con las mismas. Por lo tanto, se debe entender que la invención no se limitará a las formas de realización específicas descritas y que las modificaciones y otras formas de realización deberán quedar incluidas en el alcance de las reivindicaciones adjuntas. Aunque en la presente memoria se emplean términos específicos, estos se usan únicamente en un sentido genérico y descriptivo y no con fines restrictivos.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la detección de interacciones en un elemento de reenvío en una red, N, en el que el elemento de reenvío, FE, se puede utilizar para reenviar datos de acuerdo con unas reglas instalables en el elemento de reenvío, FE, y en el que un conjunto de reglas, RS, está instalado en el elemento de reenvío, FE, y en el que el conjunto de reglas, RS, comprende unas reglas, R, y en el que una regla comprende un conjunto de criterios de coincidencia, M, y al menos un conjunto de acciones correspondiente, A, en el que el conjunto de criterios de coincidencia, M, comprende al menos un campo de coincidencia, f, y en el que el conjunto de acciones, A, comprende una o más acciones, a, en el que el conjunto de acciones, A, se debe llevar a cabo cuando se encuentra una coincidencia con un conjunto de criterios de coincidencia, M, y una prioridad (prioridad, R) asignada a cada regla, R,

caracterizado por las etapas de:

15 a) determinación (S1) de una o más relaciones entre los conjuntos de coincidencias, M, basándose en relaciones de campos de coincidencias, f,

b) determinación (S2) de una o más relaciones entre los conjuntos de acciones, A,

20 c) determinación (S3) de una o más interacciones entre las reglas, R, basándose en las relaciones determinadas entre los conjuntos de coincidencias, M, y los conjuntos de acciones, A, en el que cada regla R_x , se coteja con otra regla, R_y , para determinar la interacción,

d) reducción (S4) del conjunto de reglas, RS, hasta obtener un conjunto concreto de reglas, ARS, de acuerdo con las interacciones determinadas, de manera que el conjunto concreto de reglas, ARS, comprende únicamente reglas, R, que no presentan interacciones entre ellas, preferentemente, en el que se determinan como interacciones de reglas: la duplicación, la redundancia, la generalización, el enmascaramiento, la correlación, la inclusión y/o la ampliación.

30 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** las relaciones de los campos de coincidencia se clasifican en: relación disjunta, de igualdad, de subconjunto, de superconjunto y/o de solapamiento y/o las relaciones de los conjuntos de coincidencias se clasifican en: relación disjunta, de coincidencia exacta, de subconjunto, de superconjunto y/o de correlación.

35 3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizado porque** las relaciones de los conjuntos de acciones se clasifican en: relación disjunta, relacionada, de subconjunto, de superconjunto y/o de igualdad.

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la etapa d) se realiza llevando a cabo las subetapas de:

da) borrado de todas las reglas, R, clasificadas como duplicación, enmascaramiento e inclusión,

45 db) construcción iterativa del conjunto concreto de reglas, ARS, en el que el número de iteraciones es el número de reglas, R, del conjunto de reglas, RS, que se van a reducir y en el que los campos de coincidencia, f, se reducen dependiendo de la relación entre un campo de coincidencia, f, de una regla, R_x , con una mayor prioridad y un campo de coincidencia, f, de otra regla, R_y .

5. Procedimiento para la detección de interacciones de contigüidad entre elementos de reenvío contiguos en una red, FE, NNFE, **caracterizado por** las etapas de:

55 a1) selección (T1) de uno de los elementos de reenvío, SFE, como referencia para la determinación de elementos de reenvío contiguos, NNFE,

b1) determinación (T2) de una lista de contigüidad basándose en los elementos de reenvío, NNFE, conectados directamente con el elemento de reenvío seleccionado, SFE,

c1) realización (T3) del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6 para cada uno de los

elementos de reenvío, NNFE, que figuran en la lista de contigüidad para obtener un conjunto concreto de reglas, ARS, para cada uno de los elementos de reenvío, NNFE,

d1) determinación (T4) de una o más interacciones entre los conjuntos concretos de reglas, ARS, de dos elementos de reenvío contiguos, FE, NNFE,

e1) reducción (T5) de los conjuntos concretos de reglas, ARS, de acuerdo con las interacciones determinadas, de manera que los conjuntos concretos de reglas, ARS, comprenden únicamente reglas sin interacciones con una regla, R, del otro conjunto concreto de reglas, ARS, correspondiente.

10

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** unas reglas de un conjunto concreto de reglas, ARS, se dividen con respecto a un puerto de ingreso de un elemento de reenvío, FE.

15

7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 6, **caracterizado porque** el conjunto concreto de reglas, ARS, del elemento de reenvío seleccionado, SFE, comprende todas las reglas de reenvío que reenvían hacia un elemento de reenvío contiguo, NNFE, **porque** se determinan interacciones entre el conjunto concreto de reglas, ARS, y el conjunto concreto de reglas del elemento de reenvío contiguo, NNFE, **y** entonces se comprueban con respecto a los puertos las interacciones dentro del conjunto concreto de reglas, ARS, del elemento de reenvío seleccionado, SFE.

20

8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 7, **caracterizado porque** en la etapa d1), se comprueban las transformaciones del conjunto de criterios de coincidencia.

25

9. Procedimiento para la determinación de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío, FE, en una red, N, **caracterizado por** las etapas de:

a2) realización (V1), para cada elemento de reenvío, FE, de la red, N, del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6,

30

b2) selección (V2) de uno de los elemento de reenvío, FE,

c2) determinación (V3) de una lista de contigüidad de elementos contiguos, NNFE, con respecto al elemento de reenvío seleccionado, SFE,

35

d2) realización (V4) de las etapas c1) a e1) del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 10,

e2) fusión (V5) de los conjuntos concretos de reglas disjuntos para dar lugar a un nuevo conjunto concreto de reglas, ARS, que representa tanto al elemento de reenvío contiguo, NNFE, como al elemento de reenvío seleccionado, SFE,

40

f2) definición (V6) de un elemento de reenvío fusionado, MFE, con el nuevo conjunto concreto de reglas, ARS, como nuevo elemento de reenvío seleccionado, SFE,

45

g2) realización (V7) de las etapas c2) a f2) de manera iterativa hasta que un número predeterminado, preferentemente todos los elementos de reenvío, FE, en la red, N, se hayan fusionado para dar lugar a dos elementos de reenvío, FE.

50

10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** un controlador centralizado instala unas reglas, R, en un elemento de reenvío, FE, preferentemente en el que el controlador lleva a cabo el almacenamiento en memoria caché de las reglas, R, instaladas en los elementos de reenvío, FE.

55

11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 10, **caracterizado porque** para fusionar puertos de los elementos de reenvío, FE, se les añade información de identificación del elemento de reenvío.

12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado porque** para acciones de fusión de al menos dos conjuntos de acciones, A₁, A₂, se combinan en un único conjunto de acciones, A, basándose en la topología de red.

13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, **caracterizado porque** la combinación se lleva a cabo colocando las acciones, a, por su orden de aparición en la red, N.
- 5 14. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado porque** las interacciones determinadas se anuncian en al menos una parte de la red, N, preferentemente a un controlador centralizado.
15. Sistema para la determinación de interacciones en toda la red entre elementos de reenvío, FE, en una
10 red, N,
caracterizado por
unos medios de reducción, preferentemente el propio elemento de reenvío, FE, y/o un controlador centralizado, C, pertenecientes a la red, N, que se pueden utilizar para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4 en el elemento de reenvío,
15 unos medios de determinación que se pueden utilizar para seleccionar uno de los elementos de reenvío, FE, y para determinar una lista de contigüidad de elementos contiguos, NNFE, con respecto al elemento de reenvío seleccionado, SFE,
unos medios de reducción que se pueden utilizar para llevar a cabo las etapas c1) a e1) del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 8,
20 unos medios de fusión que se pueden utilizar para fusionar los conjuntos concretos de reglas disjuntos, ARS, para dar lugar a un nuevo conjunto concreto de reglas, ARS, que representa tanto al elemento de reenvío contiguo, NNFE, como al elemento de reenvío seleccionado, SFE, y para definir un elemento de reenvío fusionado, MFE, con el nuevo conjunto concreto de reglas, ARS, como nuevo elemento de reenvío seleccionado, SFE,
25 unos medios de iteración que se pueden utilizar para llevar a cabo las etapas c2) a g2) del procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 a 14 de manera iterativa hasta que se alcanza un número predeterminado, y, preferentemente, todos los elementos de reenvío, FE, en la red, N, se han fusionado para dar lugar a dos elementos de reenvío, FE.

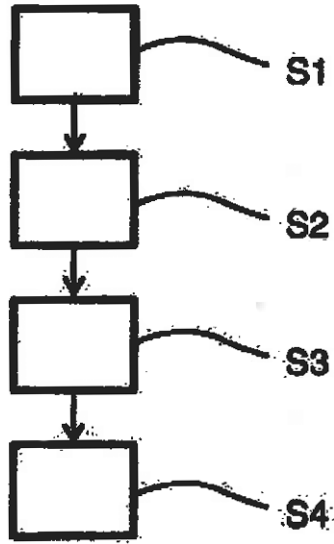


Fig. 1

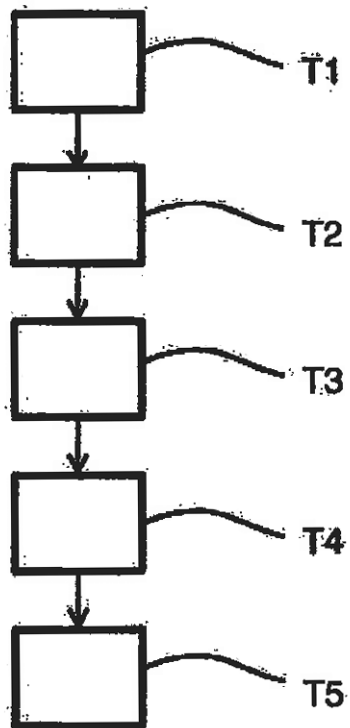


Fig. 2

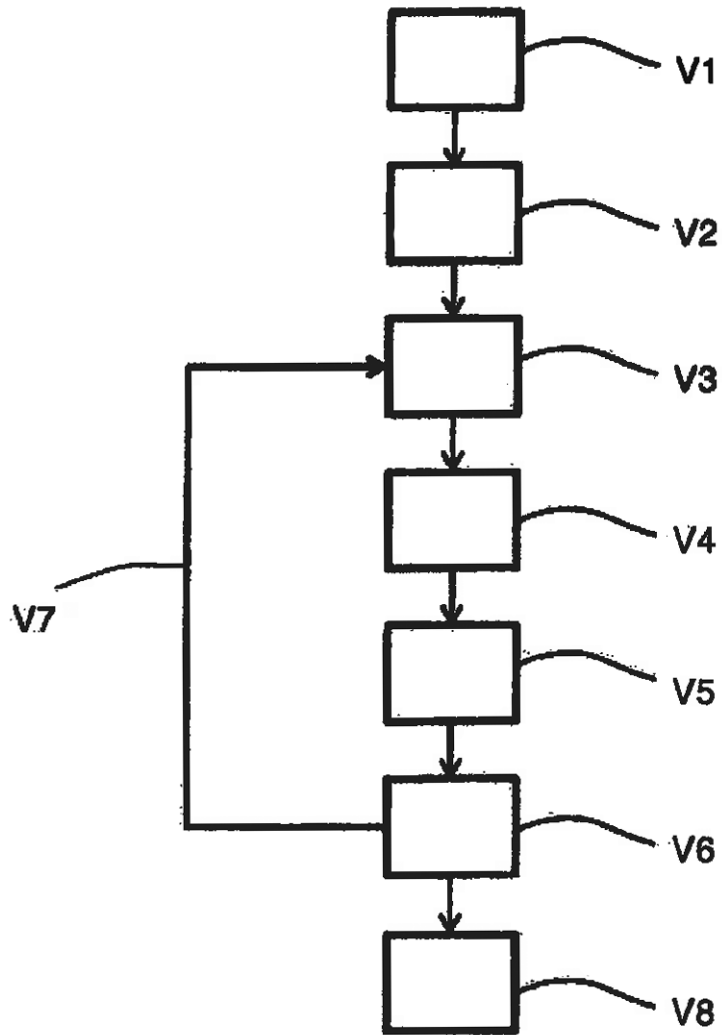


Fig. 3

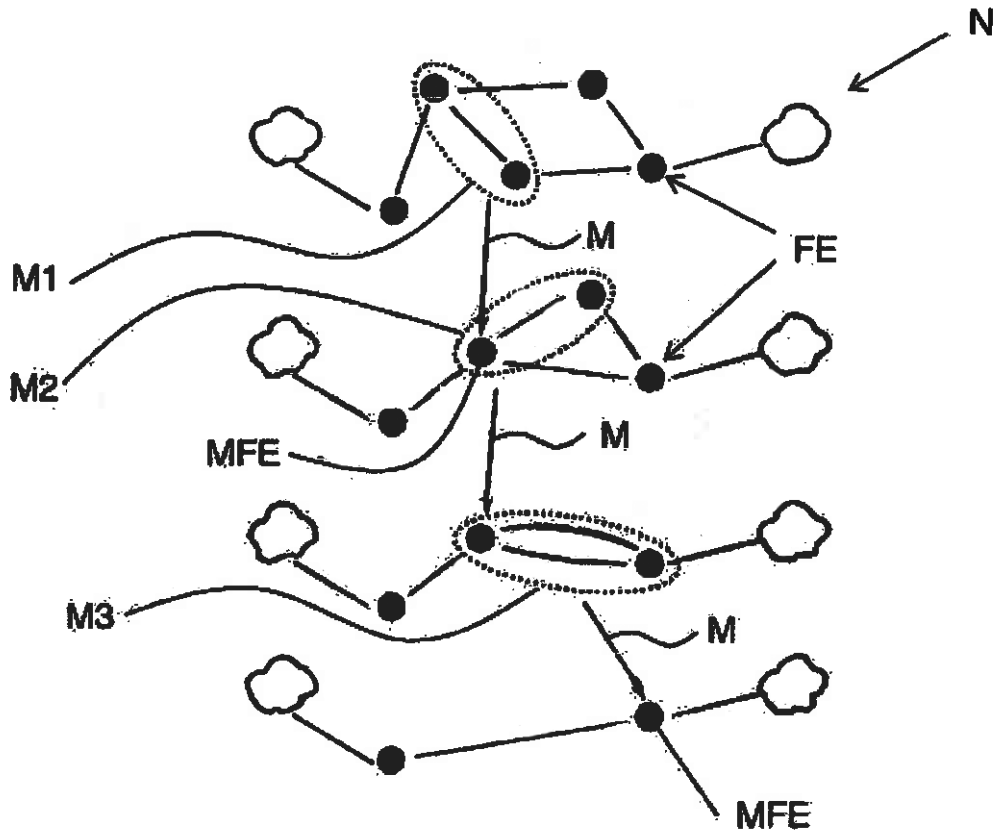


Fig. 4

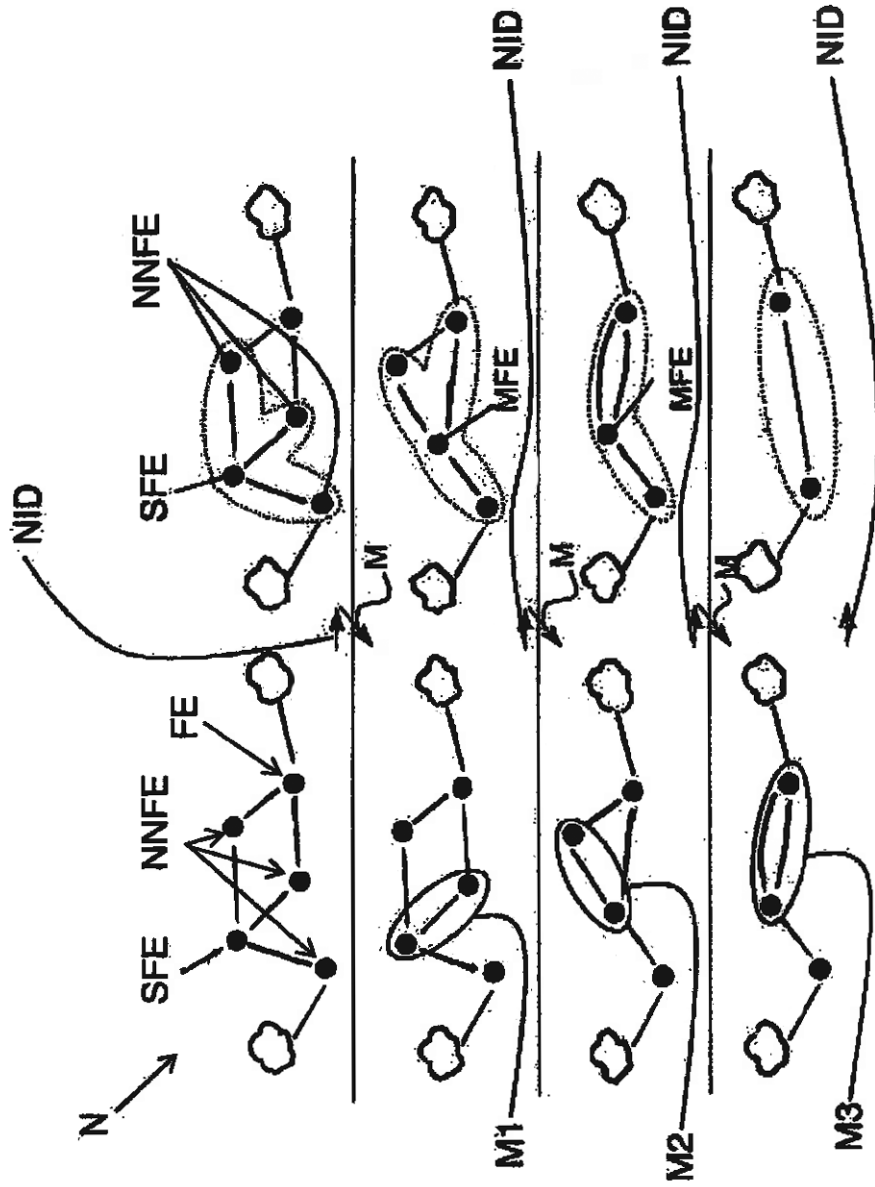


Fig. 5