

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 827 842**

21 Número de solicitud: 201931036

51 Int. Cl.:

H04L 12/735 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

22.11.2019

43 Fecha de publicación de la solicitud:

24.05.2021

Fecha de concesión:

21.01.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

28.01.2022

73 Titular/es:

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ (100.0%)
Plaza de San Diego, s/n
28801 Alcalá de Henares (Madrid) ES

72 Inventor/es:

ROJAS SÁNCHEZ, Elisa;
LÓPEZ PAJARES, Diego;
CARRAL PELAYO, Juan Antonio y
ÁLVAREZ HORCAJO, Joaquín

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE BÚSQUEDA DE CAMINOS MÚLTIPLES DISJUNTOS EN UN PASO Y NODO DE RED**

57 Resumen:

Procedimiento de descubrimiento de caminos múltiples disjuntos en un paso y nodo de red. La presente invención describe un procedimiento distribuido que permite descubrir múltiples caminos disjuntos entre nodos de una red. La propuesta plantea un mecanismo que busca múltiples caminos disjuntos, bien en enlaces, bien en nodos, utilizando técnicas de exploración de red. La novedad radica en que, con un único proceso de exploración de la red se descubren múltiples caminos disjuntos entre un nodo origen, y todos los demás nodos de la red. Gracias al uso de técnicas de exploración, el procedimiento no requiere tener conocimiento topológico previo de la red, por lo que no necesita apoyarse en mecanismos adicionales que le proporcionen dicha información topológica. Esta propuesta constituye una ventaja significativa frente a soluciones que necesitan reiterar el proceso de descubrimiento o de cómputo tantas veces como caminos disjuntos se quieran obtener, y esto repetido a su vez para cada destino posible dentro de la red.

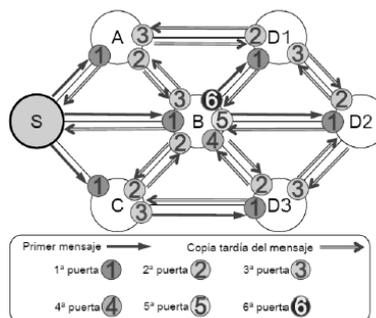


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 827 842 B2

DESCRIPCIÓN

PROCEDIMIENTO DE DESCUBRIMIENTO DE CAMINOS MÚLTIPLES DISJUNTOS EN UN PASO Y NODO DE RED

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se encuadra dentro del sector de las comunicaciones y de los dispositivos electrónicos y/o algoritmos informáticos que operan de forma distribuida en red.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Un grafo de red es una representación gráfica de nodos y enlaces conectados a través de puertas. Los nodos representan el elemento/dispositivo con capacidad de proceso de información (son capaces de generar, procesar, enviar y recibir mensajes hacia/de sus nodos vecinos), mientras que los enlaces representan las vías de comunicación entre nodos. Además, la unión entre ambos elementos se realiza a través de puertas de conexión. Se considera que los enlaces son siempre bidireccionales (permiten la comunicación en ambos sentidos). Asimismo, cada enlace tiene asociado una métrica que determina el coste en que se incurre cuando se envía un mensaje de información por él. Diremos que dos nodos son vecinos cuando existe un enlace que los comunica directamente. El grafo (red) puede ser conocido por el administrador de la red, o en el caso de ser desconocido, puede ser descubierto mediante el uso de protocolos de descubrimiento topológico como LLDP (*Link Layer Discovery Protocol*) [1]. La sucesión de nodos y enlaces entre nodos que permiten hacer llegar un mensaje de información desde un nodo cualquiera de la red, en adelante nodo origen, hasta otro nodo cualquiera de la red, en adelante nodo destino, constituye un camino entre esos dos nodos. Diremos que dos caminos (entre el mismo par de nodos origen y destino) son disjuntos en enlaces cuando no tienen ningún enlace en común. De la misma manera, diremos que dos caminos (entre el mismo par de nodos origen y destino) son disjuntos en nodos cuando no existe ningún nodo común a ambos caminos (salvo los propios nodos origen y destino). Dos caminos disjuntos en nodos son también, por definición, disjuntos en enlaces.

35 Bajo estas premisas, son conocidos los procedimientos que buscan caminos disjuntos

(en enlaces y/o en nodos) basándose en técnicas de computación. Estas propuestas calculan múltiples caminos disjuntos entre dos nodos haciendo uso de algoritmos que operan sobre el grafo de la red como, por ejemplo, Suurballe [2], quién presenta un método para calcular dos caminos disjuntos en un grafo con métrica de costes positiva.

5 Bhandari [3] modifica el algoritmo de Suurballe para adaptarlo a redes ópticas con el objetivo de conseguir un segundo camino de respaldo. En [4] se realizan procesos similares a los propuestos por Bhandari incluyendo, además, restricciones ópticas de giros prohibidos para evitar que el algoritmo proporcione configuraciones erróneas en los nodos ópticos. En [5] se propone un procedimiento para calcular dos caminos

10 disjuntos en enlaces mediante una modificación del algoritmo de Dijkstra [6]. Dicha modificación obtiene un segundo camino disjunto a costa de no obtener todos los caminos de mínimo coste entre los nodos origen y destino. Asimismo, [7] también se basa en el algoritmo de Dijkstra para obtener caminos disjuntos desde varios nodos origen, hacia un mismo nodo destino. El procedimiento describe tres fases bien

15 definidas. La primera fase busca dos caminos disjuntos utilizando el algoritmo de Dijkstra, o algoritmos similares. La segunda fase interconecta los nodos intermedios que únicamente tienen una ruta para llegar a destino, con nodos que pertenecen a la otra rama del camino. De esta forma, todos los nodos que pertenecen a los dos caminos previamente calculados tienen ahora dos caminos disjuntos desde ellos hasta

20 el destino. La tercera fase busca nodos intermedios que pueden llegar a destino, y si existen, vuelve a aplicar las dos primeras fases.

Sin embargo, no todas las propuestas se basan en aplicar un algoritmo de cómputo centralizado sobre un grafo de red conocido, sino que también existen otras que

25 distribuyen ese cómputo entre los nodos que componen dicha red, manejando cada uno de ellos información local (su información y la de sus vecinos). La información topológica necesaria para los cálculos puede distribuirse a todos los nodos de la red mediante la difusión de un mensaje topológico específico, o mediante el intercambio de mensajes entre nodos vecinos que contienen la información topológica local. Dentro

30 del primer enfoque, encaja el procedimiento de Ibáñez [8], el cual se basa en técnicas de difusión, combinadas con métodos recursivos, para obtener múltiples caminos disjuntos, bien en enlaces, bien en nodos, entre un nodo origen y un nodo destino. La propuesta consta de dos fases, basadas en los procedimientos descritos en [9], [10] [11], [12], que se repiten de forma iterativa. La primera fase (exploración de la red)

35 descubre la topología mediante el envío de un mensaje desde el nodo origen, y su

posterior difusión por toda la red. La segunda fase (confirmación de camino) envía un mensaje de confirmación desde el nodo destino hacia el nodo origen, que se encarga de confirmar el camino con la información previa. En las siguientes iteraciones se descartan los caminos descubiertos en iteraciones previas para asegurar que los nuevos caminos son disjuntos a los anteriores. Otro procedimiento, como el que describe Tanaka [13], también utiliza técnicas de exploración de red, pero partiendo de un camino previamente dado. Dicho camino mantiene una comunicación activa entre un nodo origen y un nodo destino. El procedimiento describe un mecanismo de exploración de red basado en la inundación de mensajes y la posterior confirmación del camino para obtener un segundo camino disjunto al camino de partida.

Dentro del segundo enfoque (intercambio de mensajes entre vecinos), Van der Kluit [14] propone un método que descubre caminos disjuntos en enlaces entre un nodo origen y un nodo destino. Para ello, se basa en el intercambio de mensajes entre vecinos siguiendo los principios del algoritmo de Bellman-Ford [15]. Además, la propuesta garantiza que los caminos descubiertos son de mínimo coste.

El problema de la búsqueda de múltiples caminos disjuntos también se estudia en redes inalámbricas (cuyos enlaces son vía radio en lugar de cableados). Es el caso de [16] y [17], donde se buscan caminos disjuntos de forma iterativa mediante el intercambio de mensajes entre vecinos. Asimismo, existen propuestas basadas en protocolos de encaminamiento para redes inalámbricas como Ad Hoc Distance Vector (AODV) [18] o Dynamic Source Routing (DSR) [19], como son [20], [21], [22] y [23]. Estos trabajos calculan caminos disjuntos mediante el intercambio de mensajes entre vecinos y la posterior comparación de mensajes duplicados. Con este intercambio de mensajes y su comparación se actualizan y reenvían los caminos disjuntos entre los nodos de la red.

También son conocidos otros trabajos que permiten obtener múltiples caminos entre dos nodos de la red, pero que no garantizan que estos sean disjuntos (ni en nodos, ni en enlaces). [24] proporciona múltiples caminos aplicando un algoritmo de computación sobre una representación del mapa de la red. Minkerberg [25] propone un procedimiento para descubrir múltiples caminos con métrica el número de saltos, mientras que en [26] se establece un mecanismo que modifica el formato original de la trama Ethernet e intercambia las tramas modificadas para obtener múltiples

caminos. Otras propuestas que obtienen múltiples caminos sin garantizar si son o no disjuntos son [27], [28], [29], [30] y [31].

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

5 La presente invención describe One Shot Multiple Disjoint Path (1S-MDP), un procedimiento distribuido que permite el descubrimiento de múltiples caminos disjuntos entre un nodo cualquiera de la red y todos los restantes. La aplicación concreta de la invención es para el cálculo de caminos entre nodos frontera de una red. Se entiende por nodo frontera todo nodo que tiene conectado algún dispositivo final, o que
10 interconecta redes o subredes, o que es seleccionado específicamente por el administrador de la red.

La propuesta plantea un mecanismo que busca múltiples caminos disjuntos, bien en enlaces, bien en nodos, utilizando técnicas de exploración de red. La novedad de esta
15 propuesta radica en que, con un único proceso de exploración, en una red compuesta por N nodos, de los cuales todos, o un subconjunto M, son frontera, el procedimiento permite descubrir múltiples caminos disjuntos entre un nodo frontera origen, y los M-1 nodos frontera restantes tomados como nodo destino. Gracias al uso de técnicas de exploración, el procedimiento no requiere tener conocimiento topológico previo de la
20 red, por lo que no necesita apoyarse en mecanismos adicionales que le proporcionen dicha información topológica.

Este procedimiento consta de dos fases: una fase de exploración, seguida de otra fase de selección de camino independiente para cada camino disjunto que se quiera
25 descubrir. La fase de exploración se inicia en el nodo origen y se realiza una única vez independientemente del número de nodos y caminos a descubrir. Dicho nodo crea un mensaje de exploración que contiene el identificador del nodo origen y un código específico que lo identifica como mensaje de exploración. Una vez que el nodo origen ha creado el mensaje, lo envía a sus vecinos a través de todas sus puertas de enlace.
30 Todos los nodos de la red deben ser capaces de identificar los mensajes de exploración que reciban de otros nodos, por su código de mensaje y procesarlos. Al recibir un mensaje de exploración, el nodo en cuestión asocia el identificador del nodo origen del mensaje de exploración con la puerta por la que llegó dicho mensaje y almacena dicha información; a continuación, reenvía el mensaje a sus nodos vecinos
35 a través de todas sus puertas. Como resultado de este proceso, repetido en todos los

5 nodos de la red, un nodo puede recibir copias tardías del mensaje original de exploración (con un máximo de una copia por cada puerta de enlace que tenga). En ese caso, el nodo recibe, analiza el mensaje y guarda la información recogida del mismo modo, solo que, a la hora de guardar la información aprendida, la inserción respeta la métrica del procedimiento. Por ejemplo, si la métrica se corresponde con una dependencia temporal, los datos guardados respetarán el orden de llegada de los mensajes. Por último, al ser una copia tardía del mensaje de exploración, el nodo elimina el mensaje en lugar de reenviarlo para evitar tormentas de mensajes que puedan saturar la red.

10

La fase de selección de camino la inicia cualquier nodo frontera de la red que recibe un mensaje de exploración desde un nodo origen. A partir de ese momento, el nodo en cuestión se convierte en un nodo destino. Por cada mensaje de exploración recibido desde un nodo origen, el nodo destino crea un mensaje de selección de camino que incluye el identificador del nodo origen, su identificador (nodo destino), un código de mensaje que identifica a todos los mensajes de selección y un identificador de camino que es único entre el par de nodos origen-destino. Además, el mensaje dispone de un campo específico para incluir los identificadores de los nodos y las puertas de entrada y salida que atraviesa el camino disjunto que se está descubriendo. El nodo destino incluye su identificador de nodo y las puertas de entrada y salida que garantizan el camino disjunto en el mensaje de selección de camino, y lo envía hacia el nodo origen por la misma puerta por la que se recibió el mensaje de exploración. Todos los nodos de la red deben ser capaces de identificar los mensajes de selección de camino que reciban de otros nodos, por su código de mensaje y procesarlos. Al recibir un mensaje de selección de camino, el nodo en cuestión analiza el mensaje, obteniendo de él los identificadores de los nodos origen y destino, y el identificador de camino, y además, anota la puerta por la que llegó dicho mensaje de selección. Con esa información, el nodo selecciona un nodo vecino de entre aquellos de los que recibió el correspondiente mensaje de exploración de forma que constituya un camino disjunto, bien en enlaces, bien en nodos (según el modo de operación) con respecto a otros caminos descubiertos anteriormente para el mismo par de nodos origen-destino. Si existen varias posibilidades se selecciona aquella que sea más prioritaria siguiendo el orden establecido por la métrica en uso. Finalmente, el nodo guarda la información asociada al nuevo camino disjunto, la incluye en el mensaje de selección de camino y reenvía dicho mensaje por la puerta adecuada para que llegue al origen. La fase de selección

35

de camino termina cuando el nodo origen recibe el mensaje de selección de camino, o un nodo de la red no encuentra ningún camino disjunto. En el caso de que el nodo no disponga de un nodo vecino que le proporcione un camino disjunto a los ya conocidos previamente, se puede retroceder un paso hasta el nodo anterior para que este busque una nueva alternativa de camino disjunto. Para ello, el nodo crea un mensaje especial de paso atrás, incluyendo los identificadores de los nodos origen y destino, el identificador del camino y el código de mensaje que identifica a todos los mensajes de paso atrás. El mensaje de paso atrás es enviado al nodo anterior, el cual, siguiendo el proceso de la fase de selección de camino, selecciona un nuevo camino disjunto. Si el nuevo nodo no encuentra un camino disjunto, se puede volver a retroceder. El proceso de paso atrás termina cuando el mensaje de paso atrás llega al nodo que inició el proceso de selección de camino, o cuando se ha alcanzado un número máximo de saltos predeterminado. La propuesta descrita reduce el número de mensajes intercambiados para descubrir los múltiples caminos disjuntos gracias al uso de un único proceso de exploración. Además, la fase de selección de camino transcurre de forma paralela tanto para múltiples caminos con el mismo nodo destino como para diferentes nodos destino, reduciendo así el tiempo total consumido en el proceso (se evita la iteración sucesiva).

20 **Módulos funcionales de un nodo 1S-MDP**

Todo nodo 1S-MDP está compuesto por una serie de módulos encargados de diferentes funciones: inicio del nodo, recepción de mensajes y creación de mensajes de control, exploración, selección de camino y paso atrás. Además, cada nodo cuenta con estructuras de datos para almacenar la información recogida en los distintos módulos. Los siguientes apartados detallan cada uno de los módulos indicados.

Inicio del nodo

Tras iniciarse, un nodo que tiene implementado 1S-MDP espera un tiempo aleatorio limitado a un valor máximo. Durante la espera aleatoria, se inician las estructuras de datos que almacenarán la información generada por las fases de exploración, selección de camino y paso atrás. La primera estructura de datos contiene información sobre la exploración de la red (tabla de exploración), mientras que la segunda almacena información sobre los caminos disjuntos que se descubren (tabla de selección). Estas estructuras son locales a cada nodo y su gestión puede tratarse mediante eventos temporales, eventos asociados a acciones o de cualquier otra forma.

Tras el tiempo de espera, si el nodo en cuestión es un nodo frontera, inicia un proceso de descubrimiento de caminos disjuntos generando un mensaje de exploración y enviándolo a través de todas sus puertas. Este proceso de descubrimiento de caminos también se puede disparar mediante otros eventos internos o externos en cualquier momento.

Módulo de recepción de mensajes

El módulo de recepción de mensajes recibe los mensajes provenientes de nodos vecinos, y realiza una primera inspección de estos para identificar el tipo de mensaje recibido y reenviarlo al módulo de proceso correspondiente. Si se trata un mensaje perteneciente al procedimiento 1S-MDP, analiza el tipo de operación y reenvía el mensaje al módulo de exploración, selección de camino o paso atrás según corresponda. Si por el contrario el mensaje no pertenece al procedimiento 1S-MDP, el mensaje se reenvía por el procedimiento estándar establecido para tal fin.

Módulo de creación de mensajes de control

Todo nodo compatible con 1S-MDP debe tener la capacidad de crear mensajes de control para la exploración, selección de camino y paso atrás. Una vez generado el mensaje, se introduce en él el identificador del protocolo (1S-MDP), el tipo de operación (exploración, confirmación o paso atrás), el modo de operación (disjunto en nodos o enlaces) y el identificador del nodo origen en los campos destinados para tal fin.

Si el tipo de operación es selección de camino o paso atrás, se incluye, además, el identificador del nodo destino y el identificador del camino (para distinguirlo de otros caminos entre el mismo par de nodos frontera). Además, estas dos operaciones requieren de ciertas acciones especiales. Si el mensaje a crear es un mensaje de selección de camino se comprueba si el desencadenante es un mensaje previo de paso atrás. De ser así, se copia del mensaje previo el campo que contiene la información de los elementos que conforman el camino disjunto (identificadores de nodo y sus puertas de entrada y salida) y se inserta en el nuevo mensaje. A continuación, se añaden a dicho campo las puertas de entrada y salida descubiertas que garantizan el nuevo camino disjunto, junto con el identificador de nodo. Si, por el contrario, el mensaje de selección de camino no viene precedido por un mensaje de paso atrás, directamente se añade la nueva información (puertas e identificador de

nodo). Del mismo modo, para la creación del mensaje de paso atrás se comprueba que el desencadenante sea un mensaje previo de selección de camino o paso atrás, y se copia el campo que contiene los elementos que conforman el camino disjunto. A continuación, se borra el último elemento del campo copiado (puertas de entrada y salida junto con su identificador de nodo) ya que, al retroceder un paso, ese elemento la sobrescribirá en el siguiente salto.

Si algún campo no es necesario, se inicializa a un valor nulo, como por ejemplo los campos que contienen el identificador del nodo destino y el identificador de camino en el mensaje de exploración.

Módulo de exploración

El módulo de exploración se encarga de procesar los mensajes de exploración que llegan desde el módulo de recepción de mensajes. Cuando recibe un mensaje analiza el campo del mensaje que contiene el identificador del nodo origen, anota la puerta por la que le ha llegado el mensaje y crea una dupla de datos con esa información. A continuación, introduce la dupla en la tabla de exploración respetando el orden de inserción siguiendo la métrica que se haya establecido. Por ejemplo, si se establece una métrica temporal, las entradas se introducirán según el orden de llegada, si la métrica se corresponde con la capacidad del enlace, se introducirán los datos en concordancia con la capacidad del enlace por el que viajó el mensaje, etc. La información almacenada y su orden de inserción en la tabla serán útiles para el módulo de selección de camino. Por último, se reenvía el mensaje recibido por todas las puertas del nodo únicamente si es el primer mensaje de exploración recibido desde ese nodo origen, en caso contrario (copias tardías del mensaje), se descarta. Este reenvío selectivo evita tormentas de mensajes en bucle que saturarían la red.

Si el nodo que recibe el mensaje es un nodo frontera, además, debe iniciar el proceso de selección de camino en sentido de vuelta hacia el nodo origen. Para ello, se crea un mensaje de control de selección de camino en el módulo de creación de mensajes, y se envía hacia el nodo frontera, donde se originó el mensaje de exploración, a través de la puerta por la que se recibió dicho mensaje.

Módulo de selección de camino

El módulo de selección de camino procesa únicamente los mensajes de selección de

camino que recibe desde el módulo de recepción de mensajes. El módulo de selección de camino, cuando recibe un mensaje, analiza los campos del mensaje que contienen los identificadores de los nodos origen y destino, el identificador del camino y, además, anota la puerta de entrada del mensaje de selección de camino. Los tres primeros
5 identificadores describen de forma única al camino, mientras que la puerta de entrada se utiliza para que dicha puerta no pueda ser utilizada por otros caminos, y garantizar así la disjuntividad según el modo indicado. Los identificadores de los nodos origen y destino se comparan con la información contenida en la tabla de selección de camino. Si no existe ninguna entrada coincidente, el mensaje recibido corresponde al primer
10 camino disjunto para ese par de nodos origen-destino, por lo que se selecciona la puerta de salida con mayor prioridad disponible. Si existe alguna entrada coincidente, el mensaje recibido pertenece a un camino posterior al primer camino disjunto. En este caso, se selecciona la puerta de salida con mayor prioridad que garantice la disjuntividad con los caminos previos, según el modo de operación (disjunto en nodos
15 o enlaces). Con toda esa información (identificadores de los nodos origen y destino, identificador de camino y puertas de entrada y de salida) se crea una tupla y se inserta en la tabla de selección de camino para garantizar la disjuntividad de caminos posteriores. A continuación, se insertan en el mensaje de selección de camino los identificadores de las puertas de entrada y salida del mensaje junto con el identificador
20 del nodo en el campo destinado para tal fin. El objetivo es que el mensaje de selección de camino vaya registrando la información de los nodos que pertenecen al nuevo camino disjunto, para tener una visión completa del camino cuando finalice la fase de selección de camino en el nodo origen. Finalmente, se reenvía el mensaje de selección de camino hacia el nodo origen por la puerta de salida seleccionada.

25

Cabe la posibilidad de que no se encuentre un camino disjunto cuando se realiza la búsqueda de la puerta de salida. En este caso, no se realiza ninguna inserción en la tabla de selección de camino, en su lugar, se efectúa una llamada al módulo de creación de mensajes para que cree un mensaje de paso atrás partiendo de la
30 información contenida en el mensaje de selección de camino. El mensaje creado se envía hacia el nodo anterior por la puerta de entrada del mensaje de selección, con el objetivo de que el nodo anterior encuentre un camino alternativo al ya explorado, y que terminó en una vía sin salida, que cumpla la propiedad de disjuntividad requerida.

35 La fase de selección de camino termina cuando el mensaje de selección llega al nodo

origen. Este, obtiene del mensaje la información del camino disjunto descubierto (que se ha ido registrando paso a paso en el proceso de selección de camino, y proporciona dicha información a los servicios que lo requieran o la almacena para uso futuro.

5 **Módulo de paso atrás**

El módulo de paso atrás procesa únicamente los mensajes de paso atrás que recibe desde el módulo de recepción de mensajes. Analiza los identificadores de los nodos origen y destino del mensaje, y comprueba que el identificador del nodo origen del mensaje es distinto al identificador del nodo que ha recibido el mensaje paso atrás. Si coincide, el mensaje ha llegado al nodo dónde se creó y, por lo tanto, no se pueden buscar nuevas alternativas de salida. Si no coincide, busca un nuevo camino disjunto para el par de nodos origen-destino, actualiza la tabla de confirmación, crea un nuevo mensaje de selección del que se ha eliminado el paso fallido y reenvía el nuevo mensaje por la nueva puerta de salida seleccionada. En esta nueva búsqueda, si el módulo no encuentra una puerta de salida alternativa que cumpla la propiedad de disjuntividad, llama al módulo de generación de mensajes para que cree un nuevo mensaje de paso atrás. De esta manera, se pueden desandar tantos pasos como se necesite hasta encontrar un camino viable (el número de pasos atrás podría limitarse mediante un parámetro de configuración adicional).

20

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, donde se ha representado lo siguiente:

25

Figura 1.- Muestra el proceso de exploración de la invención desde el nodo origen S. Las figuras 2, 4 y 6 ocurren en el mismo instante de tiempo. Las confirmaciones en los tres nodos frontera transcurren en paralelo. Para mejorar la comprensión se ha separado el proceso en tres figuras distintas.

30

Figura 2.- Muestra el proceso de confirmación desde el nodo D1 con los nodos trabajando en modo enlace.

Figura 3.- Muestra los caminos disjuntos en enlaces descubiertos entre el nodo S y el

35

nodo D1.

Figura 4.- Muestra el proceso de confirmación desde el nodo D2 con los nodos trabajando en modo enlace.

5

Figura 5.- Muestra los caminos disjuntos en enlaces descubiertos entre el nodo S y el nodo D2.

Figura 6.- Muestra el proceso de confirmación desde el nodo D3 con los nodos trabajando en modo enlace.

10

Figura 7.- Muestra los caminos disjuntos en enlaces descubiertos entre el nodo S y el nodo D3.

Las figuras 8, 10 y 12 ocurren en el mismo instante de tiempo. Las confirmaciones en los tres nodos frontera transcurren en paralelo. Para mejorar la comprensión se ha separado el proceso en tres figuras distintas.

15

Figura 8.- Muestra el proceso de confirmación desde el nodo D1 con los nodos trabajando en modo nodo.

20

Figura 9.- Muestra los caminos disjuntos en nodos descubiertos entre el nodo S y el nodo D1.

Figura 10.- Muestra el proceso de confirmación desde el nodo D2 con los nodos trabajando en modo nodo.

25

Figura 11.- Muestra los caminos disjuntos en nodos descubiertos entre el nodo S y el nodo D2.

30

Figura 12.- Muestra el proceso de confirmación desde el nodo D3 con los nodos trabajando en modo nodo.

Figura 13.- Muestra los caminos disjuntos en nodos descubiertos entre el nodo S y el nodo D3.

35

Figura 14.- Muestra el diagrama de flujo del inicio del nodo.

Figura 15.- Muestra el diagrama de flujo para crear un nuevo mensaje.

5 Figura 16.- Muestra el diagrama de flujo de la recepción de un mensaje.

Figura 17.- Muestra el diagrama de flujo del módulo de exploración.

Figura 18.- Muestra el diagrama de flujo del módulo de selección de camino.

10

Figura 19.- Muestra el diagrama de flujo del módulo de paso atrás.

Figura 20.- Muestra el formato del mensaje y las tablas de exploración y confirmación.

15 Los diagramas de flujo contienen las siguientes leyendas:

- PROTO_ID: Identificador de protocolo
- TIPO_OP: Tipo de operación (exploración, confirmación, paso atrás)
- OG_ID: Identificador del nodo origen
- DT_ID: Identificador del nodo destino
- 20 ▪ N_ID: Identificador de nodo
- C_ID: Identificador de camino
- P: Puerta en un dispositivo
- PE: Puerta de entrada del mensaje en el dispositivo
- PS: Puerta de salida del mensaje en el dispositivo
- 25 ▪ CAM_DISJ: Conjunto de nodos y puertas que conforman el camino disjunto
- TE: Tabla de exploración
- TS: Tabla de selección
- ENT_TS: Elemento de la tabla de selección

30 **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION**

Una posible implementación de este ejemplo sería una red de comunicaciones basada en tecnología Ethernet. Los nodos serían puentes de red avanzados que se comunican según la tecnología Ethernet. Se utilizará un EtherType específico para distinguir las tramas que transportan mensajes de control 1S-MDP de otras tramas en la red, y se
35 utilizarán las direcciones MAC de los puentes como identificadores de los nodos

frontera (origen y destino).

Las tramas Ethernet que transportan mensajes de exploración 1S-MDP llevarán como dirección MAC origen la del puente frontera origen y como dirección MAC destino la dirección reservada para difusión (FF:FF:FF:FF:FF:FF) en Ethernet. Si un mensaje de exploración lleva como dirección destino la dirección de un nodo frontera de la red, solamente se descubrirán los múltiples caminos disjuntos entre el nodo origen y ese nodo destino.

Las tramas Ethernet que transportan mensajes de selección de camino 1S-MDP llevarán como dirección MAC origen la del puente que haya generado dicho mensaje y como dirección MAC destino la del puente frontera origen (donde se pretende llegar). Las tramas Ethernet que transportan mensajes de paso atrás 1S-MDP llevarán como dirección MAC origen la del puente que haya generado dicho mensaje y como dirección MAC destino la del puente anterior en el camino que se está desandando. Se utiliza el orden de llegada de las tramas de exploración a un puente como métrica de costes, por lo que, entre dos opciones de camino, la más prioritaria siempre apuntará al camino más rápido disponible desde el origen hasta ese nodo de entre los descubiertos en la fase de exploración.

Los caminos descubiertos por el procedimiento 1S-MDP pueden ser asignados a distintos flujos de tráfico entre puentes de red para optimizar el reparto de carga (maximizar el rendimiento global de la red), mejorar la fiabilidad, aumentar la seguridad, o implementar políticas de calidad de servicio, entre otras opciones. Con el objetivo de reparto de carga, se pueden distribuir los flujos de forma equitativa entre los distintos caminos; para mejorar la fiabilidad, se puede utilizar el camino más estable o con menos saltos como camino principal, dejando los demás para funciones de respaldo, o también se puede reenviar el tráfico crítico por varios caminos a la vez; para mejorar la seguridad, un mismo flujo puede ser dividido entre los distintos caminos posibles, por ejemplo, para evitar ataques de tipo "man-in-the-middle"; para proporcionar diferentes calidades de servicio, podemos asignar el camino más rápido a flujos *premium*, y los caminos restantes a flujos con menor prioridad.

Las figuras 1 a 7 muestran un ejemplo del proceso de descubrimiento de caminos 1S-MDP entre el puente frontera origen identificado como nodo S y los puentes frontera

destino identificados como nodos D1, D2 y D3 en el modo disjunto en enlaces.

La figura 1 muestra el intercambio de tramas con los mensajes de exploración. La primera copia del mensaje recibida en cada nodo se muestra con un trazo continuo y
5 las copias tardías de dicho mensaje se muestran mediante un doble trazo continuo. El orden de llegada de las copias a un puente se indica mediante un número entero creciente (1, 2, ...).

La figura 2 muestra el intercambio de los mensajes de selección de camino originados
10 en el nodo frontera destino D1 con las selecciones realizadas en cada nodo intermedio en función del orden de puertas descubierto en el proceso de exploración previo. Y la figura 3 muestra los caminos descubiertos como resultado del proceso.

Las figuras 4 y 5, y las figuras 6 y 7, muestran el mismo proceso de selección de
15 caminos para los nodos frontera destino D2 y D3, respectivamente.

De la misma manera, las figuras 8 a 13 muestran un ejemplo del proceso de selección de caminos 1S-MDP en el modo disjunto en nodos. Se parte del mismo proceso de exploración presentado en la figura 1.
20

La figura 8 muestra el intercambio de los mensajes de selección de camino originados en el nodo frontera destino D1 con las selecciones realizados en cada nodo intermedio en función del orden de puertas descubierto en el proceso de exploración previo. En este caso, puede verse como el B debe ejecutar un procedimiento de paso atrás en el
25 proceso de selección del camino número 3 dado que ya ha sido utilizado para el camino número 2. La figura 9 muestra los caminos descubiertos como resultado del proceso.

Las figuras 10 y 11, y las figuras 11 y 12, muestran el mismo proceso de selección de
30 caminos para los nodos frontera destino D2 y D3, respectivamente.

35

BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEEE Organization, "IEEE 802.1AB-2016 Station and Media Access Control Connectivity Discovery," IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, 2016.
- [2] J. W. Suurballe, "Disjoint paths in a network," *Networks*, vol. 4, no. 2, pp. 125–145, 1974.
- [3] R. Bhandari, "Optimal diverse routing in telecommunication fiber networks," *Proc. INFOCOM '94 Conf. Comput. Commun.*, no. 908, pp. 1498–1508, 1994.
- [4] K. Tomohiro Hashiguchi, K. ; Toru Katagiri, K. ; Kazuyuki Tajima, and K. Yutaka Takita, "Apparatus and method for finding a pair of disjoint paths in a communication network," US8345538B2, 2013.
- [5] C. (US); Jin Huai, Rohnert Park, CA (US); Gary Baldwin, Santa Rosa and C. (US) Anix Anbiah, Rohnert Park, "Method and apparatus for discovering edge-disjoint shortest path pairs during shortest path tree computation," US6928484B1, 2005.
- [6] E. W. Dijkstra, "A Note on Two Probles in Connexion with Graphs," *Numer. Math.*, vol. 1, no. 1, pp. 269–271, 1959.
- [7] G. Schollmeier and C. Winkler, "Method and network node for determining multi-path transmission paths in a packet- switched communication network," DE20031008615, 2005.
- [8] D. Ibañez Fernández , Guillermo ; Álvarez Horcajo , Joaquín ; Carral Pelayo , Juan Antonio; Martínez Yelmo , Isaías y López Pajares, "Procedimiento de establecimiento y borrado de caminos múltiples disjuntos, de reenvío de tramas y puente de red," ES2638292B2, 2016.
- [9] G. Ibanez, J. A. Carral, A. Garcia-Martinez, J. M. Arco, D. Rivera, and A. Azcorra, "Fast Path Ethernet Switching: On-demand, efficient transparent bridges for data center and campus networks," in *2010 17th IEEE Workshop on Local & Metropolitan Area Networks (LANMAN)*, 2010, pp. 1–7.
- [10] G. Ibanez, J. A. Carral, J. M. Arco, D. Rivera, and A. Montalvo, "ARP-Path: ARP-Based, Shortest Path Bridges," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 15, no. 7, pp. 770–772, Jul. 2011.
- [11] E. Rojas Sánchez, G. Ibanez Fernández, I. Martínez Yelmo, and A. Azcorra Salona, "Procedimiento de establecimiento y borrado de caminos y de reenvío de tramas para conexiones de transporte y puente de red," ES2540595B2;

PCT/ES2014/070905, 2016.

- [12] J. Alvarez-Horcajo, D. Lopez-Pajares, J. M. Arco, J. A. Carral, and I. Martinez-Yelmo, "TCP-path: Improving load balance by network exploration," in *2017 IEEE 6th International Conference on Cloud Networking (CloudNet)*, 2017, pp. 1–6.
- [13] K. Jun Tanaka, "Path Generating method, relay device, and computer product," US008665754B2, 2014.
- [14] B. J. van der Kluit, A. C. G. Holtzer, B. M. M. Gijssen, and Hendrik Bernard Meeuwissen, "Search for disjoint paths through a network," 2017.
- [15] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein, *Introduction to algorithms*, Second. MIT Press, 2001.
- [16] K. Zhang, Q. Han, G. Yin, and H. Pan, "OFDP: a distributed algorithm for finding disjoint paths with minimum total length in wireless sensor networks," *J. Comb. Optim.*, vol. 31, no. 4, pp. 1623–1641, 2016.
- [17] K. Zhang, G. Yin, Q. Han, and J. Lin, "DFDP: A Distributed Algorithm for Finding Disjoint Paths in Wireless Sensor Networks with Correctness Guarantee," *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 10, no. 6, p. 258959, Jun. 2014.
- [18] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *Proceedings WMCSA'99. Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 1999, pp. 90–100.
- [19] D. B. Johnson, D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch, "Dsr: The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks," *Ad hoc networking*, pp. 139–172, 2001.
- [20] S.-J. Lee and M. Gerla, "Split multipath routing with maximally disjoint paths in ad hoc networks," in *ICC 2001. IEEE International Conference on Communications. Conference Record (Cat. No.01CH37240)*, vol. 10, pp. 3201–3205.
- [21] Z. Ye, S. V. Krishnamurthy, and S. K. Tripathi, "A framework for reliable routing in mobile ad hoc networks," in *IEEE INFOCOM 2003. Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (IEEE Cat. No.03CH37428)*, vol. 1, pp. 270–280.
- [22] M. K. Marina and S. R. Das, "On-demand multipath distance vector routing in ad hoc networks," in *Proceedings Ninth International Conference on Network Protocols. ICNP 2001*, pp. 14–23.
- [23] V. Loscri and S. Marano, "A new Geographic Multipath Protocol for Ad hoc

- Networks to reduce the Route Coupling phenomenon,” in *2006 IEEE 63rd Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp. 1102–1106.
- [24] G. W. Atkinson, “Mutually compatible path search,” US10069717B2, 2018.
- [25] C. Minkenberg and M. R. Gusat, “Multipath discovery in switched ethernet networks.” Google Patents, 31-Jan-2012.
- [26] J. Marukawa, Y. Nomura, S. Yamada, M. Terasawa, S. Okamoto, and N. Yamanaka, “Scalable multi-path discovery technique for parallel data transmission in next generation wide area layer-2 network,” in *2011 1st International Symposium on Access Spaces (ISAS)*, 2011, pp. 208–212.
- [27] A. Atlas, “Forwarding mechanisms for fast reroute using maximally redundant trees,” 2015.
- [28] D. Fedyk and D. Allan, “IS-IS Extensions Supporting IEEE 802.1aq Shortest Path Bridging (SPB). RFC 6329,” pp. 1–37, 2012.
- [29] H. Geng, X. Shi, Z. Wang, and X. Yin, “A hop-by-hop dynamic distributed multipath routing mechanism for link state network,” *Comput. Commun.*, vol. 116, pp. 225–239, Jan. 2018.
- [30] P. Hofmann, “Method and apparatus for discovering disjoint routes to multiple service nodes,” EP1773003A1, 2005.
- [31] D. Lopez-Pajares, J. Alvarez-Horcajo, E. Rojas, A. S. M. Asadujjaman, and I. Martinez-Yelmo, “Amaru: Plug&Play Resilient In-Band Control for SDN,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 123202–123218, 2019.

25 **AGRADECIMIENTOS**

La invención es, parcialmente, resultado de la investigación realizada en los siguientes proyectos:

- “Tecnologías Integradas de Gestión y Operación de red 5G”, Comunidad de Madrid, TIGRE5-CM (S2013/ICE-2919)
- “Técnicas Avanzadas para Potenciar la Inteligencia de las Redes 5G”, Comunidad de Madrid, TAPIR-CM (S2018/TCS-4496)

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de búsqueda de caminos múltiples disjuntos en un único paso, que comprende las siguientes etapas:
 - 5 a) Realizar un proceso de exploración de red mediante la difusión controlada de mensajes exploratorios, desde un nodo frontera origen, hacia todos los demás nodos frontera destinos que forman la red.
 - 10 b) Seleccionar múltiples caminos disjuntos desde nodos frontera destinatarios de mensajes de exploración generados por la etapa a), enviando al nodo origen un mensaje de selección de camino por cada una de las puertas por las que ha recibido una copia de dicho mensaje de exploración.
 - 15 c) La capacidad de retroceso hacia el nodo anterior, en el proceso de selección de camino o en el proceso de paso atrás, en el caso de que un nodo de la red no encuentre una salida que garantice las condiciones de disjuntividad establecidas.
 - 20 d) Al recibirse en un nodo, un mensaje exploratorio con un origen y una etiqueta de procedimiento 1S-MDP;
 1. Asociar, en una estructura de datos, a efectos de la exploración de la red, la información del nodo origen a la puerta de recepción, junto con un indicador de caducidad;
 2. Ordenar la asociación siguiendo la métrica establecida;
 - 25 3. Procesar el mensaje exploratorio recibido de la siguiente forma:
 - a. En caso de ser el primer mensaje, el procesamiento será reenviar el mensaje por todas las puertas activas hacia sus nodos vecinos;
 - 30 b. En caso de ser el segundo mensaje recibido o posterior, el procesamiento será descartar mientras la entrada no esté obsoleta;
 - 35 e) Al recibirse en un nodo un mensaje de selección de camino con un identificador de nodo origen, un identificador de nodo destino, una etiqueta del procedimiento 1S-MDP, un identificador de camino y los elementos asociados a dicho camino;

1. Asociar, en una estructura de datos, a efectos de búsqueda del camino disjunto (en enlaces o nodos) la información de los nodos origen y destino, el identificador de camino, y la puerta de entrada del mensaje de selección de camino;
- 5 2. Buscar una puerta de salida que garantice que el camino buscado cumpla la condición de disjuntividad (en nodos o en enlaces) con caminos previos para el mismo par de nodos origen-destino;
- 10 3. Completar la estructura de datos procesada según el punto e)1
4. Procesar el mensaje de selección de camino de la siguiente forma:
 - 15 a) Si el nodo ha encontrado una puerta de salida que garantiza las condiciones de disjuntividad según el modo de operación, se incluye la información relativa a este nuevo nodo en el mensaje, y se reenvía por la puerta de salida;
 - 20 b) Si el nodo no ha encontrado una puerta de salida que garantiza las condiciones de disjuntividad según el modo de operación, se genera un mensaje de paso atrás y se envía hacia el nodo anterior a través de la puerta de entrada del mensaje de selección;
- f) Al recibirse en un nodo un mensaje de paso atrás con un identificador de nodo origen, un identificador de nodo destino, un
25 identificador de camino, una etiqueta del procedimiento 1S-MDP y los elementos asociados a dicho camino;
 - 30 1. Asociar, en una estructura de datos, a efectos de búsqueda del camino disjunto (en enlaces o nodos) la información de los nodos origen y destino del camino disjunto que se quiere descubrir y la puerta de entrada del mensaje de selección de camino que precedía al mensaje de paso atrás.
 - 35 2. Buscar una puerta de salida que garantice que el camino buscado cumpla la condición de disjuntividad (en nodos o en enlaces) con caminos previos para el mismo par de nodos origen-destino;

- 5
3. Completar la estructura de datos procesada según el punto f)1 con la puerta de salida;
 4. Actualizar la estructura de datos completada en un paso previo de la construcción del camino disjunto con los nuevos datos del punto f)3;
 5. Procesar el mensaje de paso atrás de la siguiente forma:
 - a) Si el nodo ha encontrado una puerta de salida que garantiza las condiciones de disjuntividad según el modo de operación, se crea un mensaje de selección de camino y se envía por la nueva puerta de salida;
 - b) Si el nodo no ha encontrado una puerta de salida que garantiza las condiciones de disjuntividad según el modo de operación se actualiza el mensaje de paso atrás y se reenvía al nodo anterior.
- 10
- 15

caracterizado por

- g) En la fase de exploración, etapa a) indicada arriba, el mensaje exploratorio de búsqueda de camino generado por el dispositivo origen contiene el identificador del nodo origen, el tipo de camino disjunto (disjunto en enlaces o disjunto en nodos) a explorar, y la etiqueta del protocolo 1S-MDP;
 - h) En el proceso de selección de caminos, etapa b), explicada anteriormente, el mensaje de selección de camino contiene los identificadores de los nodos origen y destino del camino a descubrir, el identificador de camino, la etiqueta del protocolo 1S-MDP, el tipo de camino a descubrir (disjunto en nodo o disjunto en enlace), y las puertas de entrada y salida junto al nodo al que pertenecen que ha atravesado el mensaje de selección de camino.
 - i) En el proceso de paso atrás, etapa c), explicada anteriormente, el mensaje de paso atrás contiene los identificadores de los nodos origen y destino del camino a descubrir, el identificador de camino, la etiqueta del protocolo 1S-MDP, el tipo de camino a descubrir (disjunto en nodo o disjunto en enlace), y las puertas de entrada y salida junto al nodo al que pertenecen que ha atravesado el mensaje
- 20
- 25
- 30
- 35

de selección de camino.

j) Al recibir un dispositivo un mensaje exploratorio de la etapa a), el dispositivo realiza las siguientes acciones:

1. Comprobar si es un nodo frontera destino

5

En caso afirmativo:

10

a. Se pasará a la etapa b), seleccionando los diferentes caminos disjuntos partiendo de la información recogida en la etapa a) mediante el envío de mensajes de selección de camino con dirección destino la del nodo que generó el mensaje de exploración, dirección origen su identificador, incluyendo un número de secuencia (o similar) que identifica de forma unívoca al camino entre el par de nodos origen-destino, y un indicador del tipo de camino a crear (disjunto en enlaces o en nodos), así como las puertas de entrada y salida y el identificador de nodo que atraviesa el mensaje de selección de camino;

15

En caso negativo:

20

b. Procesar el mensaje tal y como se indica en el punto d)3;

k) Al recibir un dispositivo un mensaje de paso atrás el nodo realiza las siguientes acciones:

1. Comprobar si la dirección destino del mensaje se corresponde con el identificador del nodo.

25

En caso afirmativo:

30

a) Extraer del mensaje la información del camino disjunto encontrado y reenviarla al dispositivo que lo necesite, o guardar dicha información de forma local, habiendo terminado la búsqueda de uno de los múltiples caminos;

En caso negativo

b) Operar según está descrito en las etapas e)1 - e)4;

35

2. Nodo caracterizado por disponer de los medios de procesamiento apropiados para implementar el procedimiento de la reivindicación 1.
- 5 3. Red conmutada caracterizada por comprender al menos un nodo definido según la reivindicación 2.

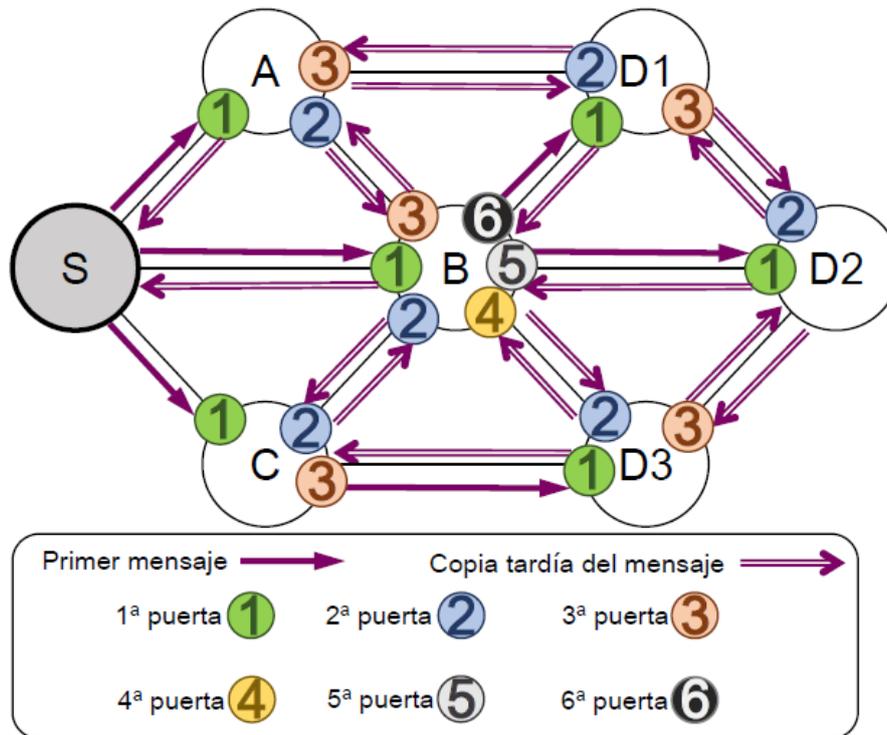


FIG. 1

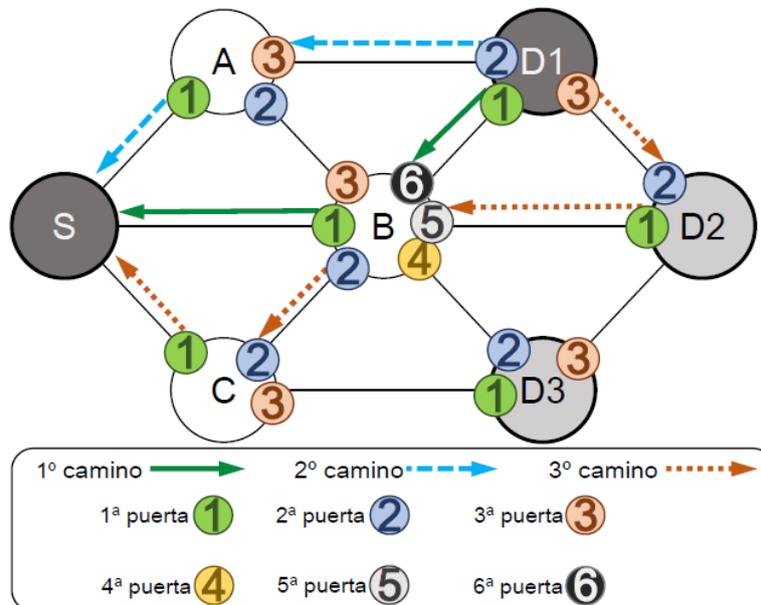


FIG. 2

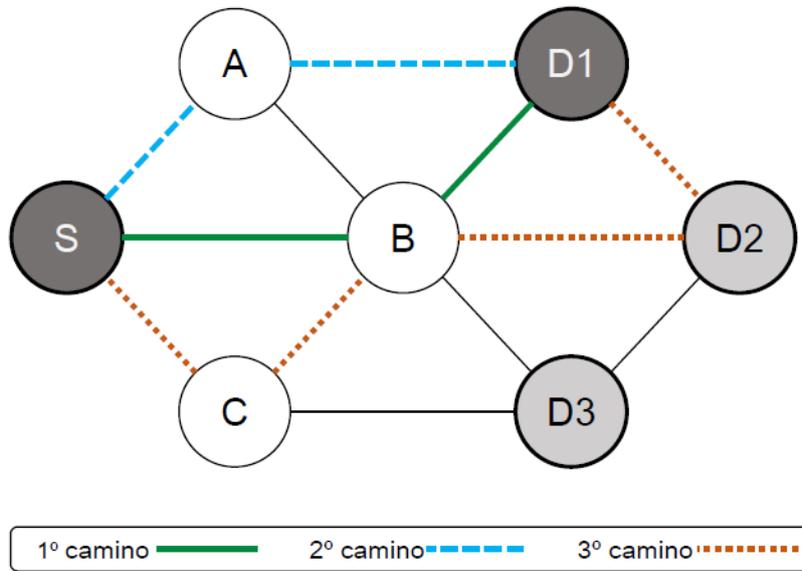


FIG. 3

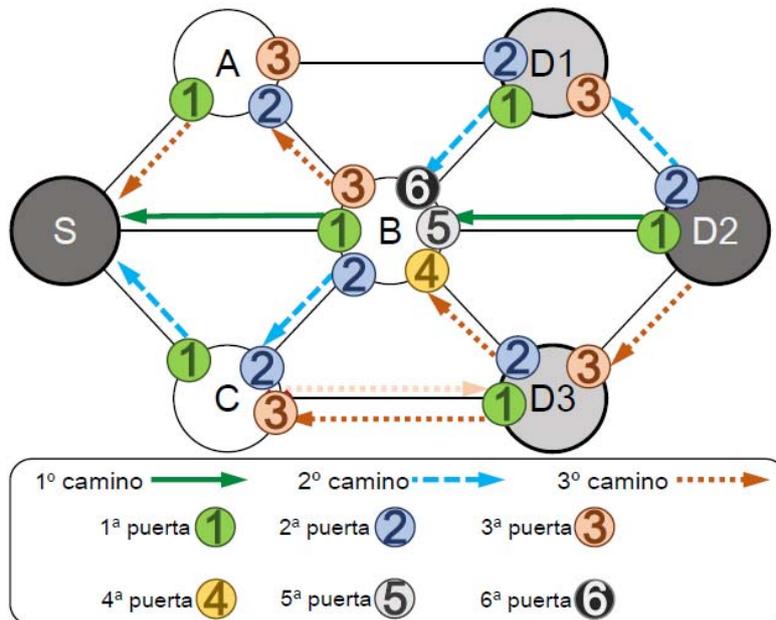


FIG. 4

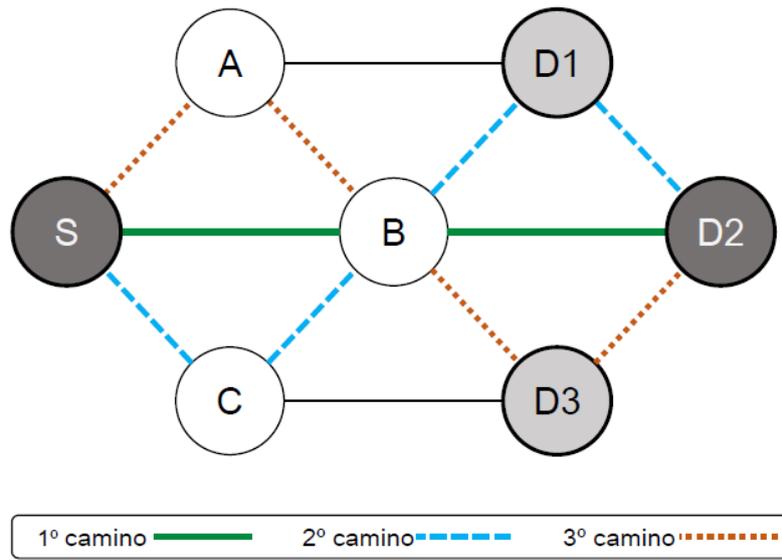


FIG. 5

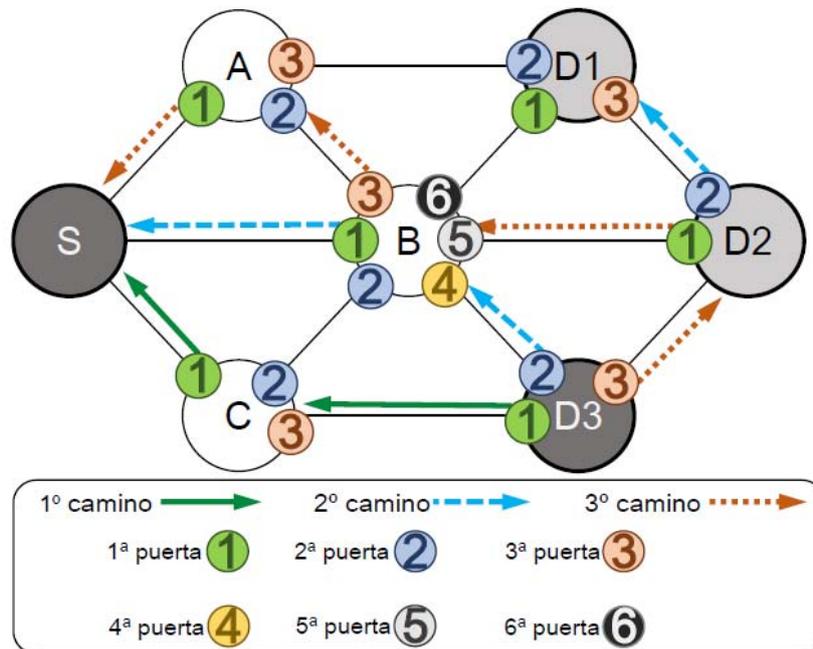


FIG. 6

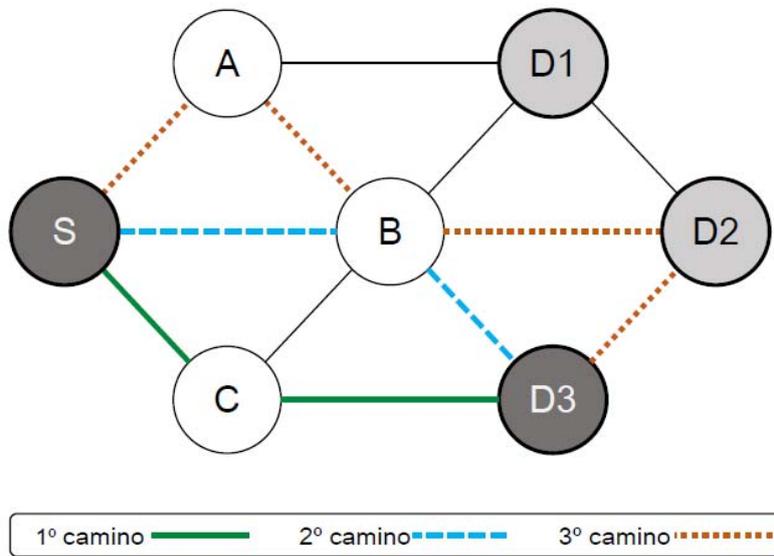


FIG. 7

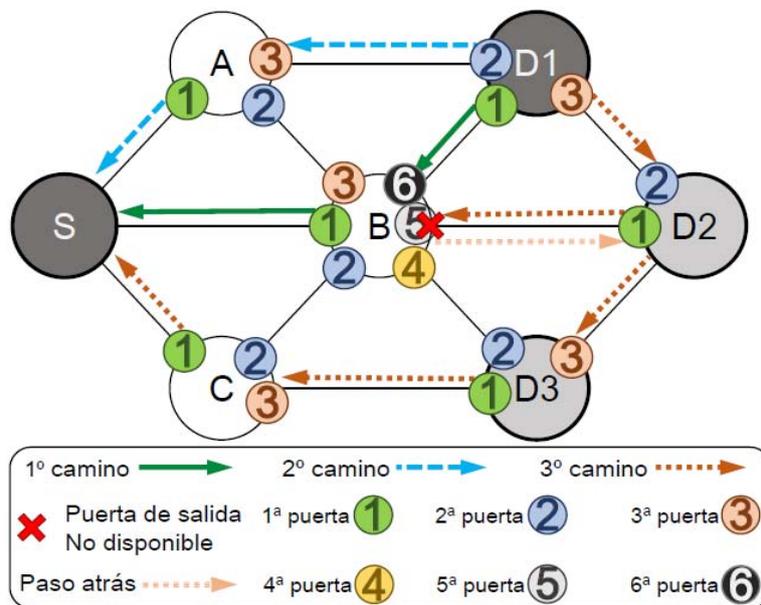


FIG. 8

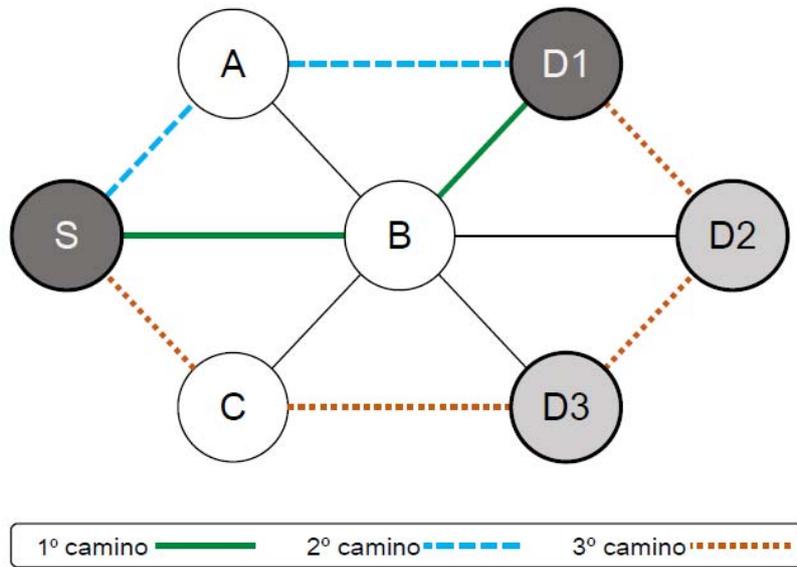


FIG. 9

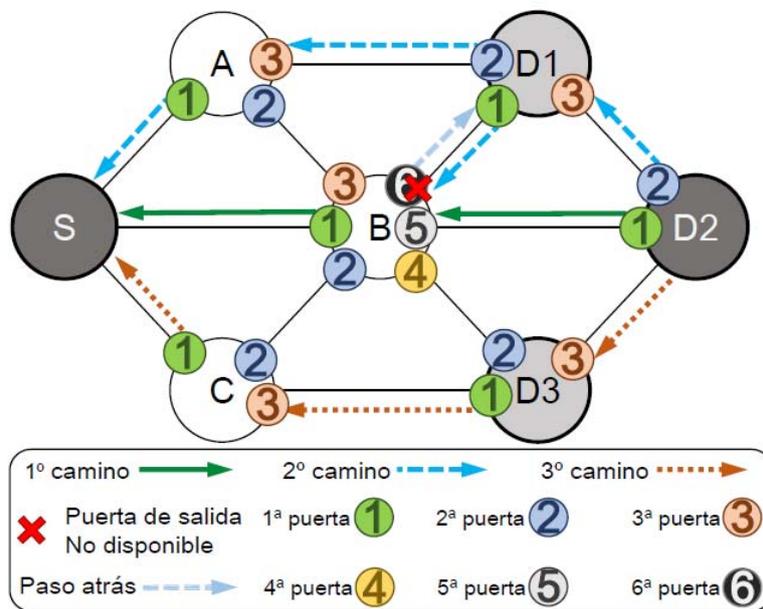


FIG. 10

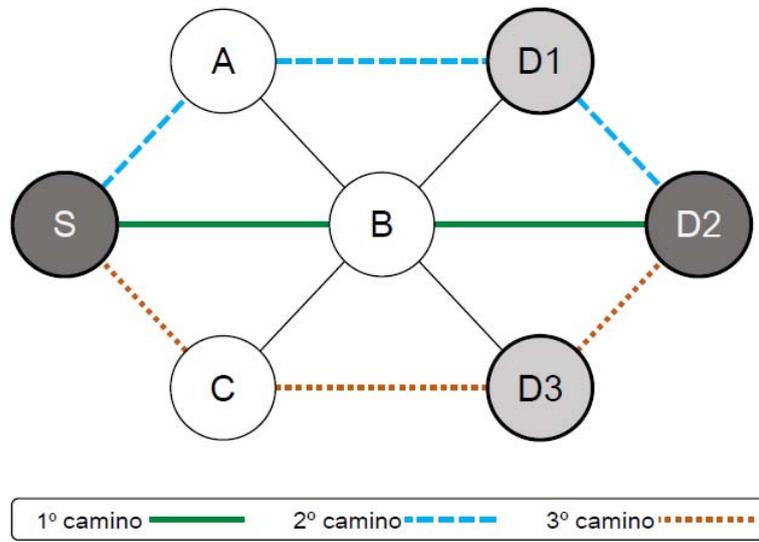


FIG. 11

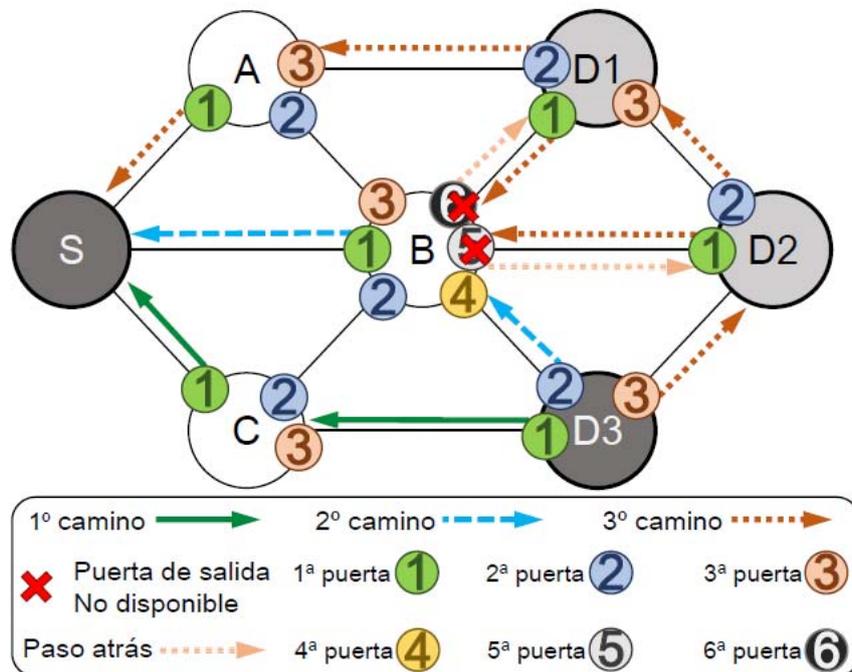


FIG. 12

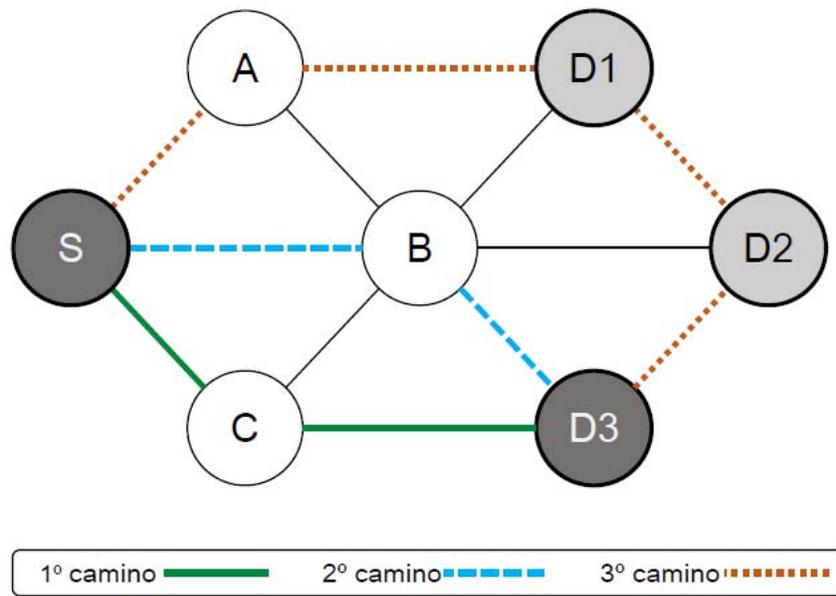


FIG. 13

INICIO DEL DISPOSITIVO

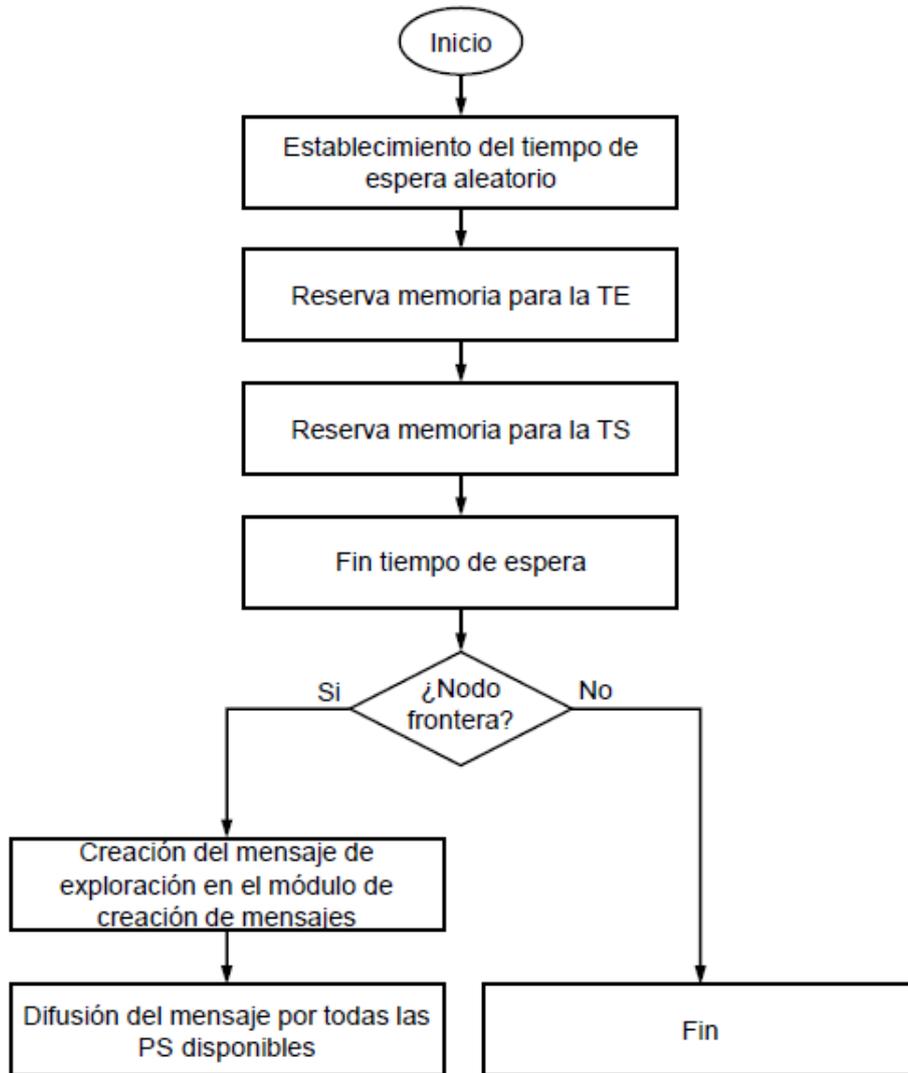


FIG. 14

CREACIÓN DE UN MENSAJE DE CONTROL

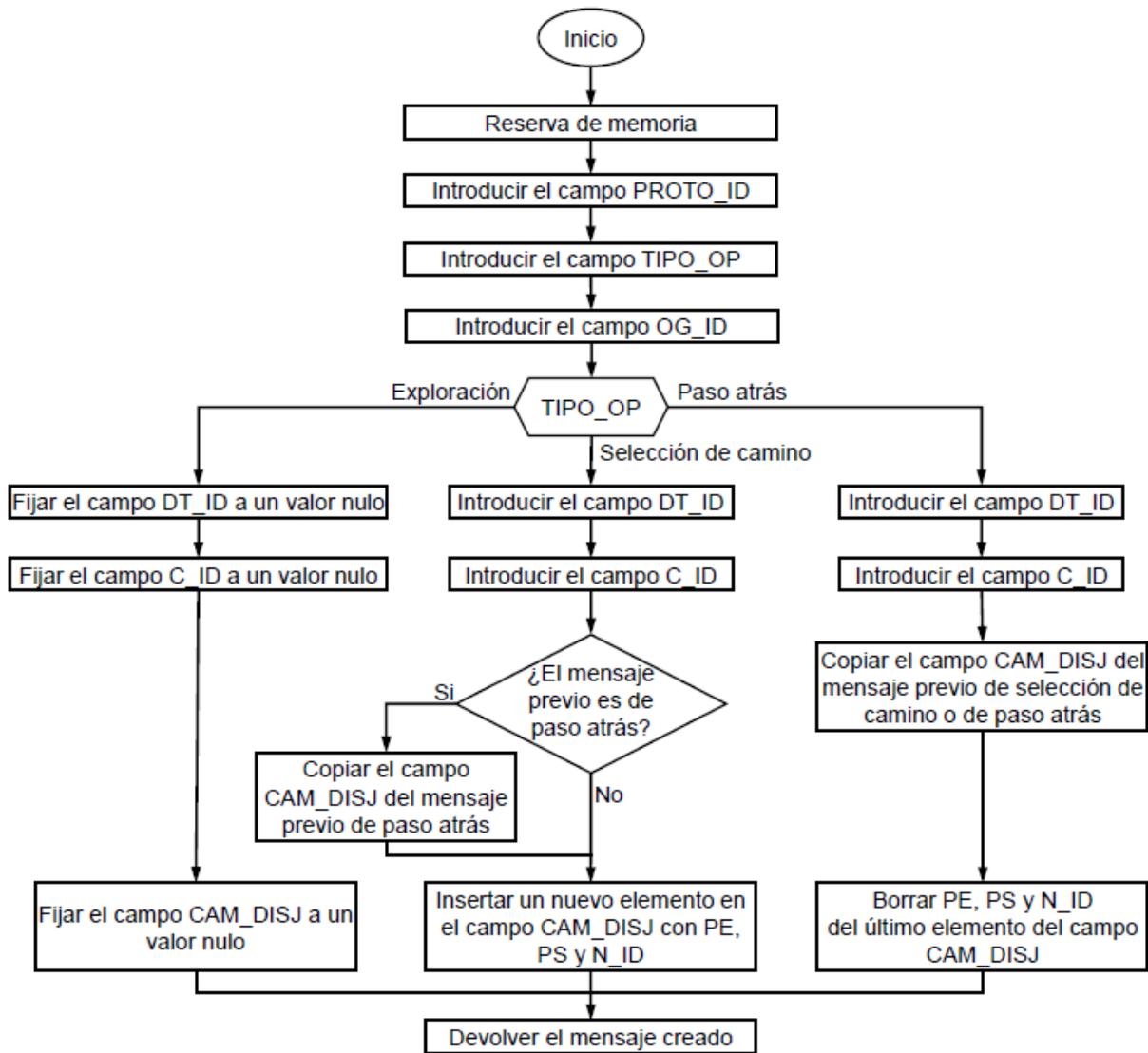


FIG. 15

MÓDULO DE RECEPCIÓN DE MENSAJE

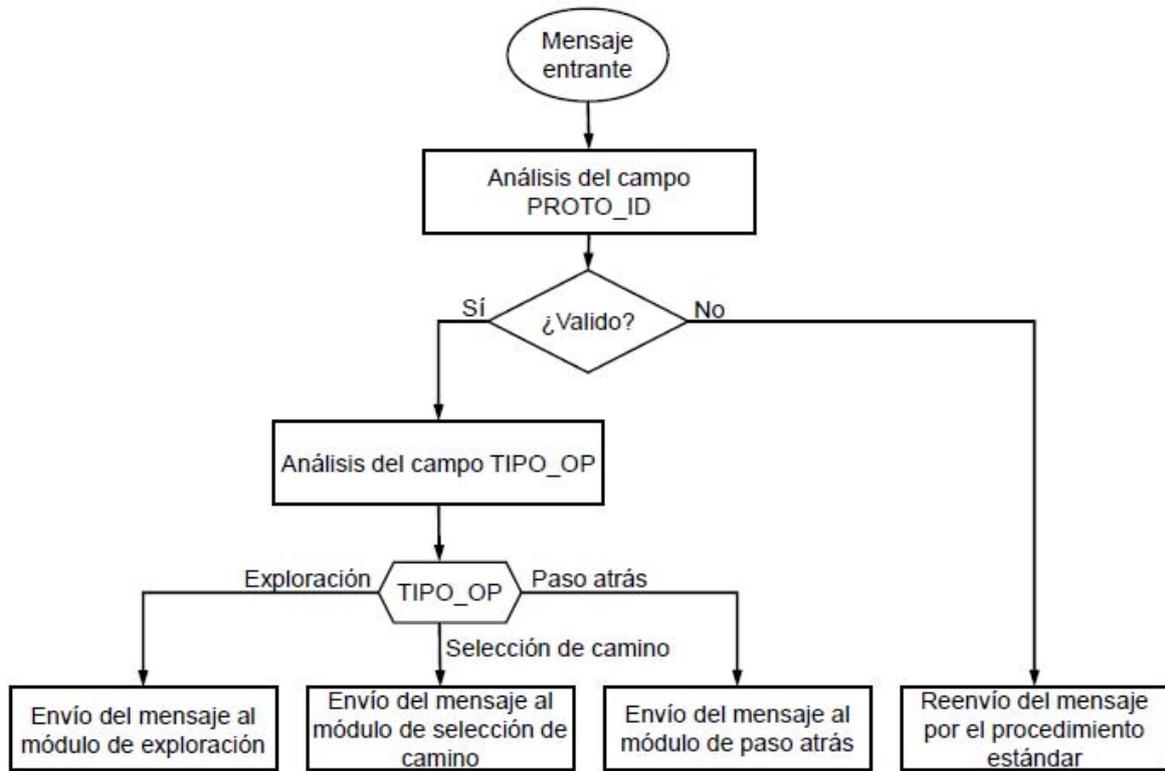


FIG. 16

MÓDULO DE EXPLORACIÓN

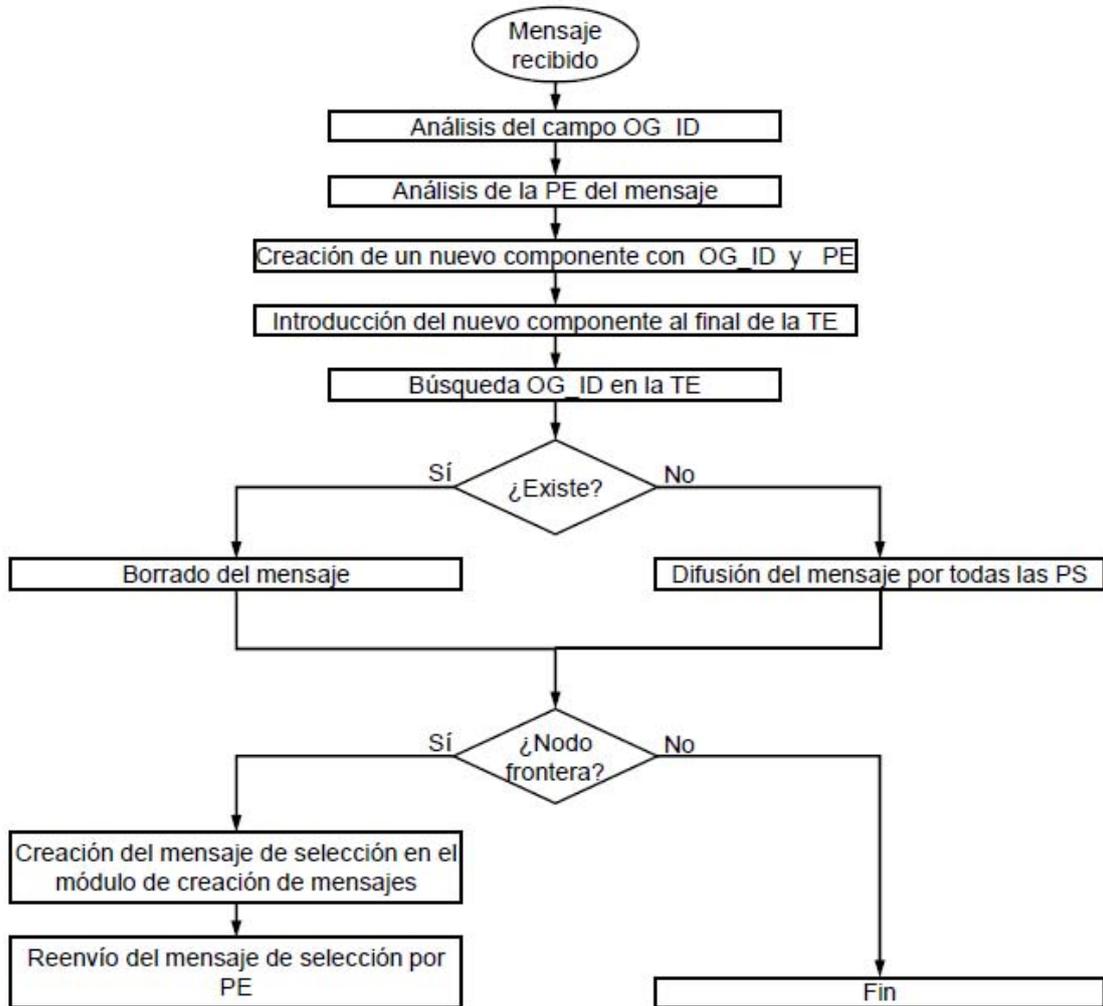


FIG. 17

MÓDULO DE SELECCIÓN DE CAMINO

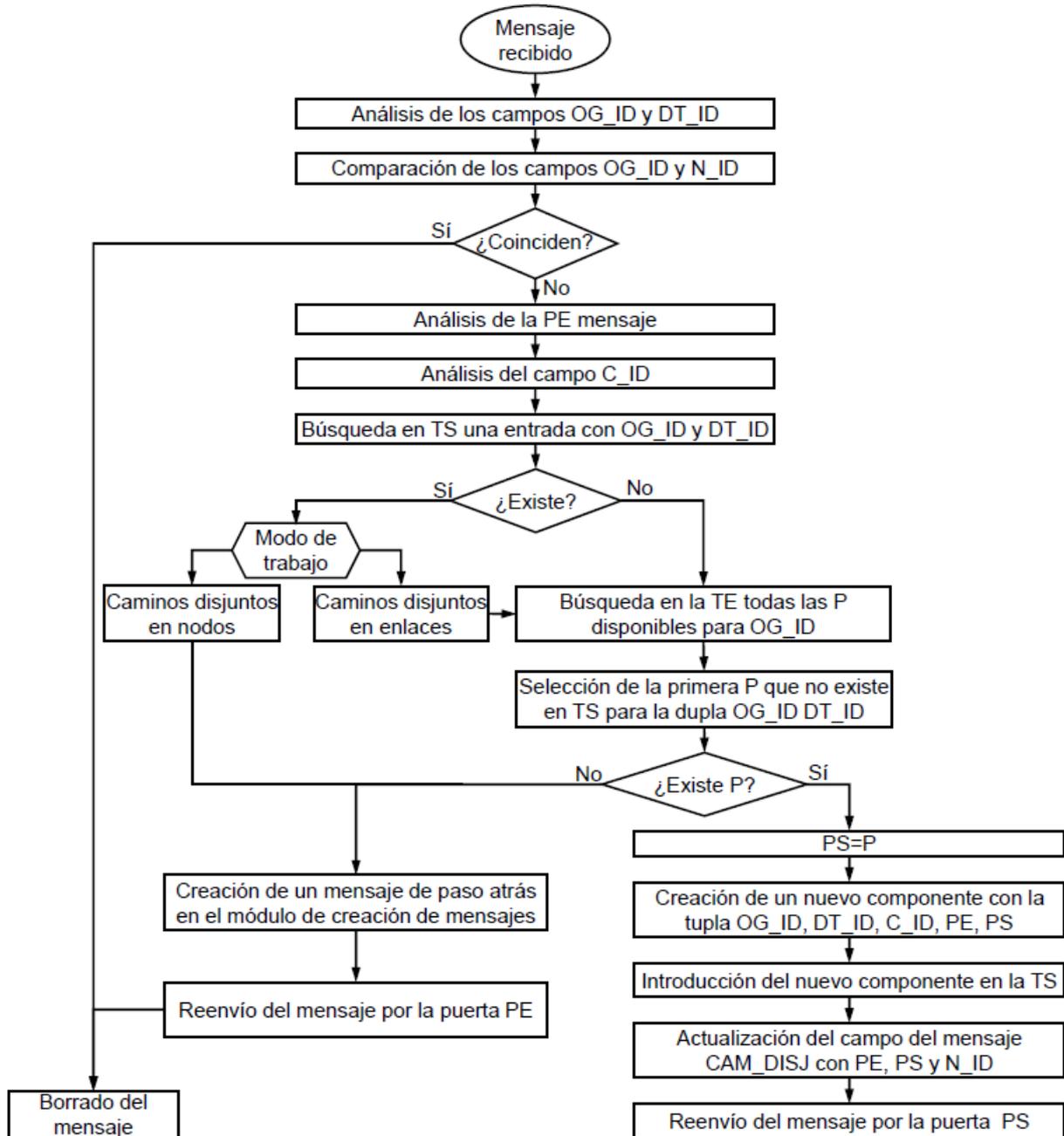


FIG. 18

MÓDULO DE PASO ATRÁS

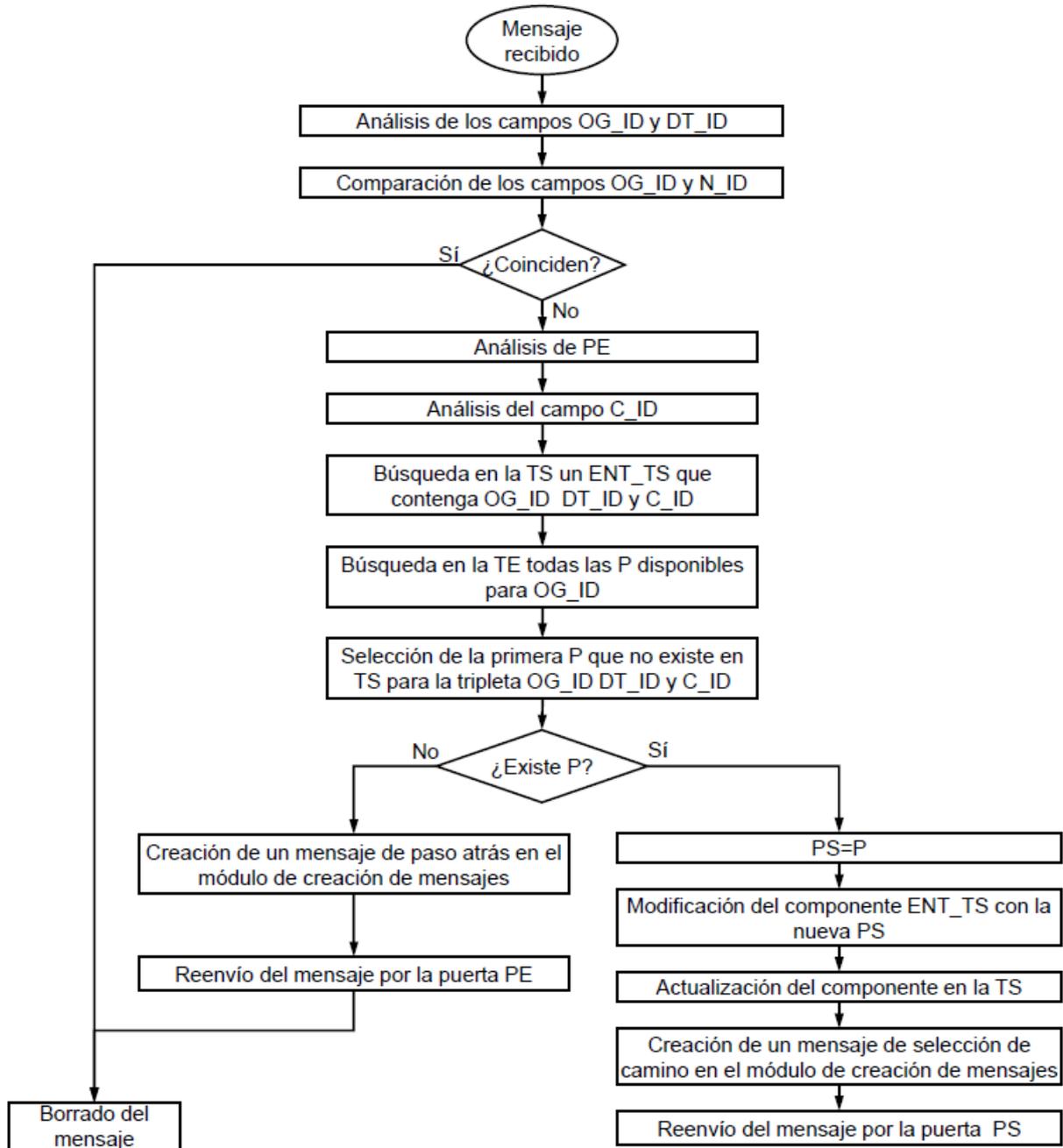


FIG. 19

FORMATO DEL MENSAJE

PROTO_ID	TIPO_OP	OG_ID	DT_ID	C_ID	CAM_DISJ
----------	---------	-------	-------	------	----------

- PROTO_ID : Identificador de protocolo
- TIPO_OP : Tipo de operación: exploración, selección, paso atrás
- OG_ID: Identificador del nodo origen
- DT_ID: Identificador del nodo destino
- C_ID: Identificador de camino
- CAM_DISJ: Nodos y puertas que forman el camino disjunto

Estructuras de información

Tabla de exploración (TE)

OG_ID 1	P 1
	P 2
	⋮
	P N
OG_ID 2	P 1
	P 2
	⋮
	P N
⋮	⋮
OG_ID M	P 1
	P 2
	⋮
	P N

Tabla de selección (TS)

OG_ID 1 DT_ID 1	C_ID 1	PE	PS
	C_ID 2	PE	PS
	⋮		
	C_ID N	PE	PS
OG_ID 2 DT_ID 2	C_ID 1	PE	PS
	C_ID 2	PE	PS
	⋮		
	C_ID N	PE	PS
⋮	⋮	⋮	⋮
OG_ID M DT_ID M	C_ID 1	PE	PS
	C_ID 2	PE	PS
	⋮		
	C_ID N	PE	PS

FIG. 20