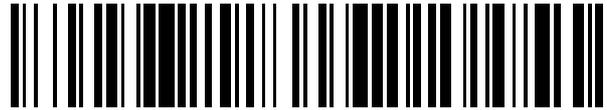


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 466 379**

51 Int. Cl.:

H04J 14/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.02.2004 E 04002521 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.04.2014 EP 1453233**

54 Título: **Procedimiento y aparato de aprovisionamiento dinámico de conexiones fiables en presencia de fallos múltiples**

30 Prioridad:

28.02.2003 US 450634 P
02.10.2003 US 677615

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.06.2014

73 Titular/es:

ALCATEL LUCENT (100.0%)
3, avenue Octave Gréard
75007 Paris , FR

72 Inventor/es:

FUMAGALLI, ANDREA;
DARISALA, SANDEEP;
PARTHASARATHY, KOTHANDARAMAN;
TACCA, MARCO;
VALCARENghi, LUCA;
ALI, MAHER y
ELIE-DIT-COSAQUE, DAVID

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 466 379 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 aparato de aprovisionamiento dinámico de conexiones fiables en presencia de fallos múltiples

Antecedentes de la invención**Campo técnico de la invención**

- 5 La presente invención se refiere, en general, a redes ópticas. Más en particular, y no a modo de limitación, la presente invención está dirigida a un procedimiento y aparato de aprovisionamiento dinámico de conexiones fiables en presencia de fallos múltiples en tales redes.

Descripción de la técnica relacionada

- 10 Nuestra sociedad depende cada vez más de las redes de datos. Por lo tanto, es de la máxima importancia la supervivencia en caso de fallo de la red para garantizar la disponibilidad ininterrumpida del servicio. Existen muchas técnicas para asegurar la supervivencia de la red en presencia de un fallo individual; Sin embargo, existen pocas técnicas, si alguna, para asegurar un nivel comparable de supervivencia en presencia de fallos múltiples.

- 15 Se ha realizado una cantidad significativa de investigación en supervivencia de redes en las redes ópticas de alta velocidad teniendo en cuenta los fallos de un componente individual, tales como la falta de un vínculo o de un nodo. Aunque la mayoría de requisitos de transporte son bien servidos, al proporcionar resiliencia frente a fallos individuales, existe la necesidad de proporcionar una resiliencia similar contra fallos múltiples, especialmente fallos dobles. Las tasas de cortes de fibras en algunas redes, así como las operaciones de mantenimiento periódicas, pueden crear situaciones que se modelan como fallos dobles y, más en general, múltiples. Además, puesto que las redes ópticas comprenden un número cada vez mayor de elementos de red, la probabilidad de que más de uno de esos
20 elementos fallen durante un corto intervalo de tiempo no es despreciable.

Además, cuando se produce un fallo individual, tal como un fallo de enlace, la recuperación del fallo se completa por lo general en unas pocas decenas de milisegundos. Sin embargo, la reparación real del enlace físico puede tardar entre unas pocas horas y unos pocos días. Durante este intervalo de tiempo, la probabilidad de un segundo fallo de enlace podría ser probable, lo que resulta en una probabilidad de escenario de fallo doble no despreciable.

- 25 Los "Esquemas de Supervivencia" en las redes ópticas de Multiplicación por División de Longitud de Onda ("WDM") se pueden caracterizar en una variedad de maneras. Por ejemplo, tales esquemas pueden ser de "extremo a extremo" (es decir, en base a trayecto) o "locales" (es decir, en base a enlace); "centralizados" o "distribuidos"; y "preplanificados" (es decir, orientados a la protección) o "dinámicos" (es decir, orientados a la restauración).

- 30 Los esquemas de supervivencia dinámicos (es decir, esquemas orientados a la restauración), puede acomodar fácilmente la ocurrencia de fallos múltiples en una red; sin embargo, estos esquemas ofrecen una conmutación muy lenta desde el trayecto fallido al trayecto de protección. Los esquemas de supervivencia basados en trayecto proporcionan protección contra múltiples (m) fallos, proporcionando a cada conexión un trayecto de trabajo y por lo menos m trayectos de protección. El problema con los esquemas basados en trayecto reside en la necesidad de calcular previamente los trayectos de respaldo de extremo a extremo, mientras se maximiza el uso compartido de los recursos de protección. Algoritmos heurísticos ambiciosos para calcular la cantidad de recursos de protección para superar los escenarios de fallo doble están disponibles, pero no son eficientes ni prácticos.

- 35 Los esquemas de supervivencia basados en enlace consiguen la protección redirigiendo el tráfico a lo largo de los nodos finales de una conexión fallida. Se han propuesto un cierto número de esquemas que proporcionan resiliencia contra fallos dobles en base a la protección del enlace. Es demostrable numéricamente que la provisión de recursos fácilmente disponibles contra todos los posibles fallos dobles se corresponde con un aumento significativo en el coste global de la red; por ejemplo, del orden de tres veces el costo de proporcionar recursos fácilmente disponibles contra todos los fallos individuales.

- 40 Otro enfoque consiste en proporcionar resiliencia contra cualquier fallo individual de tal manera que el número máximo de fallos dobles es protegido automáticamente. Con este enfoque, no es posible asegurar la fiabilidad contra todos los fallos dobles para cada demanda de conexión; sólo es posible minimizar el número de conexiones que se interrumpen después de la ocurrencia de un fallo doble.

- 45 Todavía otro enfoque está basado en la recuperación del bucle de retorno. Diferentes esquemas que apuntan a la protección contra fallos dobles en enlaces están disponibles. Otros esquemas propuestos son diferentes en la cantidad de señalización requerida. También hay esquemas que requieren la identificación de los enlaces fallidos, el conocimiento del orden en el que ocurrieron los fallos, y con el segundo fallo, la memoria del primer fallo. Otros esquemas requieren sólo el conocimiento de los nodos finales de los enlaces fallidos, con independencia de la secuencia de los fallos.

5 Los esquemas de protección basados en trayectos sufren un elevado incremento en la cantidad de recursos que deben ser reservados, incluso cuando se utiliza eficientemente la compartición de recursos de protección. La cantidad total de los recursos que tienen que ser aprovisionados para proporcionar resiliencia a todas las conexiones contra todos los fallos dobles es casi el doble de la cantidad total de recursos necesarios para proporcionar resiliencia a todas las conexiones contra fallos individuales. Este aumento de los costes es más pronunciado cuando se utilizan técnicas de trayectos dedicados.

10 Similares observaciones se pueden hacer con respecto a las técnicas basadas en enlaces. Además, mientras que las técnicas basadas en trayectos funcionan en la capa de Canal Óptico en ITU G. 872, las técnicas basadas en enlaces se implementan en la capa de la Sección Múltiple Óptica ("OMS"), lo que hace más difícil diferenciar entre los requisitos de fiabilidad de los diversos trayectos luminosos.

El documento "Restauración Distribuida de la Red de Transporte", por W. Grover, Gestión de Redes en el Siglo XXI, 1994, páginas 337 417, XP 000783805 desvela aspectos de la restauración distribuida de las redes ópticas de transporte.

Sumario de la invención

15 Por consiguiente, la presente invención proporciona ventajosamente un procedimiento y aparato de aprovisionamiento dinámico de conexiones fiables en presencia de fallos múltiples en una red óptica.

20 Una realización es un procedimiento para la asignación de trayectos de protección después de un fallo en una red óptica. El procedimiento comprende, en respuesta a un fallo en un trayecto luminoso activo, conmutar el tráfico en el trayecto luminoso activo a un trayecto de protección; con posterioridad a la conmutación, identificar todos los trayectos luminosos activos en la red que ya no tienen un trayecto de protección disponible; e intentar asignar un trayecto de protección a cada uno de los trayectos luminosos activos identificados.

25 Otra realización es un procedimiento de asignación de trayectos de protección en una red óptica. El procedimiento comprende, en respuesta a un fallo en la red, para cada trayecto luminoso activo afectado por el fallo, conmutar el tráfico desde el trayecto luminoso activo afectado a un trayecto de protección del mismo; con posterioridad a la conmutación, clasificar como huérfanos a todos los trayectos luminosos activos en la red que ya no tienen un trayecto de protección disponible como un resultado del fallo; e intentar asignar un trayecto de protección a cada uno de los huérfanos cada vez que un trayecto luminoso activo es liberado en la red.

30 Otra realización es un sistema para asignar trayectos de protección después de un fallo en una red óptica. El sistema comprende medios que responden a un fallo en un trayecto luminoso activo para conmutar el tráfico en el trayecto luminoso activo a un trayecto de protección; medios para identificar todos los trayectos luminosos activos en la red que ya no tienen un trayecto de protección disponible con posterioridad a la conmutación; y medios para intentar asignar un trayecto de protección a cada uno de los trayectos luminosos activos identificados cada vez que un trayecto luminoso activo es liberado en la red.

Breve descripción de los dibujos

35 Una comprensión más completa de la presente invención se puede obtener por referencia a la siguiente descripción detallada cuando se toma en conjunto con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama de bloques funcional de una red óptica para implementar una realización;

Las figuras 2A 2E ilustran el concepto de "huérfanos" en relación con un esquema de Re Encaminamiento de Huérfanos ("ORR") de una realización;

40 La figura 3 ilustra un diagrama de flujo de la operación de una realización del esquema de ORR en el que se utiliza un esquema de Trayecto de Protección Dedicado ("DPP") para calcular el trayecto de protección para cada trayecto de trabajo;

La figura 4 ilustra la operación de una realización de ORR, en el que un esquema de Trayecto de Protección Compartido basado en celda ("SPP") se utiliza para calcular el trayecto de protección para cada trayecto de trabajo; y

45 Las figuras 5A y 5B ilustran, respectivamente, una primera fase y una segunda fase de la realización de la figura 4 para identificar los distintos tipos de huérfanos.

Descripción detallada de los dibujos

En los dibujos, los elementos parecidos o similares se designan con números de referencia idénticos en las distintas vistas de los mismos, y los diversos elementos representados no están dibujados a escala necesariamente.

La figura 1 ilustra una red óptica 100 que comprende una pluralidad de nodos de borde 102 y de nodos intermedios 103 interconectados por enlaces 104. Aunque no se ilustra en la figura 1, en una realización, cada enlace 104 corresponde a un par de fibras, una fibra para cada dirección de propagación, y cada fibra pueden transportar hasta dieciséis longitudes de onda.

5 En general, una realización es un esquema de protección, que se denomina en la presente memoria descriptiva como "Re Encaminamiento de Huérfanos" ("ORR"), que se puede implementar en una red óptica, tal como la red 100. Como se ha indicado más arriba, los esquemas convencionales de protección contra fallos múltiples proporcionan recursos de reserva que se utilizarán en caso de fallos dobles simultáneos de elementos de red, lo cual implica un aumento significativo en el coste global de la red. Con el ORR, los recursos de respaldo son provisionados para asegurar la supervivencia contra cualquier fallo individual, utilizando técnicas convencionales de protección. Como se describirá en mayor detalle a continuación, tras la ocurrencia de un primer fallo, cada trayecto luminoso activo, o de trabajo, afectado por el fallo recurrirá a sus recursos de protección, manteniendo el servicio sin que sea afectado. Como resultado, algunos de los trayectos luminosos activos no tendrán suficientes recursos de protección para proporcionar capacidad de supervivencia contra un fallo adicional. Cualquier trayecto de trabajo que no tenga los recursos suficientes para proporcionar protección contra fallos de supervivencia se denominará en la presente memoria descriptiva como "huérfano".

Las figuras 2A 2E ilustran el concepto de huérfanos. Haciendo referencia a la figura 2A, un primer trayecto 200 que interconecta dos nodos de borde 202a, 202b, a través de los nodos 204a 204c y de los enlaces 206a 206d, es un trayecto de trabajo ("L_w"). Un segundo trayecto 210 entre los dos nodos de borde 202a, 202b, que comprende los nodos 214a 214c y los enlaces 216a 216d, se designa como un trayecto de protección dedicado L_p para el trayecto de trabajo 200.

Se supondrá a modo de ejemplo, que un fallo ocurre en alguna parte a lo largo del trayecto de trabajo 200, por ejemplo, en el enlace 206b, como se indica en la figura 2B con una "X" a través de ese enlace. Como se ilustra en la figura 2B, en este punto, el tráfico en el trayecto fallido 200 se conmuta al trayecto de protección 210, que se convierte en un trayecto de trabajo L_w y los recursos que comprende el trayecto 200 son liberados. Se reconocerá que el fallo del trayecto 200 se puede producir por el fallo de cualquiera de los nodos 204a 204c o de los enlaces 206a 206d. Como será evidente por la figura 2B, el trayecto 210, que ahora es un trayecto de trabajo, es un huérfano, debido a que no hay recursos de protección asignados al mismo.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 2A, se supondrá que, en lugar de un fallo que se produce en el trayecto de trabajo 200, se produce un fallo en el trayecto de protección 210, por ejemplo, en el enlace 216c como se indica en la figura 2C con una "X" a través de ese enlace. En este caso, como se ilustra en la figura 2C, los recursos que componen el trayecto de protección 210 serán liberados y el trayecto 200, que sigue siendo un trayecto de trabajo, estará huérfano porque no tiene recursos de protección asignados al mismo.

Las figuras 2D 2E ilustran otra forma en la que un trayecto de trabajo existente puede ser huérfano. La figura 2D es idéntica a la figura 2A excepto en que se ha establecido un trayecto de trabajo adicional 220 ("L_{w2}") entre los nodos de borde 202a, 202b. El segundo trayecto de trabajo 220 comprende los nodos 224a 224c y los enlaces 226a 226d. Se supondrá a modo de ejemplo que al menos una porción de los recursos que comprenden el trayecto 210 han sido designados como recursos de protección para el trayecto de trabajo 220. Se supone ahora que se produce un fallo en el trayecto 200, por ejemplo, en el enlace 206b. En este punto, como se ha descrito más arriba con referencia a la figura 2B, y tal como se ilustra en la figura 2E, el tráfico desde el trayecto de trabajo 200 se conmuta al trayecto de protección 210, que de ese modo se convierte en un trayecto de trabajo, y los recursos que comprende el trayecto de trabajo 200 son liberados. Como se ha indicado previamente, esto se traduce en que el trayecto 210 queda huérfano porque no tiene recursos de protección asignados. Además, debido a que el trayecto 210 es ahora un trayecto de trabajo, el trayecto 220 ha perdido su trayecto de protección (que comprende al menos una porción del trayecto 210), el trayecto 220 es un huérfano.

En general, un "conjunto de huérfanos" contiene conexiones que son vulnerables a un segundo fallo, es decir, son huérfanas. Como se describe con mayor detalle a continuación, el esquema de ORR intenta asignar los recursos de manera oportuna a las conexiones en el conjunto de huérfanos con el fin de reducir al mínimo el período de tiempo durante el cual la red es vulnerable. El esquema de ORR se aprovecha de la naturaleza dinámica de una red óptica.

50 En particular, inmediatamente después de un primer fallo, se hacen intentos para tratar de localizar los recursos de protección para las conexiones huérfanas utilizando los recursos de red disponibles y los esquemas existentes para calcular los trayectos de protección para cada uno de los trayectos de trabajo en la red. Cada vez que una conexión de red activa es liberada, se realiza un intento posterior para encontrar recursos de protección a los huérfanos para los que no se han encontrado tales recursos. Durante este período de tiempo, y antes de que se produzca un segundo fallo, no se interrumpirá el tráfico.

El esquema de ORR trata de fallos múltiples de enlace que no se producen simultáneamente en una red, sino que están separados por un intervalo de tiempo T . El supuesto subyacente, por lo tanto, es que la probabilidad de tener dos fallos dentro de un intervalo de tiempo $t < T$ es insignificante.

5 Cualquier esquema de protección estándar que proporcione fiabilidad contra un fallo individual en la red se puede ampliar mediante el esquema de ORR que se describe en la presente memoria descriptiva. Con propósitos de ejemplo en la presente memoria descriptiva, una aplicación del esquema de ORR en el que se utiliza un esquema de Protección del Trayecto Dedicado ("DPP") para calcular el trayecto de protección para cada trayecto de trabajo se describirá en primer lugar. Usando el esquema de DPP, cada conexión es aprovisionada con un trayecto de trabajo y un trayecto de protección dedicado con discontinuidad de ruta, como se ilustra en la figura 2A con el trayecto 200 que comprende el trayecto de trabajo y el trayecto 210 que comprende un trayecto de protección dedicado con discontinuidad de ruta para el trayecto de trabajo 200. El esquema de DPP asegura el 100% de supervivencia frente a cualquier fallo individual del elemento de red; la mejora de ORR al esquema de DPP como se describe en la presente memoria descriptiva y a continuación proporciona capacidad de supervivencia frente a fallos múltiples de elementos de red que se producen dentro de un intervalo de tiempo $t > T$.

15 La figura 3 ilustra un diagrama de flujo de la operación de una realización del esquema de ORR en el que el esquema de DPP se utiliza para calcular el trayecto de protección para cada trayecto de trabajo. En el bloque 300, en respuesta a un primer fallo que interrumpe un enlace L , por ejemplo, los trayectos de trabajo interrumpidos (es decir, aquellos trayectos que atraviesan el enlace L) son conmutados a sus respectivos trayectos de protección. En el bloque 302, los recursos asociados con los trayectos de trabajo y de protección que se encaminan a lo largo del enlace L son liberados, puesto que esos trayectos ya no pueden ser utilizados. En el bloque 304, las conexiones huérfanas son identificadas e incluidas en un conjunto de huérfanos. En una implementación convencional de DPP, dos tipos de huérfanos pueden resultar de un fallo: (1) las conexiones cuyos trayectos de trabajo son encaminados a lo largo del enlace L y (2) las conexiones cuyos trayectos de protección son encaminados a lo largo del enlace L .

25 En el bloque 306, los sucesivos intentos para encontrar los recursos de protección para todas las conexiones huérfanas en el conjunto de huérfanos se realizan hasta que tales recursos se encuentran. Los intentos del bloque 306 se realizan usando los recursos de red disponibles y los esquemas existentes para calcular los trayectos de protección para cada uno de los trayectos de trabajo en la red. En particular, un primer intento de encontrar recursos de protección para cada huérfano se realiza inmediatamente después de la ocurrencia del primer fallo. Los sucesivos intentos se activan cada vez que hay una liberación de la conexión, haciendo disponibles nuevos recursos.

30 Un esquema protección de trayecto compartido basada en celda ("SPP"), tal como el descrito en el documento de S. Darisala, et al. "Sobre la convergencia del protocolo de publicidad de estado de enlace en redes en malla con capacidad de supervivencia WDM" ONDM '03, 2003 (en la presente memoria descriptiva y a continuación denominado "Darisala et al.") también se puede utilizar para calcular el trayecto de protección en relación con la aplicación del esquema de ORR.

35 El esquema de SPP basado en celda asigna a cada conexión un trayecto de trabajo y un trayecto de protección con discontinuidad de ruta. En contraste con el esquema de DPP, los trayectos de protección no son dedicados; por el contrario, los recursos de protección se pueden compartir entre diferentes trayectos de trabajo, siempre y cuando los trayectos de trabajo correspondientes tengan discontinuidad de ruta. Esta es la situación que se ilustra en las figuras 2D y 2E.

40 La implementación del esquema convencional de SPP basado en celda proporciona capacidad de supervivencia contra fallos dobles que no afectan de manera simultánea a los trayectos de trabajo y de protección aprovisionados a una conexión o que no afectan de forma simultánea a dos trayectos que comparten los recursos de protección comunes.

45 La figura 4 ilustra la operación de una realización de ORR, en la que se utiliza el esquema de SPP basado en celda para calcular el trayecto de protección para cada trayecto de trabajo. En el bloque 400, tras la ocurrencia de un primer fallo que interrumpe un enlace L , los trayectos de trabajo interrumpidos son identificados y el tráfico es conmutado a los trayectos de protección correspondientes. En el bloque 402, los recursos asociados con los trayectos de trabajo y de protección que son encaminados a lo largo del enlace L son liberados, puesto que esos trayectos ya no se pueden utilizar. En el bloque 404, las conexiones huérfanas son identificadas e incluidas en un conjunto de huérfanos.

50 En una implementación convencional de SPP, en lugar de dos, hay tres tipos de huérfanos que pueden resultar de un fallo: (1) conexiones cuya trayecto de trabajo está encaminado a lo largo del enlace L ("huérfanos de Tipo 1"); (2) conexiones cuyo trayecto de protección está encaminado a lo largo del enlace L ("huérfanos de Tipo 2"); y (3) conexiones que no están directamente afectadas por el fallo sino que son recursos de protección aprovisionados que son compartidos con conexiones cuyo trayecto de trabajo está encaminado a lo largo del enlace fallido L , haciendo que sus recursos de protección no se encuentren disponibles ("huérfanos de Tipo 3"). En el bloque 406, se realizan los intentos para encontrar los recursos de protección para todas las conexiones huérfanas en el conjunto de huérfanos.

fanos. Como se ha señalado más arriba, los intentos del bloque 406 se realizan utilizando los recursos de red disponibles y los esquemas existentes para calcular los trayectos de protección para cada uno de los trayectos de trabajo en la red.

5 El intercambio de recursos complica la identificación y el mantenimiento de las conexiones huérfanas en el esquema de SPP. El procedimiento que se describe en la presente memoria descriptiva y a continuación con referencia a las figuras 5A y 5B se utiliza para determinar qué conexiones son de hecho huérfanas que se deben incluir en el conjunto de huérfanos (bloque 404). El procedimiento está dividido en dos fases; la primera fase detecta los huérfanos de Tipo 1 y los huérfanos de Tipo 3, mientras que la segunda fase detecta los huérfanos de Tipo 2.

10 La figura 5A ilustra la primera fase del procedimiento del bloque 404. En la etapa 500, se identifica un conjunto de conexiones WP cuyos trayectos de trabajo respectivos w^* se ven afectados por el fallo. En el bloque 502, para cada conexión en WP , el trayecto de protección respectivo p^* es activado y el tráfico se conmuta desde w^* a p^* . Estas conexiones son huérfanas de Tipo 1. En el bloque 504, se actualiza una base de datos de celdas y los recursos utilizados por los trayectos de trabajo w^* son liberados utilizando el procedimiento descrito en Darisala et al. En el bloque 508, los recursos de protección utilizados por las conexiones en WP son compartidos entre un conjunto de conexiones S^* . Cada conexión incluida en el conjunto S^* es una cuyo trayecto de trabajo y trayecto de protección no están directamente afectados por el fallo, pero cuyo trayecto de protección comprende los recursos que ya no están disponibles. Las conexiones en S^* son huérfanas de Tipo 3.

20 Cada enlace k a lo largo de cada trayecto de protección activado p^* necesita ser comprobado. Como los recursos de protección son utilizados por una conexión, no pueden ser utilizados por otras conexiones en S^* . Si una cantidad suficiente de ancho de banda adicional está disponible para proporcionar nuevos recursos de protección a las conexiones en S^* , después del primer fallo, entonces, se asigna la cantidad apropiada de ancho de banda. De lo contrario, esas conexiones se insertan en el conjunto de huérfanos.

25 La figura 5B ilustra la segunda fase. En el bloque 520, se identifica cada trayecto de protección que es afectado por el fallo. En el bloque 522, los recursos asociados a los trayectos de protección afectados identificados en el bloque 520 son liberados como se describe en Darisala et al. En el bloque 524, el trayecto de trabajo correspondiente a cada trayecto de protección afectado identificado en el bloque 520 se inserta en el conjunto de huérfanos. Estas conexiones son huérfanas de Tipo 2.

30 Se debe hacer notar que es posible introducir en el conjunto de huérfanos las prioridades entre las conexiones, permitiendo de este modo que se hagan intentos de encontrar trayectos para las conexiones con requisitos de fiabilidad más rigurosos antes de que se hagan intentos similares con respecto a las conexiones con requisitos de fiabilidad inferiores. Además, los recursos de reserva aprovisionados estratégicamente que no se utilizan para trayectos de trabajo o de protección pueden ser utilizados para acelerar el proceso de ORR.

35 Varias ventajas sobre la técnica anterior son realizadas por las realizaciones que se han descrito en la presente memoria descriptiva. Tales ventajas incluyen que el esquema de ORR se puede basar en cualquier esquema de protección basado en trayecto y puede soportar versiones mejoradas de estos sistemas. Tales modificaciones incluyen proporcionar recursos en espera adicionales en los enlaces críticos con el fin de reducir el tiempo de vulnerabilidad de una red. Estos recursos en espera adicionales representan un equilibrio entre el costo de los recursos aprovisionados y el grado de fiabilidad que ofrecen.

40 El esquema de ORR propuesto ofrece un compromiso efectivo entre la preparación en la respuesta al fallo, típico de las técnicas de protección, y la eficiencia en la utilización de recursos, típico de las técnicas de restauración. El enfoque propuesto se basa en un paradigma de dos pasos. La primera etapa consiste en preasignar los recursos en espera que aseguren una garantía de protección del 100% contra cualquier fallo individual. La segunda etapa se produce después de la ocurrencia de un fallo y consiste en la reconfiguración de la red para proporcionar recursos para asegurar la supervivencia contra un fallo posterior que se produce una vez transcurrido un intervalo de tiempo predeterminado $t > T$.

45 En base a la descripción detallada que antecede, debe ser fácilmente evidente que la presente invención proporciona ventajosamente un procedimiento y un aparato para el aprovisionamiento dinámico de conexiones fiables en presencia de fallos múltiples en redes ópticas.

50 Se cree que la operación y la construcción de la presente invención serán evidentes por la descripción detallada que se ha expuesto más arriba. Mientras que las realizaciones ejemplares de la invención mostrada y descrita se han caracterizado como preferidas, se entenderá fácilmente que diversos cambios y modificaciones pueden hacerse en las mismas sin apartarse del alcance de la presente invención como se define en las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de asignación de trayectos de protección después de un fallo en una red óptica (100), comprendiendo el procedimiento:
5 como respuesta a un fallo en un trayecto luminoso activo, conmutar (300) el tráfico en el trayecto luminoso activo a un trayecto de protección;

el citado procedimiento **se caracteriza por**: con posterioridad a la conmutación después del fallo, identificar (304) todos los trayectos luminosos activos en la red que ya no tienen un trayecto de protección disponible; e intentar (306) asignar un trayecto de protección a cada uno de los trayectos luminosos activos identificados.
- 10 2. El procedimiento de la reivindicación 1 que comprende, además, en respuesta a la conmutación (300), la liberación (302) de los recursos asociados con el trayecto luminoso activo.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el intento (306) comienza inmediatamente después de la identificación (304) y se lleva a cabo cada vez que un trayecto luminoso activo es liberado en la red (100).
4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el fallo afecta a más de un enlace activo.
- 15 5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que la conmutación (300) se lleva a cabo individualmente en cada uno de los enlaces activos afectados.
6. Un sistema de asignación de trayectos de protección después de un fallo en una red óptica (100), comprendiendo el sistema: medios que responden a un fallo en un trayecto luminoso activo para conmutar (300) el tráfico en el trayecto luminoso activo a un trayecto de protección; **el sistema se caracteriza por**: medios para identificar (304) todos los trayectos luminosos activos en la red que ya no tienen un trayecto de protección disponible posteriormente a la conmutación después del fallo; y medios para intentar (306) asignar un trayecto de protección a cada uno de los trayectos luminosos activos identificados cada vez que un trayecto luminoso activo es liberado en la red (100).
- 20 7. El sistema de la reivindicación 6, que comprende, además, medios que responden a la conmutación (300) para liberar (302) los recursos asociados con el trayecto luminoso activo.
8. El sistema de la reivindicación 6, en el que el fallo afecta a más de un enlace activo.
9. El sistema de la reivindicación 8, en el que la conmutación (300) se lleva a cabo individualmente para cada uno de los enlaces activos afectados.
- 25 10. El sistema de la reivindicación 6, que comprende, además: medios para identificar todos los trayectos de protección afectados por el fallo; y medios para liberar los recursos de todos los trayectos de protección identificados.
- 30

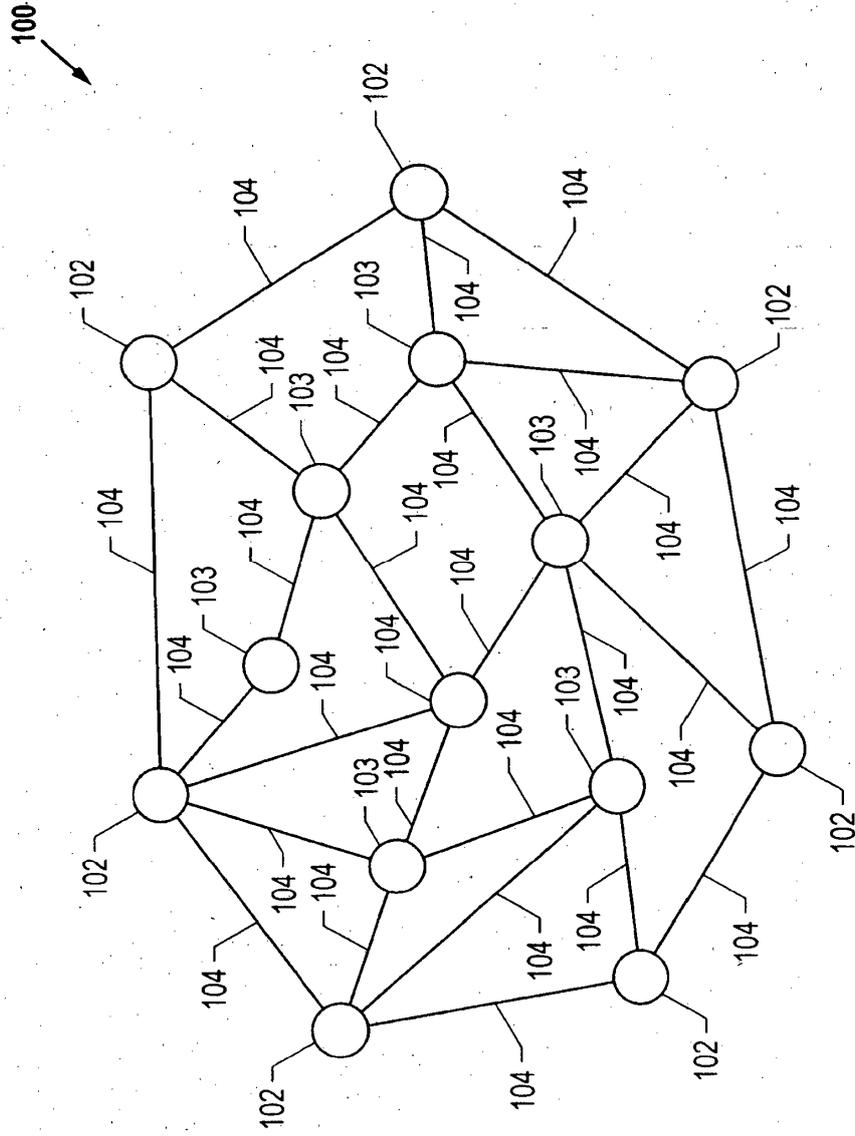


FIG. 1

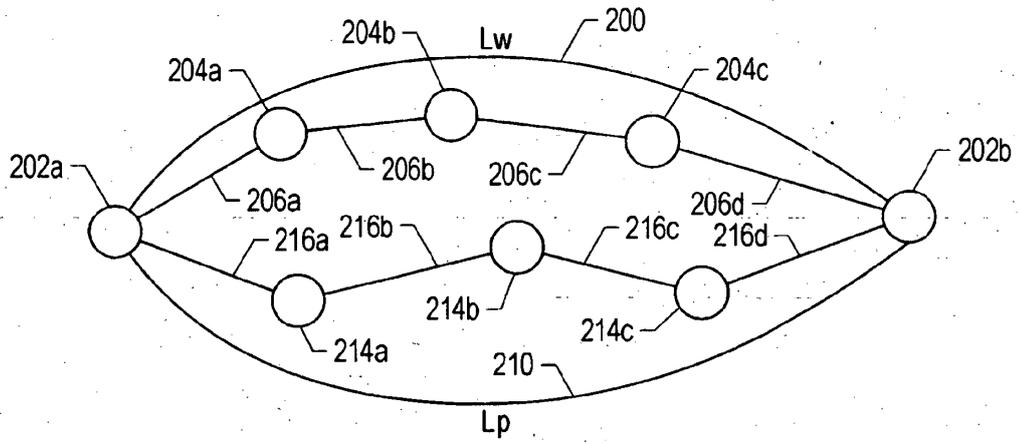


FIG. 2A

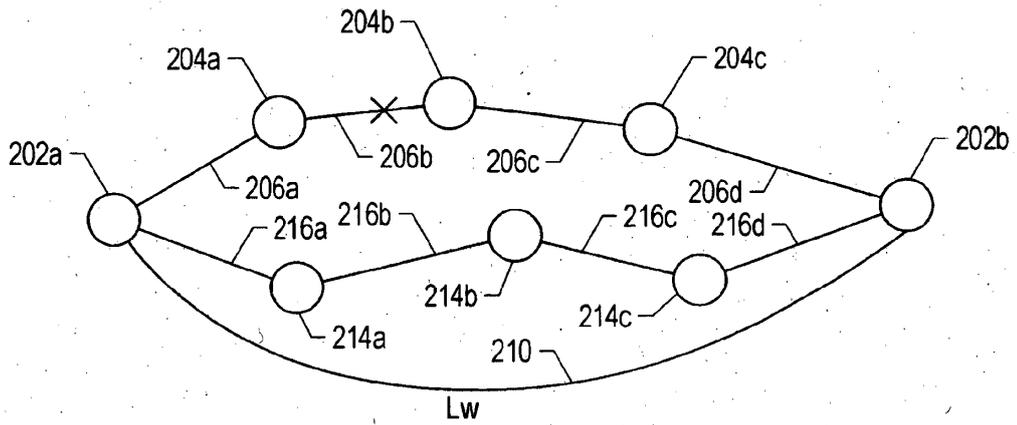


FIG. 2B

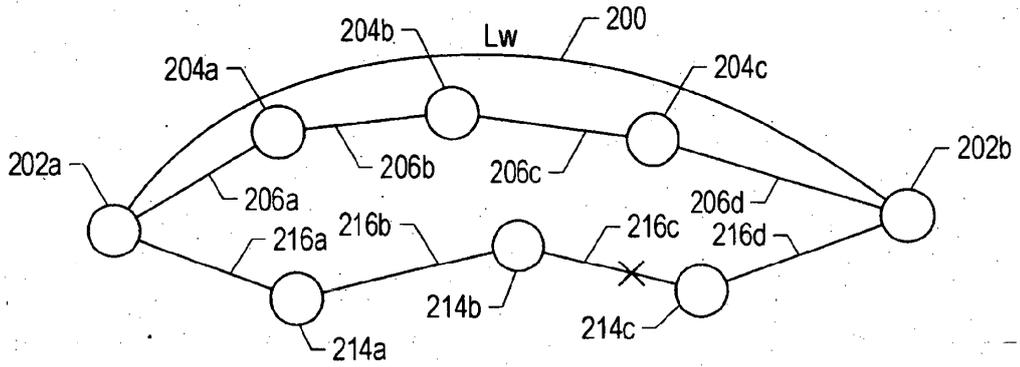


FIG. 2C

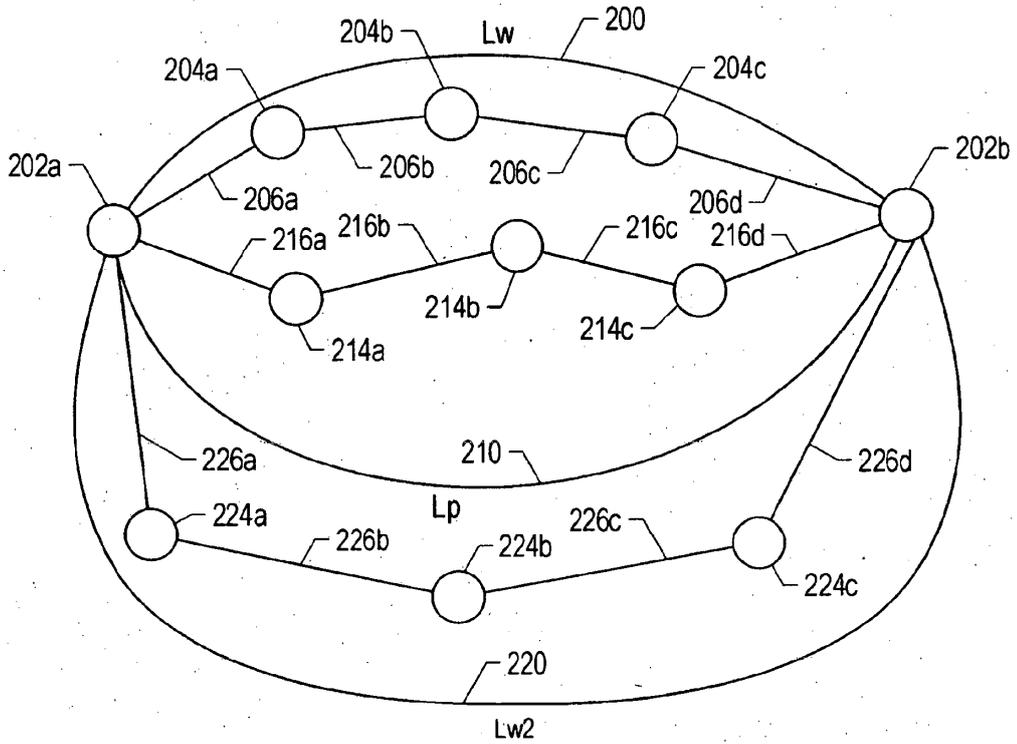


FIG. 2D

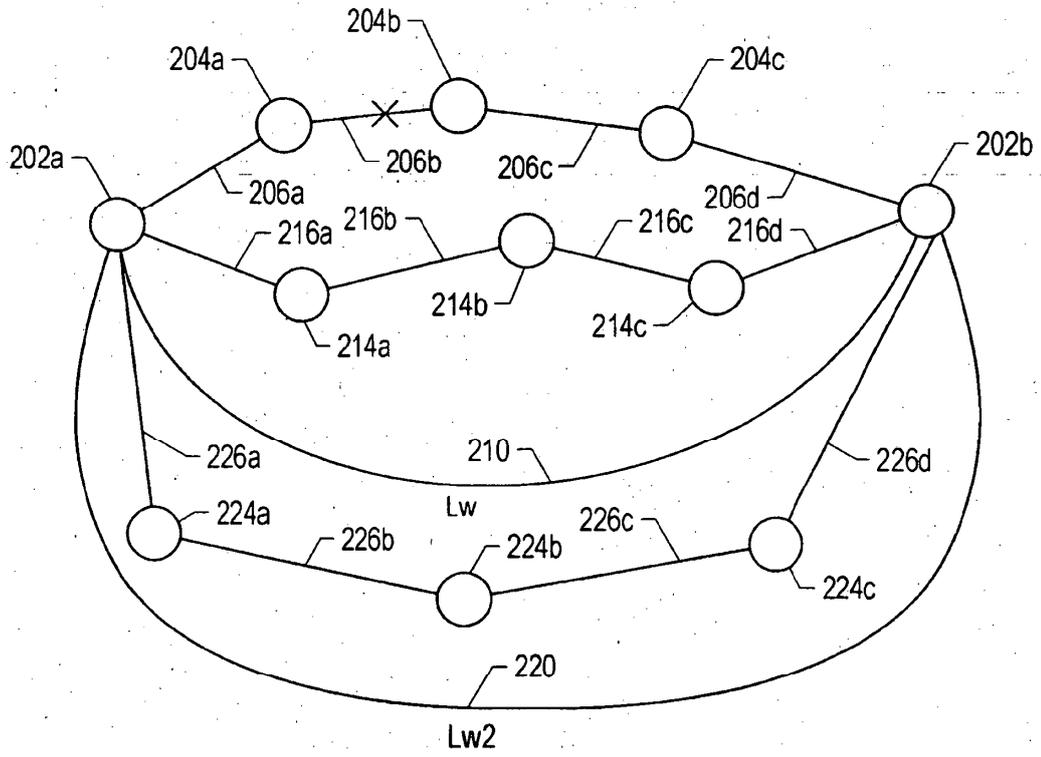
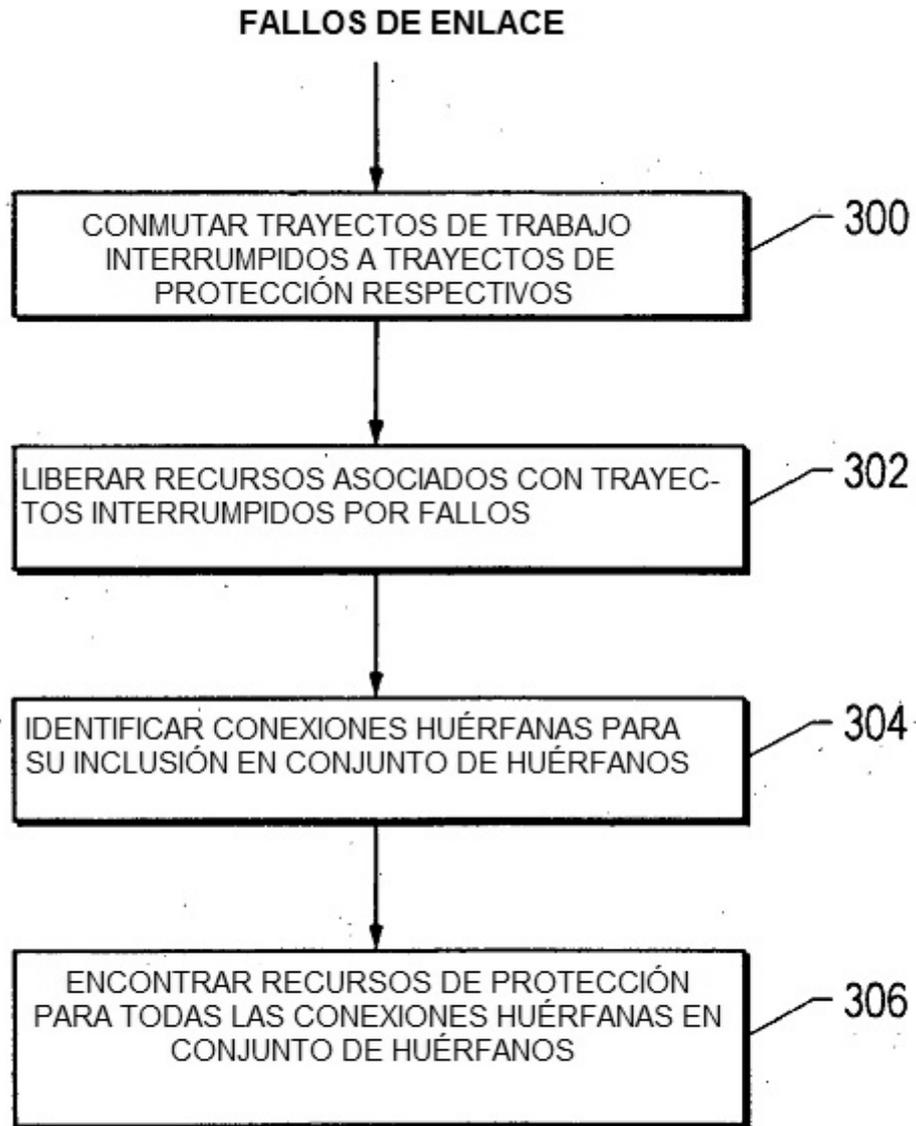


FIG. 2E



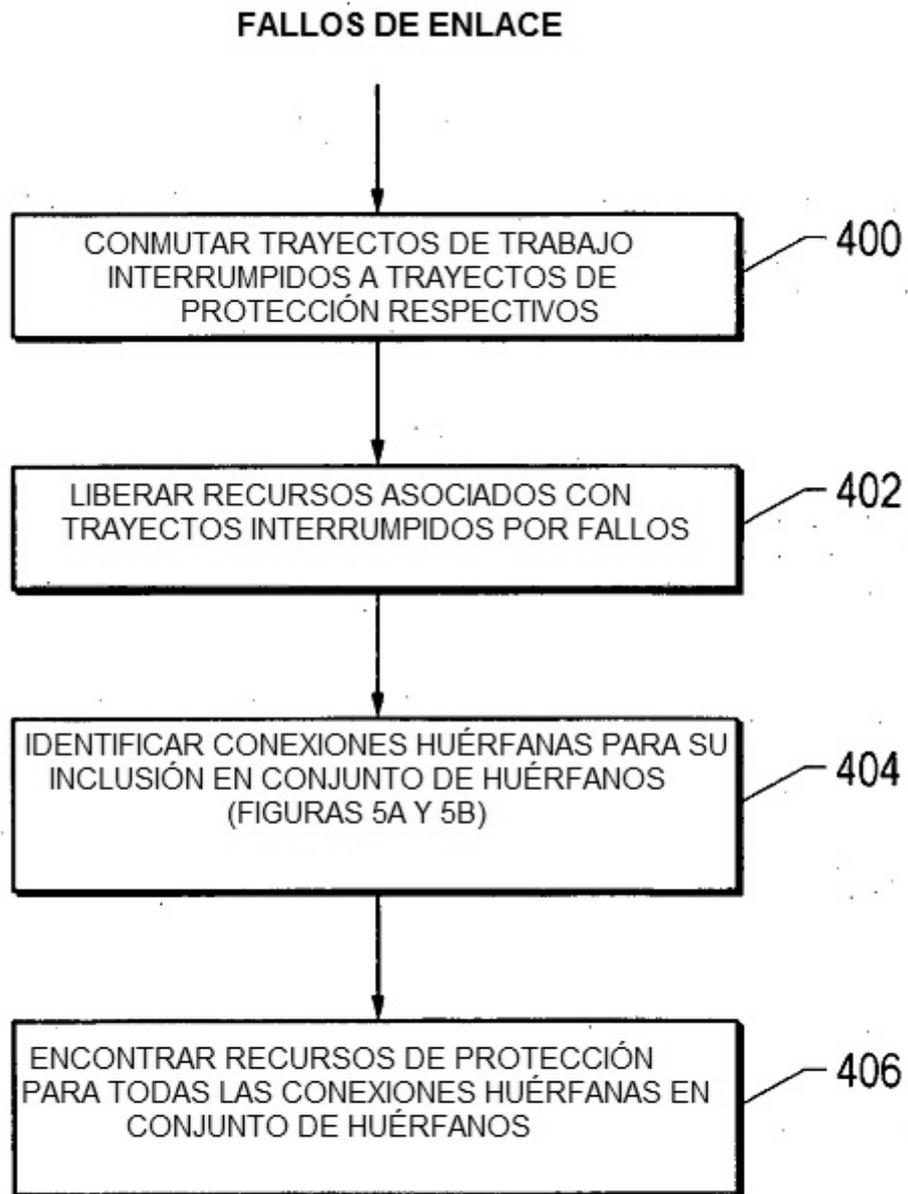


FIG. 4

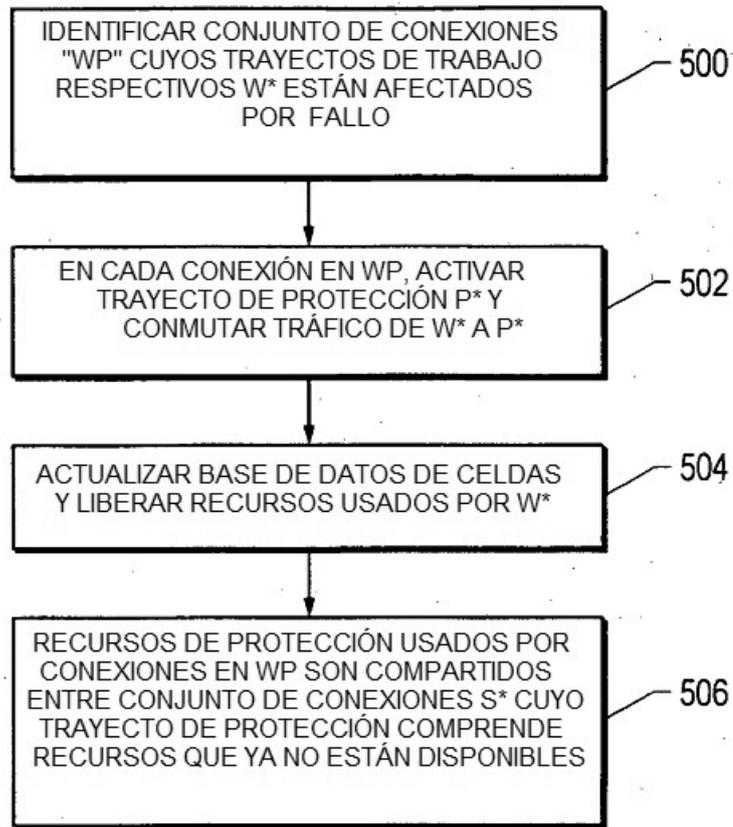


FIG. 5A

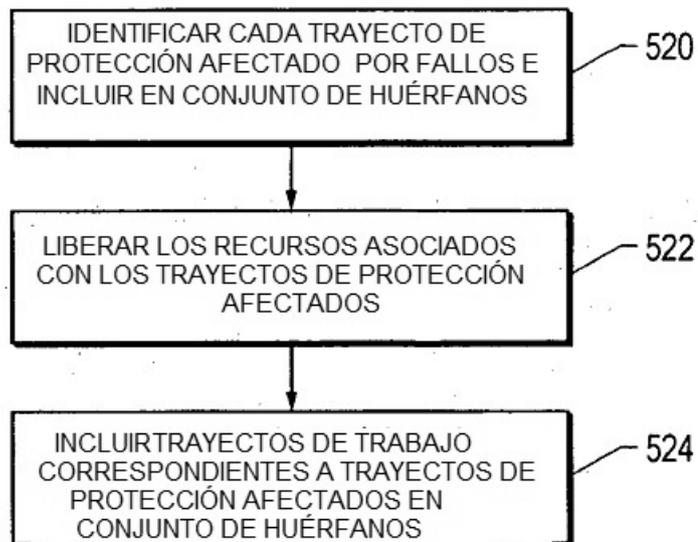


FIG. 5B