

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 924**

51 Int. Cl.:

H04L 12/56 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2010 E 10195890 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2012 EP 2337284**

54 Título: **Procedimiento de enrutado fiable**

30 Prioridad:

21.12.2009 FR 0906215

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

22.03.2013

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
45, rue de Villiers
92200 Neuilly Sur Seine, FR**

72 Inventor/es:

**TESSIER, OLIVIER y
PEREZ, FRÉDÉRIC**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 398 924 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 de enrutado fiable

El objetivo de la presente invención se refiere a un procedimiento de enrutado dinámico o protocolo de enrutado utilizado en el campo de las redes de baja tasa de transmisión que funcionan en intervalo de 30 MHz – 600 MHz.

- 5 El procedimiento de acuerdo con la invención se utiliza por ejemplo en unos nodos que interconectan varias redes físicas diferentes, en la que algunas son de baja tasa de transmisión y gran latencia, como la redes de radio VHF (Very High Frequency).

El protocolo de acuerdo con la invención del procedimiento de enrutado se puede utilizar en cualquier red de transmisión UHF, VHF u otra.

- 10 En el campo técnico de la redes de comunicación, uno de los problemas que se encuentran es hallar los mecanismos de intercambio entre enrutadores que sean a la vez reactivos y económicos en cuanto a banda pasante utilizada. La dificultad consiste en efecto en establecer rápidamente la topología de los enrutadores, tanto en fase de establecimiento como en la fase de modificación de los componentes de la red (desaparición, aparición de enrutadores, cambio de conexiones a la red de los enrutadores), sin que se inunden las redes de intercambios del protocolo que podrían consumir una parte importante de la banda pasante disponible.

- 15 El estado de la técnica conocido por el Presente Solicitante sobre este objetivo se refiere principalmente a los protocolos de enrutado utilizados sobre el protocolo de Internet (IP en su abreviatura anglosajona) que se define por ejemplo en las RFC (Request for Comment) que es un conjunto de documentos que hacen referencia a la Comunidad de Internet y que describen, especifican, ayudan a la implementación, estandarizan y debaten sobre la mayoría de las normas, estándares, tecnologías y protocolos ligados a Internet y a las redes en general. Entre estos documentos, se pueden citar los protocolos experimentales definidos en el marco de los grupos de trabajo sobre las redes móviles o Mobile Ad Hoc Networks, conocidos por los especialistas en la materia, o incluso los protocolos estándar utilizados para unas interconexiones de redes cableadas.

- 20 A pesar de la eficacia de estos protocolos, las topologías de interconexión de las redes tácticas actualmente conocidas en el campo militar presentan particularmente como inconveniente presentar una redundancia de los nodos entre redes y de las redes entre nodos, lo que genera un incremento de los intercambios del protocolo.

- 25 En el caso de las redes de baja tasa de transmisión (desde 1 kbit/s a algunas decenas de kbits/s), los protocolos existentes y conocidos para el experto en la materia, no son conocidos por optimizar la reducción de la cantidad de información del protocolo intercambiada, necesaria para un funcionamiento correcto de las redes de baja tasa de transmisión. Estos protocolos saturan en general por tanto la banda pasante de las redes de radio VHF y en menor medida la de las redes UHF. Igualmente, el no tener en cuenta unos conceptos de redes paralelas o redundantes entre nodos, entraña unos fenómenos de avalancha en ciertos protocolos, lo que provoca un tráfico importante.

- 30 Los protocolos evocados anteriormente no permiten por lo tanto realizar una economía de la banda pasante. Por otro lado, el riesgo de una fuerte tasa de pérdidas de paquetes potenciales no es tenido en cuenta por los protocolos existentes. Estos protocolos no permiten por lo tanto obtener una convergencia rápida mientras intercambian una reducida cantidad de informaciones.

La solicitud de Patente WO 2008/055539 divulga una red de dominio múltiple en la que cada dominio de la red recoge las informaciones de enrutado en el interior del dominio y genera una vista reducida de esta información a disposición de los otros dominios de la red.

- 35 La solicitud de patente WO 055539 describe un procedimiento en el que los usuarios del dominio recogen unas informaciones de enrutado en el interior del dominio y cada dominio utiliza esta información de enrutado con una información "reducida" del enrutado de los otros dominios para formar una visión lógica de la red con el fin de decidir la ruta a utilizar.

- 40 La patente US 6 069 895 divulga una arquitectura y unos mecanismos internos de un enrutador y las relaciones entre topología, tabla de enrutado y retransmisión.

La patente EP 1 189 384 divulga un procedimiento en el que las transmisiones son periódicas.

Para la descripción de la invención se utilizarán las definiciones siguientes:

Forma de onda:

Conjunto constituido por una capa lógica y física que permite enviar unas informaciones a distancia, de modo inalámbrico. Éste incluye la codificación de las informaciones sobre la vía de radio así como los protocolos de acceso al medio y eventualmente los protocolos de enrutado internos.

Medio cableado:	Conjunto constituido por una capa lógica y física que permite enviar unas informaciones a distancia, por cables.
Medio físico:	Término genérico que designa una forma de onda o un medio cableado.
Red de transmisión:	Par (medio físico, elementos de configuración) que permite a todos los poseedores de un par dada comunicar potencialmente entre sí. Un poseedor de ese tipo se denomina miembro de la red.
Red elemental:	Conjunto de miembros de una red de transmisión que están conectados en un instante t.
FORWARDER:	Función que tiene como papel reenviar los datos entre unas aplicaciones locales y unas redes elementales, y entre unas redes elementales. El "forwarder" está encargado de encontrar el próximo NIR o la aplicación local hacia la que enviar los datos; la tarea asociada se denomina "forwarding".
NIR:	Nodo de Interconexión de la Red. Designa toda entidad funcional que asegura las funciones necesarias para la transmisión de datos de, y hacia, una o varias redes elementales.
Acceso a la red de transmisión (ART) que está encargado de transmitir sobre un medio físico los datos hacia el próximo NIR.	Capa de adaptación encargada de completar los servicios ofrecidos por el medio físico, y/o realizar las adaptaciones funcionales entre los servicios requeridos por el FORWARDER y aquellos ofrecidos por el medio físico. Un ART permite a un nodo NIR enviar/recibir unos datos sobre/desde la red física correspondiente.
Vecindad (de un NIR N):	Conjunto de los NIR que son localizables por N atravesando una y sólo una red elemental.
Sig_Neighborhood:	Mensaje de señalización de FIRE que contiene principalmente la Vecindad de un NIR.
Reenvío de Sig_Neighborhood (RSN):	NIR que debe reenviar unos Sig_Neighborhood entre ciertos de sus vecinos.

El protocolo de enrutado de acuerdo con la invención se basa particularmente en cuatro principios

- 1) la recuperación de las topologías de los medios,
- 2) una difusión fiabilizada,
- 3) una gestión de los nodos de los destinatarios y no de las interfaces de salida,
- 4) una emisión pertinente de información (no emisión de la información conocida por los nodos vecinos).

Estos principios se explicarán más adelante en la descripción. Se utilizará para designar un mismo objeto, a saber el procedimiento de enrutado fiabilizado de acuerdo con la invención, la palabra procedimiento o la expresión "protocolo FIRE", o incluso "protocolo".

La invención se refiere a un procedimiento de enrutado fiabilizado en el seno de un sistema que comprende una o varias redes compuestas de varios nodos ligados entre sí por unos medios de comunicación, comprendiendo dicho sistema un acceso a la red de transmisión o ART encargado de transmitir sobre un medio físico los datos hacia un nodo próximo de interconexión de la red, NIR, utilizando dicho sistema un protocolo de enrutado de estados de enlace que constituyen la topología de los nodos en el seno del sistema de nodos, caracterizado porque dicho procedimiento de enrutado determina la topología lógica de los nodos de interconexión de la red NIR utilizando en combinación los módulos siguientes:

- Módulo 11 NIR_TOPO_01: Descubrimiento de la Vecindad gracias a las funciones intrínsecas de las redes físicas
- Módulo 12: NIR_TOPO_02 figura 5: Afinado de las informaciones suministradas por los ART para mejorar la estabilidad del **protocolo**
- Módulo 13: NIR_TOPO_03: principio de distribución de las vecindades hacia el conjunto de los NIR
- Módulo 14: NIR_TOPO_04: Reenvío de las informaciones asociadas a un nodo (vecinos, enlaces y otras características) Sig_Neighborhoods por un subconjunto de los nodos NIR (reenvío de Sig_Neighborhood).
- Módulo 15 NIR_TOPO_05: Fiabilización salto a salto de la transmisión de los Sig_Neighborhoods entre los diferentes nodos.
- Módulo 16 NIR_TOPO_06: Transmisión de los Sig_Neighborhoods en punto a multipunto.
- Módulo 17 NIR_TOPO_07: Anuncio de las características orientadas de los enlaces lógicos únicamente por los enrutadores de origen de los enlaces.

Módulo 18 NIR_TOPO_08: Marcado de los datos de señalización para generar la no secuenciación en recepción.

Módulo 19: NIR_TOPO_09: cálculo de la topología global

5 Surgirán mejor otras características y ventajas del procedimiento de acuerdo con la invención con la lectura de la descripción que sigue de un ejemplo de realización, dada a título ilustrativo y en ningún caso limitativo, anexada por las figuras que representan:

- La figura 1 un ejemplo de enlace entre la función de topología de radio fiabilizada o FIRE de acuerdo con la invención y los datos de transmisión (forwarding),
- 10 • La figura 2, un ejemplo de los datos utilizados para calcular la topología de los nodos de interconexión de la red,
- La figura 3, un ejemplo de la arquitectura funcional del procedimiento de acuerdo con la invención,
- La figura 4, la descripción del mecanismo de descubrimiento de la vecindad,
- La figura 5, la representación del mecanismo de afinado de las informaciones suministradas por los ART,
- 15 • La figura 6, un ejemplo de distribución de los parámetros asociados a un nodo NIR,
- La figura 7, un ejemplo de la topología con dos redes ligadas por un RSN,
- La figura 8, una reconstitución de un conjunto de parámetros asociados a un nodo NIR a partir de los parámetros transmitidos por los nodos de la red,
- La figura 9, un ejemplo de nodo no RSN,
- La figura 10, un ejemplo de nodo potencialmente RSN,
- 20 • La figura 11, un mecanismo de detección de los RSN potenciales y auto elección de un RSN,
- La figura 12, un ejemplo del reenvío de Sig_Neighborhood,
- La figura 13, un ejemplo de formato de una cable de los vecinos para un nodo, y
- La figura 14, un ejemplo de las tablas de señalizaciones de vecindad.

25 Antes de explicar un ejemplo de la realización del procedimiento de enrutado dinámico fiabilizado de acuerdo con la invención, designado como FIRE, se listan algunos recordatorios e hipótesis de trabajo:

Hipótesis preliminares

- HYP_TOPO_1:** La elección de la mejor ruta entre un origen 'S' y un destino 'D' para un paquete de datos 'P' depende de varios criterios. Nótese. Estos criterios son denominados a continuación "criterios de enrutado".
- 30 **HYP_TOPO_2:** Para una ruta entre un origen 'S' y un destino 'D' para un paquete de datos 'P', el valor de cada criterio puede depender:
- de la naturaleza y del estado de los enlaces cruzados (un enlace es una unión lógica entre 2 nodos),
 - de las características y del estado de los nodos de reenvío cruzados,
 - 35 - de los parámetros que caracterizan los paquetes de datos a encaminar.

Las rutas dependen de numerosos criterios (HYP_TOPO_1), existe un gran número de rutas posibles, siendo cada una la 'mejor' para un paquete que tenga unas características dadas. La solución retenida por el protocolo de acuerdo con la invención es utilizar un protocolo de enrutado de estados de enlace, que construye la topología de los nodos; siendo calculada a continuación localmente la mejor ruta para los paquetes de datos, para cada uno de los nodos.

40

El procedimiento de acuerdo con la invención o FIRE calculará la topología lógica de los nodos NIR en el seno de un sistema de nodos NIR. En esta topología lógica de los nodos NIR, dos nodos NIR A y B están unidos directamente entre sí, si existe una red elemental a la que pertenece el nodo A y el nodo B, independientemente del número de saltos físicos entre A y B en el seno de la red elemental.

45 Esta topología debe tener las características siguientes (HYP_TOPO_2):

- la topología debe estar representada en la forma de un gráfico de nodos NIR ligados por unos enlaces simétricos (para la transmisión)
- cada nodo del gráfico posee:
 - o un identificador.
 - o el estado de silencio de radio,
 - o capacidad de tránsito (puede depender de la alimentación de energía, del deseo de privilegiar los flujos locales, de reglas estáticas,...),
 - o una lista de los servicios que pueden reenviarse por el nodo,
- 50 - cada enlace del gráfico posee:
 - o un identificador único localmente,
- 55

- unos parámetros que dependen de la clase de la red de transmisión (una clase reagrupa un conjunto de valores de los parámetros de la red, valores fijados por la configuración)
 - una lista de los servicios soportados,
 - tamaño máximo absoluto de los datos soportado,
 - tamaño máximo recomendado de los datos soportado,
 - la lista de los niveles de seguridad autorizados,
 - una lista de los tipos de contenido (content_type) autorizados nominalmente,
 - una lista de los tipos de contenido autorizados en una ruta de socorro.
- unos parámetros que dependen de las informaciones subidas por el Acceso a la Red de Transmisión (ART)
 - tasa de transmisión del enlace entre el origen y el extremo del enlace (información dependiente del sentido del enlace),
 - tiempo de acceso al medio,
 - estado del enlace en términos de transmisión: fiable, inestable, desconocido.

Estas características se utilizarán como criterios de enrutado.

- 15 La figura 1 esquematiza los enlaces entre la función de topología de radio fiabilizada de acuerdo con la invención y los datos de Forwarding.
- Para calcular la topología de los NIR, FIRE se apoya sobre 2 tipos de datos como se representa en la figura 2:
- los datos intercambiados con las otras entidades FIRE,
 - las informaciones recibidas de los Accesos a las Redes de Transmisión.

20 **Recordatorio de los principios de un protocolo de estados de enlace**

Los protocolos denominados de “estados de enlace” permiten establecer la topología de enrutadores (o NIR, de acuerdo con la terminología empleada), haciendo ejecutar cada enrutador una instancia del protocolo. El funcionamiento de los protocolos de enrutado entre redes de estados de enlace se puede resumir en los mecanismos principales siguientes:

- 25 - **P1 - descubrimiento de la Vecindad:** cada enrutador descubre, en cada red a la que está interconectado, a sus vecinos con los que tiene un enlace simétrico (recibe unos datos del vecino y este vecino recibe sus datos). Para una red dada, el conjunto de los vecinos accesibles por esta red se denomina “vecindad de la red”. El conjunto de las vecindades de la red de un enrutador se denomina Vecindad.
- 30 - **P2- comunicación de la Vecindad:** cada enrutador comunica al conjunto de los otros enrutadores sus vecindades.
Nótese. En ciertos casos, sólo un subconjunto de los enrutadores comunica su vecindad.
- **P3 - cálculo de la topología global:** cada enrutador, a partir de diferentes vecindades recibidas, construye la topología global.

A estos mecanismos principales se añaden unos mecanismos secundarios que tienen por objetivo:

- 35 - **S1 - fiabilizar el descubrimiento de la vecindad,**
- **S2 - fiabilizar las comunicaciones de las vecindades,**
- **S3 - tratar la no secuenciación en la recepción** de las vecindades recibidas (y por ejemplo no atropellar una información reciente con una información obsoleta). Permite generar unos reinicios (“reboot”) de las máquinas y los retardos de transmisión en el sistema.

40 La definición y las regulaciones de los mecanismos principales y secundarios se realizan para optimizar dos criterios contradictorios

- **C1: la banda pasante consumida** por los intercambios del protocolo de enrutado,
- **C2: la reactividad del protocolo** (convergencia inicial, puesta al día a continuación de un cambio de la topología de los enrutadores).

45 Mientras se respeta un tercer criterio:

- **C3: una planificación mínima (pocos datos de configuración).**

Uno de los objetivos del protocolo es tener una gran reactividad con una reducida banda pasante consumida. Lo que se puede traducir por una relación C2/C1 elevada, mientras se respeta C3.

Lista de los principales mecanismos de la función de topología de radio fiabilizada (FIRE) realizada en el procedimiento de acuerdo con la invención

Los párrafos siguientes representarán los mecanismos aceptados para la función de establecimiento de la topología de los NIR. Se identifican por un prefijo 'FIRE_' seguido por un número de 2 cifras (por ejemplo: FIRE-04). Las requerimientos sobre un mecanismo son indicadas por FIRE_XX/YYY, donde YYY es el número del requerimiento, habitualmente incrementado de 10 en 10, no siendo éste más que un ejemplo no limitativo.

Estos mecanismos son, en número de 9:

- 11: Módulo 11 NIR_TOPO_01: Descubrimiento de la Vecindad gracias a las funciones intrínsecas de las redes físicas.
- Módulo 12: NIR_TOPO_02 figura 5: Afinado de las informaciones suministradas por los ART para mejorar la estabilidad del protocolo
- 13: Módulo 13: NIR_TOPO_03: principio de distribución de las vecindades hacia el conjunto de los NIR.
- 14: Módulo 14: NIR_TOPO_04: Reenvío de los Sig_Neighborhoods por un subconjunto de los nodos NIR (reenvío de Sig_Neighborhood)
- 15: Módulo 15 NIR_TOPO_05: Fiabilización salto a salto de la transmisión de los Sig_Neighborhoods
- 16: Módulo 16 NIR_TOPO_06: Transmisión de los Sig_Neighborhoods en punto a multipunto
- 17: Módulo 17 NIR_TOPO_07: Anuncio de las características orientadas de los enlaces lógicos únicamente por los enrutadores de origen de los enlaces
- 18: Módulo 18 NIR_TOPO_08: Marcado de los datos de señalización para generar la no secuenciación en recepción
- 19: Módulo 19: NIR_TOPO_09: cálculo de la topología global

Los mecanismos interactúan entre sí de acuerdo con los mecanismos descritos en la figura 3, siendo estos mecanismos detallados conforme avanza la descripción.

Descubrimiento de la Vecindad, figura 4

Módulo 11 NIR_TOPO_01: Descubrimiento de la Vecindad gracias a las funciones intrínsecas de las redes físicas

El módulo de transmisión o "FORWARDER" de un nodo NIR interconecta unas redes físicas. Siendo de naturaleza muy diferente las tecnologías de estas redes físicas (tasa de transmisión, retardos, pérdidas,...), el FORWARDER se apoya en las redes de transmisión para calcular sus informaciones de vecindad, lo que explica el requerimiento a continuación.

NIR_TOPO_01/010

Cada acceso a una Red de Transmisión ART de un nodo NIR debe suministrar al protocolo de acuerdo con la invención, la topología de la red elemental de la que forma parte. Esta topología debe contener la descripción de un gráfico de los nodos que tenga las propiedades siguientes:

- Cada nodo representa un NIR o un reenvío en la transmisión
- Cada enlace es un enlace simétrico, en el sentido de la posibilidad de transmisión. Para un nodo, cada extremo del enlace debe poder transmitir hacia el otro enlace.

Estando la función de resolución de direcciones NIR en la dirección de enlace, y la función recíproca, aseguradas por el ART, la topología suministra el contenido de las direcciones de los nodos NIR y no las direcciones de los enlaces (propias de la red de transmisión). Un nodo del gráfico de la red elemental no tiene dirección NIR cuando este nodo representa un reenvío de transmisión sin función de nodo.

NIR_TOPO_01/010 bastará para conocer los NIR vecinos (en el sentido lógico) y el número de saltos físicos en el seno de la red de transmisión entre 2 NIR. No obstante, es deseable un complemento de la información para estimar correctamente la calidad del enlace de red entre 2 NIR.

NIR_TOPO_01/020

Cuando el ART suministra una topología de red elemental al FIRE, debe suministrar, si la tecnología de la red de transmisión lo permite, las informaciones complementarias siguientes:

- Tasa de transmisión de cada enlace, con orientación del enlace en caso de tasas de transmisión no simétricas,
- Tiempo de acceso medio al canal físico de cada enlace,
- Calidad de cada enlace: bueno, medio, malo, deducido, por ejemplo de unas informaciones suministradas por el módem situado en el Medio Físico, por lo tanto por debajo del ART.

Módulo 12: NIR_TOPO_02 figura 5: Afinado de las informaciones suministradas por los ART para mejorar la estabilidad del protocolo

Para economizar la banda pasante consumida por la señalización de topología entre NIR sobre la red de transmisión de radio, los envíos de datos de señalización no pueden ser demasiado frecuentes. De hecho, no es deseable (y tampoco interesante) anunciar a los otros NIR 'en tiempo real' los cambios de las características de los enlaces o de topología interna suministrados por un ART.

- 5 Las informaciones suministradas por los ART deben ser tratadas por tanto antes de ser repercutidas hacia los otros nodos, con el fin de asegurar una cierta estabilidad de las informaciones enviadas y de la topología resultante.

El primer tratamiento se refiere a las características de los enlaces entre nodos:

NIR_TOPO_02/010

- 10 De acuerdo con las características dinámicas de las redes de transmisión, el protocolo de acuerdo con la invención FIRE debe afinar ciertas variaciones de las características de los enlaces antes de incluirlas en las vecindades difundidas a los otros nodos.

El segundo tratamiento se refiere a la topología interna de las redes:

NIR_TOPO_02/020

- 15 Para generar las redes en malla y afinar la evolución de su topología, el protocolo de acuerdo con la invención clasificará los nombres de los altos en 3 categorías (próximo, mediano, lejano) con una histéresis para entrar y salir de cada categoría en función del número de saltos reales. Esta clasificación depende del tipo de servicio a hacer transitar por la red de transmisión.

Finalmente, con el fin de que las vecindades se puedan enviar a los NIR vecinos "nominalmente", FIRE debe poner al día y suministrar la topología en un salto al FORWARDER.

20 **NIR_TOPO_02/030**

Con la recepción de la topología de una red elemental, y una vez efectuada la operación de afinado (**NIR_TOPO_02/020**), el procedimiento de acuerdo con la invención almacenará la topología afinada en una tabla Local_Topologie_Table, 20 figura 3.

- 25 Cuando se modifica la Local_Topologie_Table, entonces la función de construcción del gráfico recalcula el gráfico y pone al día a continuación la topología de los NIR.

Módulo 13: NIR_TOPO_03 figuras 6, 7, 8 Principio de distribución de las Vecindades hacia el conjunto de los NIR

- 30 Para que cada NIR pueda construir la topología completa de la red, es necesario y suficiente conocer el conjunto de los vecinos de cada NIR y las características de los enlaces entre cada NIR y los vecinos. El principio de base es por lo tanto que cada NIR anuncie a todos los otros NIR sus datos (vecinos, enlaces y sus características), lo que se denominará Sig_Neighborhood.

Para optimizar esta difusión:

- cada NIR envía su Sig_Neighborhood hacia sus vecinos, nominalmente (y no por inundación en las interfaces locales),
- 35 - este envío se realiza de manera optimizada, suprimiendo las informaciones conocidas de los receptores,
- cada NIR reconstituye los Sig_Neighborhood completos en la recepción,
- se establece un sub gráfico de reenvíos y solamente estos reenvíos están encargados de redistribuir los Sig_Neighborhood recibidos hacia los otros NIR,
- 40 - la fiabilización de todos estos envíos no se realiza por repetición sistemática, sino por reconocimiento y retransmisión, efectuados por los protocolos de las capas inferiores (FORWARDER, ART,...)
- durante la distribución de un Sig_Neighborhood hacia unos NIR a través de una red elemental, se solicita un único envío punto a multipunto al FORWARDER, en lugar de múltiples envíos punto a punto,
- las características dependientes del sentido del enlace no se anuncian más que por el NIR de origen del enlace orientado.

45 **NIR_TOPO_03a: Envío optimizado de los Sig_Neighborhood hacia los vecinos NIR_TOPO_03/010**

En cada nueva topología de la red elemental recibida, el protocolo de acuerdo con la invención FIRE debe construir el conjunto de los elementos siguientes, denominados Sig_Neighborhood:

- Las propiedades no planificadas del nodo NIR local, si existe (capacidad de tránsito, servicios que pueden ser reenviados,...)
- 50 • La lista de los NIR vecinos accesibles por cualquier red elemental R_E , para cada NIR vecino, $NIR(R_E)$

La identificación de la red de transmisión de la que forma parte R_E (es decir por la que el NIR vecino es accesible), existe una identificación global de cada red de transmisión.

- Las propiedades del NIR vecinos no planificadas, si existen,
- Las propiedades no planificadas del enlace hacia este vecino, se existen (por ejemplo: tasa de transmisión, calidad del enlace en términos de transmisión)
- El CRC calculado sobre los valores precedentes
- El número de secuencia de este Sig_Neighborhood, calculado de acuerdo con los requerimientos NIR_TOPO_08/010.

A continuación si `first_new_topology = TRUE`, entonces FIRE debe armar `max_waiting_for_new_network_topology_timer` (al inicio de FIRE, `first_new_topology` debe inicializarse a TRUE). Este temporizador corresponde al tiempo de espera máximo de nuevas topologías de red elementales provenientes de los ART, una vez recibida la primera topología; tiene por objetivo evitar la transmisión de un excesivo número de Sig_Neighborhood durante las fases de inestabilidad.

Después el protocolo FIRE debe rearmar el temporizador `waiting_for_new_network_topology_timer`. Este temporizador corresponde a un tiempo de espera de una nueva topología de una red elemental; al ser sistemáticamente rearmado, es el temporizador `waiting_for_new_network_topology_timer` el que evita una espera perpetua; y finalmente

El protocolo FIRE debe pasar `first_new_topology` a FALSE. Esta variable de estado se utiliza para no lanzar el temporizador `waiting_for_new_network_topology_timer` más que en la recepción de la primera nueva topología de una "salva".

Por ejemplo, una red de radio VHF o UHF se identifica intrínsecamente por los parámetros que permiten a sus miembros la comunicación (claves, frecuencia,...). La reagrupación de estos parámetros en un identificador único corto (1 a 2 octetos) permite difundir las propiedades intrínsecas de la red, consumiendo menos banda pasante que si se difundiera la lista exhaustiva de los valores de sus parámetros. Por el contrario, la pertenencia de los NIR a una red es difundida y no conocida por planificación. Ésta no se utiliza para deducir unas informaciones de conectividad sino para unas informaciones de caracterizaciones de los enlaces (utilizadas para el enrutado de criterios múltiples). De hecho, la separación de las redes de transmisión en varias redes elementales no tiene impacto en el funcionamiento del protocolo de enrutado.

El objetivo de los temporizadores presentes en NIR_TOPO_010 es evitar transmitir unas informaciones inmediatamente después de la indicación de una nueva topología de una red de transmisión. Esto es particularmente útil durante las fases de arranque, de llegada a una nueva red, etc., cuando las topologías de la red de transmisión cambian rápidamente. Después de la recepción de un cambio de topología siguiente a un estado estable, como máximo al final del temporizador global `max_waiting_for_new_network_topology_timer`, se envía el Sig_Neighborhood.

El CRC contenido en un Sig_Neighborhood permite a los vecinos que lo reciben verificar que la reconstrucción del Sig_Neighborhood está de acuerdo con el Sig_Neighborhood inicial.

NIR_TOPO_03/020:

Con la expiración del `max_waiting_for_new_network_topology_timer` o del `waiting_for_new_network_topology_timer`, el protocolo FIRE debe suministrar Sig_Neighborhood a la función de construcción de los Sig_Neighborhood_Transmitted definida por NIR_TOPO_03/030, y situar `first_new_topology` en TRUE.

El requerimiento NIR_TOPO_03/010 construye toda la vecindad del nodo N, independientemente del vecino destinatario. O, para un vecino N_i dado, esta vecindad contiene unas informaciones que N_i ya conoce, como los enlaces $N \leftrightarrow N_i$. Para evitar transmitir la información no pertinente en las redes, FIRE calcula para cada vecino N_i un Sig_Neighborhood aligerado, indicado por Sig_Neighborhood_Transmitted[N_i].

NIR_TOPO_03/030, figura 6:

Cuando el protocolo FIRE envía un Sig_Neighborhood local (**módulo 13a figura 3**) hacia unos vecinos N_i , debe determinar cuáles son las informaciones de este Sig_Neighborhood ya conocidas por cada vecino N_i (por ejemplo: conectividad vía radio, medida de las tasas de transmisión). Debe a continuación suprimirlas de Sig_Neighborhood para formar un Sig_Neighborhood aligerado denominado Sig_Neighborhood_Transmitted[N_i].

FIRE debe a continuación enviar los Sig_Neighborhood_Transmitted[N_i] de acuerdo con el requerimiento NIR_TOPO_06/010 descrito a continuación.

Estos tratamientos permiten disminuir el tamaño de los Sig_Neighborhood transmitidos hacia cada vecino. Como el número de secuencia no es conocido más que por el nodo local, es preciso imperativamente enviarlo. Como mínimo, un Sig_Neighborhood_Transmitted[N_i] se reduce al número de secuencia. Es necesario hacer notar que

Sig_Neighborhood_Transmitted es en general diferente de acuerdo con el vecino hacia el que se debe enviar el Sig_Neighborhood.

5 Por ejemplo, para un conjunto de nodos conectados únicamente a una única red elemental R_E , no teniendo cada nodo unas características dinámicas: Sig_Neighborhood se reduce al número de secuencia y a las informaciones subidas por el ART de R_E , y Sig_Neighborhood_Transmitted comprende únicamente el número de secuencia (únicamente conocido por el emisor) y el valor del CRC (calculado de acuerdo con las informaciones iniciales, y que permite al receptor asegurar que la reconstrucción que realiza está de acuerdo con el origen).

10 Esta optimización permite disminuir drásticamente la cantidad de tráfico del protocolo en el caso de los enlaces redundantes entre NIR, que pueden ser creados o bien por redes redundantes entre nodos, o bien por unos nodos redundantes entre redes.

Opción que permite no enviar ciertos Sig_Neighborhood_Transmitted, figura 7

15 Mientras que Sig_Neighborhood_Transmitted se reduzca al par (número de secuencia, CRC), no se tiene obligación de enviarlo (es decir, si ningún Sig_Neighborhood_Transmitted ha sido enviado en ningún caso anteriormente). Es evidente que el vecino que no recibe ningún Sig_Neighborhood, no podrá reenviar nada incluso si es RSN para nosotros.

La topología reconstituida es incompleta, puesto que faltan los enlaces contenidos en los Sig_Neighborhood_Transmitted que no han sido transmitidos nunca. No obstante estos enlaces 'no transmitidos' no tienen más que un interés local. Los nodos distantes, que tendrán una topología incompleta, no tienen necesidad de estos enlaces para calcular la mejor ruta cualesquiera que sean los criterios mantenidos.

20 Por ejemplo, supongamos una red elemental R_{E1} que comprende 4 nodos (1, 2, 3 y 4), todos al alcance los unos de los otros. Esta red elemental se conecta a otras redes a través del nodo 4 y únicamente por él. Los nodos 1, 2 y 3 no transmiten entonces ningún Sig_Neighborhood_Transmitted. El nodo 4 transmite a los otros nodos (5 y más) sus enlaces con 1, 2 y 3: (1,4), (2,4), (3,4). Los nodos 5+ no tendrán por tanto jamás conocimiento de la existencia de los enlaces (1,2), (1,3), (2,3). No obstante, para alcanzar 1, 2 ó 3, un nodo 5+ pasará por 4 y no tendrá por lo tanto
25 nunca necesidad de estos enlaces.

En el ejemplo dado, se consideran únicamente los enlaces lógicos, la topología física de la red R_{E1} no está considerada: por lo tanto, es completamente posible que el camino físico entre 4 y 1 pase por 2. Físicamente, la topología corresponde a (4->2->1), pero lógicamente, desde el punto de vista "inter red elemental", la topología es (4->1).

30 NIR_TOPO_03b: reconstitución de los Sig_Neighborhood en la recepción NIR_TOPO_03/040:

Cuando el protocolo FIRE recibe un Sig_Neighborhood (N), y N no es un vecino del nodo local, debe almacenar el Sig_Neighborhood recibido en la tabla Distant_Neighborhood_Table.

NIR_TOPO_03/050 figura 8:

35 Cuando FIRE recibe un Sig_Neighborhood (N), y N es un vecino del nodo local (=>Sig_Neighborhood es de hecho un Sig_Neighborhood_Transmitted):

FIRE debe reconstituir el Sig_Neighborhood (N) a partir del Sig_Neighborhood_Transmitted recibido y de las topologías de las redes elementales.

A continuación, FIRE debe calcular el valor del CRC para el Sig_Neighborhood reconstituido.

Si este CRC es diferente del CRC contenido en el Sig_Neighborhood_Transmitted, (*)

- 40
- Entonces, el protocolo fiabilizado FIRE debe almacenar el Sig_Neighborhood_Transmitted(N) en la tabla Neighborhood_Rebuilding_Table 22, figura 3 (sustituyendo al Sig_Neighborhood_Transmitted(N) ya presente en la tabla si es necesario),
 - Si no, FIRE debe almacenar el Sig_Neighborhood(N) reconstituido en la tabla Distant_Neighborhood_Table y si existe un Sig_Neighborhood_Transmitted(N) en la tabla Neighborhood_Rebuilding_Table, 21 figura 3,
45 borrarlo.

La reconstrucción de los Sig_Neighborhood desde la recepción de los Sig_Neighborhood_Transmitted permite al corazón de FIRE no manipular más que unos Sig_Neighborhoods completos.

50 (*) Cuando el CRC de un Sig_Neighborhood(A) reconstruido por un nodo B no corresponde al Sig_Neighborhood (A) inicial, se trata de una incoherencia entre las topologías de la red suministradas por los ART al nodo A y las suministradas al nodo B. para una red dada, dos casos pueden conducir a esta incoherencia:

- B tiene una versión de la topología más justa que la de A (la topología real no ha convergido aún en relación

con A). El Sig_Neighborhood(A) reconstituido por B es diferente (porque está más próximo a la realidad) que el Sig_Neighborhood (A) inicial. En este caso, cuando el ART suministre a A la topología real completa, entonces A reemitirá un nuevo Sig_Neighborhood, con un nuevo CRC. Esta vez, el CRC recibido por B será coherente con el CRC reconstituido. El problema se regula gracias a las puestas al día del Sig_Neighborhood emitidas por A.

- B tiene una versión de la topología menos justa que la de A (la topología real no ha convergido aún en relación con B). El Sig_Neighborhood(A) reconstituido por B es diferente (porque está más alejado de la realidad) que el Sig_Neighborhood (A) inicial. Si la topología de la red no evoluciona, A no retransmitirá otro Sig_Neighborhood. Es necesario por lo tanto generar el problema en relación con B. A cada puesta al día de la topología suministrada por el ART, B reconstituye un nuevo Sig_Neighborhood y recalcula el CRC correspondiente. Cuando el CRC calculado corresponde al CRC recibido inicialmente, entonces B ha vuelto a encontrar el Sig_Neighborhood(A) inicial. Entonces lo guarda en Distant_Neighborhood_Table y suprime el Sig_Neighborhood_Transmitted almacenado en la Neighborhood_Rebuilding_Table.

NIR_TOPO_03/060:

- 15 Con cada recepción de una nueva topología de red elemental proveniente de un ART, FIRE debe, para cada Sig_Neighborhood_Transmitted presente en la tabla Neighborhood_Rebuilding_Table:

reconstruir el Sig_Neighborhood teniendo cuenta los datos de la nueva topología de la red elemental, calcular el CRC sobre el Sig_Neighborhood reconstituido, si este CRC es igual al CRC contenido en el Sig_Neighborhood_Transmitted,

- 20
 - o Entonces, FIRE debe almacenar el Sig_Neighborhood(N) reconstituido en la tabla Distant_Neighborhood_Table y borrarlo de la tabla Neighborhood_Rebuilding_Table,
 - o Si no, no hacer nada.

Módulo 14 NIR_TOPO_04 figuras 9, 10: Reenvío de los Sig_Neighborhoods por un subconjunto de los nodos NIR (Reenvío de Sig_Neighborhoods)

25 **Elección de los Reenvíos de Sig_Neighborhood – Principios.**

Los Sig_Neighborhood emitidos por cada nodo deben ser encaminados hacia todos los NIR, con el fin de que cada NIR pueda calcular la topología de la red. Por lo tanto deben ser reenviados. Para limitar el número de reenvíos superfluos (es decir 2 estaciones reenviando la misma vecindad hacia los mismos destinatarios, solamente un subconjunto de los NIR reenvía los Sig_Neighborhood. Estos NIR son denominados Reenvíos de Sig_Neighborhood (en abreviatura: RSN, Relay of Sig_Neighborhood)).

La elección de los RSN se realiza por auto designación, lo que tiene la ventaja de no necesitar intercambios suplementarios en las redes.

El objetivo del mecanismo de elección de los RSN es calcular un gráfico de distribución (GD):

- 35 - que permita cubrir el gráfico de origen (GO), siendo GO el gráfico de los NIR,
- teniendo el gráfico GD un número de nodos inferior a GO.

Un gráfico de distribución de ese tipo GD es un sub gráfico de GO tal que, cualquiera que sea una fuente que pertenezca al gráfico de origen GO, una información emitida por esta fuente se pueda distribuir hacia todos los otros nodos de GO siendo reenviada únicamente por unos nodos de GD.

Observaciones sobre la optimización del gráfico de distribución:

- 40 - El establecimiento de un gráfico de distribución de ese tipo es similar al problema denominado “el árbol de cobertura de peso mínimo”, es un problema np-completo (es decir, no existe el algoritmo cuyo tiempo de cálculo es un polinomio del número de nodos y enlaces). Por tanto incluso sobre una topología conocida, teniendo el gráfico GD un número de nodos mínimo no se puede calcular en la práctica (en el tiempo limitado de un enrutador). Cualquier mecanismo de cálculo en línea de un gráfico de distribución desembocará por tanto
- 45 - Siendo el objetivo del gráfico de distribución distribuir las vecindades para establecer el gráfico de los NIR, el gráfico de distribución no puede ser construido evidentemente a partir del gráfico completo. Se construye con las únicas informaciones conocidas por los nodos antes de la elección de los RSN, a saber los Sig_Neighborhoods de los nodos vecinos. Este conocimiento limitado no permite avanzar extremadamente
- 50 - Incluso si el criterio del número de reenvíos mínimo parece ser aquél a optimizar, otros criterios son igualmente interesantes en el caso del protocolo de acuerdo con la invención: difundir con la máxima velocidad la información para acelerar la convergencia del cálculo de topología, evitar los gráficos de difusión sin ruta alternativa entre los nodos alejados, etc.

Teniendo en cuenta las observaciones precedentes y la dificultad de concebir un mecanismo de construcción del gráfico de distribución que apunte a una incertidumbre óptima, el enfoque mantenido ha sido simplificar su concepción. El mecanismo mantenido para la elección de los RSN ha sido elaborado por lo tanto en función de las hipótesis siguientes:

- 5 HYPO_RSN_01: todos los enlaces son considerados como equivalentes para la construcción del gráfico de distribución.
 HYPO_RSN_02: el mecanismo se basa en una auto elección a partir de las vecindades recibidas (sin señalización suplementaria para la elección de los RSN).
 HYPO_RSN_03: desde que se establece un RSN, continúa como RSN mientras que la topología local no varíe

10 A medida que se descubre la topología completa, se podría estar tentado de refinar el gráfico de los RSN. No obstante, esto necesitaría por una parte unos intercambios complementarios entre NIR sobre la red, y por otro lado los Sig_Neighborhoods que no son reenviados más que una única vez y en modo fiabilizado, el cambio de estatuto del RSN y no RSN podría desembocar en unas incoherencias de distribución.

15 Para construir el gráfico de los RSN, se parte de la propiedad intrínseca de un Reenvío de Sig_Neighborhood: un Reenvío de Sig_Neighborhood permite realizar la puesta en relación de dos nodos que no se ven directamente entre sí.

Por lo tanto, para que un nodo pueda ser RSN, debe saber que dos de sus vecinos no se ven. La recepción de los Sig_Neighborhoods de sus vecinos es suficiente para establecer este conocimiento, como lo mostrarán los ejemplos a continuación en relación con las figuras 9 y 10.

20 **NIR_TOPO_04/010 figuras 9, 10:**

Un nodo N es RSN potencial para un par de nodos (A, B), $n^{\circ}(A) < n^{\circ}(B)$, si y solamente si se cumplen todas las condiciones siguientes

- A y B son vecinos de N,
 A y B no forman parte de una misma red elemental,
 25 N tiene un Sig_Neighborhood(A) y un Sig_Neighborhood(B) en su tabla de los Sig_Neighborhoods,
 B está ausente de Sig_Neighborhood(A).

30 Para un par dado, es siempre la vecindad del más pequeño número de nodos la que se analiza. En caso de vecindades coherentes, si A es vecino de B, B es entonces vecino de A (los enlaces lógicos contenidos en las vecindades son simétricos). En caso de vecindades incoherentes, como no se analiza más que una única vecindad, no existe el caso de incoherencia a tratar en el algoritmo.

Todos los nodos potencialmente RSN no se eligen como RSN sistemáticamente: si dos nodos potencialmente RSN son equivalentes (es decir reenvían entre los mismos vecinos, como los nodos 2 y 4 en el esquema anterior), es suficiente con conservar solamente uno para construir el gráfico de distribución.

35 Por definición, un nodo N_2 potencialmente RSN, equivalente a otro nodo N_1 , para un par de vecinos dados (VA, VB), es a la vez vecino de VA y vecino de VB. Y está por lo tanto presente en los Sig_Neighborhood de VA y VB, recibidos por N_1 . Los nodos comunes entre VA y VB (con A y B no vecinos entre sí) son por tanto los RSN potenciales para A y B. Por análisis de las vecindades, cada nodo RSN potencial puede por tanto encontrar a los otros nodos RSN potenciales.

NIR_TOPO_04/020, figura 11:

40 Sea un par de vecinos (A, B).

Sea $nc(i)$ el número de pares de vecinos reenviados por cada nodo i RSN potencial de (A, B), los pares tenidos en cuenta deben ser detectables por todos los otros nodos RSN potenciales de (A, B).

Sea max_nc el máximo de los $nc(i)$, calculado sobre el conjunto de los RSN potenciales de (A, B).

FIRE debe elegirse RSN para un par de vecinos (A, B) si y solamente si:

- 45 es RSN potencial para el par (A, B),
 y si respeta una de las tres condiciones siguientes:
- o 1º es el único nodo RSN potencial para el par (A, B),
 - o 2º es el único nodo i cuyo $nc(i) = max_nc$
 - o 3º entre todos los nodos i cuyo $nc(i) = max_nc$, tiene el identificador de nodo más pequeño.

50 FIRE debe guardar la lista de los pares (A, B) para los que es RSN en la tabla RSN_Status_Table, 23 figura 3.

Caso de no recepción de Sig_Neighborhoods desde los vecinos

Los Sig_Neighborhoods de los vecinos pueden no ser recibidos:

- a continuación de la optimización de los Sig_Neighborhood_Transmitted, en ciertos casos, no se emite ningún Sig_Neighborhood por un vecino,
- 5 - en caso de pérdidas de mensajes.

En este caso, de acuerdo con el algoritmo de elección de los RSN anteriormente descrito, un NIR que no reciba un Sig_Neighborhood de un vecino, no puede elegirse como RSN potencial y menos aún RSN. Para paliar esta falta, un NIR puede igualmente auto elegirse RSN, de acuerdo con el mecanismo a continuación, descrito en NIR_TOPO_04/030.

10 NIR_TOPO_04/030:

En la modificación de la Local_Topologies_Table, en caso de aparición de nuevos nodos vecinos (es decir unos nodos que no existían en la Local_Topologies_Table precedente), FIRE debe efectuar los tratamientos descritos en el resto del requerimiento.

FIRE debe desencadenar el temporizador RSN_waiting_neighborhood_timer.

- 15 Si RSN_first_topology = TRUE, entonces FIRE debe desencadenar el temporizador MAX_RSN_waiting_neighborhood_timer y a continuación pasar RSN_first_topology a FALSE.

Si FIRE recibe al menos un Sig_Neighborhood de cada nuevo vecino antes de la expiración de uno de los 2 temporizadores, entonces calcula su estatuto de RSN de acuerdo con los requerimientos **NIR_TOPO_04/010** y **NIR_TOPO_04/020**.

- 20 Si no (expiración de uno de los dos temporizadores):

- o Para todos los pares (A, B) para los que existen los Sig_Neighborhood, FIRE debe calcular su estatuto de RSN de acuerdo con los requerimientos **NIR_TOPO_04/010** y **NIR_TOPO_04/020**.
- o Para todos los pares (A, B) para los que hay sólo uno de los dos Sig_Neighborhood (por ejemplo: el de A), FIRE debe elegirse RSN para (A, B) si:

- 25 - B no figura en Sig_Neighborhood(A),
 - y A y B no forman parte de una misma red elemental (es decir no son un conjunto en una topología subida por un ART).

- o Para todos los pares (A, B) para los que no hay ninguno de los Sig_Neighborhood, FIRE debe elegirse RSN para (A, B) si:

- 30 - A y B no forman parte de una misma red elemental
 o En todos los casos, FIRE debe pasar RSN_first_topology a TRUE.

FIRE debe guardar la lista de los pares (A, B) en los que es RSN en la tabla RSN_Status_Table.

NIR_TOPO_04/040:

- 35 En una modificación de Local_Topologies_Table no tratada por **NIR_TOPO_04/030**, en caso de desaparición de nodos vecinos, entonces FIRE debe calcular su estatuto de RSN de acuerdo con los requerimientos **NIR_TOPO_04/010** y **NIR_TOPO_04/020**.

NIR_TOPO_04/045:

- 40 En una modificación de Distant_Neighborhood_Table que se refiere al menos a un Sig_Neighborhood de un vecino, entonces FIRE debe calcular su estatuto de de RSN de acuerdo con los requerimientos **NIR_TOPO_04/010** y **NIR_TOPO_04/020**.

Algoritmo de elección de los Reenvíos de Sig_Neighborhood**Definiciones**

Sea a el nodo local, es decir aquel sobre el que se ejecuta el algoritmo. Sea Va el conjunto de los nodos vecinos de a. Va es la vecindad local, calculada a partir de las informaciones suministradas por los ART.

- 45 Sea Wa,i el conjunto de los vecinos de un nodo $i \in Va$. Wa,i es el conjunto de los nodos contenidos en el Sig_Neighborhood de i. Si algún Sig_Neighborhood no se recibe, $Wa,i = \{a\}$.

Sea L el conjunto de los nodos de la topología local que está constituido por el nodo local, unos nodos vecinos y unos nodos vecinos en dos saltos. $L = V_a \cup W_{a,i} / i \in V_a$

Etapa 1

La primera etapa consiste en construir, para cada nodo $n \in L$, el conjunto conocido de los nodos vecinos de n , V_n .

5 Si $n \in V_a$, $V_n = W_{a,n}$ por definición

Si $n \notin V_a$, $V_n = \{\text{nodos } i, \text{ tales que } n \in W_{a,i}\}$

Etapa 2

La segunda etapa consiste en establecer para cada nodo n , el conjunto de los pares (i, j) tales que i y j son vecinos de n , pero no son vecinos entre sí. Este conjunto se indica por C_n .

10 Sea $n \in L$. Se tiene entonces $C_n = \{(i, j) \text{ con } i \text{ y } j \text{ perteneciendo a } V_n, \text{ tales que } i \neq j, i \notin V_j, \text{ y } j \notin V_i\}$

Indicando por C , la unión de los C_n , para todos los nodos de L : $C = \bigcup_{n \in L} C_n$. Conteniendo C el conjunto de los pares de nodos de la topología local L que son vecinos en 2 saltos sin ser vecinos entre sí.

Por construcción, C_n es el conjunto de los pares para los que n es RSN potencial.

Etapa 3

15 La tercera etapa consiste en determinar, para cada par c de nodos distantes en 2 saltos y no vecinos entre sí, el conjunto de los RSN potenciales del par c , indicado por R_c .

Por definición, los pares a considerar son los elementos de C .

Sea $c \in C$. por definición de los C y de R_c , tenemos: $R_c = \{\text{nodos } n, \text{ tal que } c \in C_n\}$.

Indiquemos por R , la unión de los R_c , para todos los pares de c de C : $R = \bigcup_{c \in C} R_c$

20 **Etapa 4**

La cuarta y última etapa consiste en determinar el conjunto de los pares para los que el nodo local (nodo a) es reenvío.

Afectando de una ponderación a cada RSN potencial

Para cada nodo $n \in L$:

25 - asociar una ponderación n , es igual al número de pares para los que n es el reenvío potencial.
 $p(n): L \rightarrow \mathbf{N}$
 $n \rightarrow \text{Número de } R_i \in R, \text{ tales que } n \in R_i$

La función de ponderación presentada anteriormente no es más que un ejemplo. El algoritmo se pueda adaptar con ayuda de otras funciones de ponderación, tales como las que responden al criterio siguiente:

30 - la función de ponderación debe permitir seleccionar los nodos de la misma manera, cualquiera que sea el nodo de la topología local sobre el que se efectúa el cálculo.

Un ejemplo de una función de ponderación de ese tipo: $p(n) = n$.

Cálculo de los pares para los que el nodo local es reenvío.

35 El conjunto de los pares para los que el nodo local ' a ' es RSN está constituido por los pares ' c ' tales que ' a ' es el reenvío potencial de ' c ' ($a \in R_c$) y que la ponderación de ' a ' es la más elevada con relación a la ponderación de los otros nodos de reenvíos potenciales del par ' c '. En caso de igualdad de ponderación con los otros reenvíos potenciales, ' a ' es RSN de ' c ' si y solamente si ' a ' posee el número más pequeño de nodo entre el conjunto de los reenvíos potenciales de ' c ' de ponderación máxima.

Sea $C_RSN(a)$, el conjunto de los pares para los que ' a ' es RSN. $C_RSN(a)$ se calcula de la manera siguiente:

40 - Para cada par c de C para el que $a \in R_c$:
 o Sea R_{c_PM} el conjunto de los nodos de R_c cuya ponderación es máxima. $R_{c_PM} = \{i \in R_c, \text{ tal que } p(i) \geq p(j)\}$,

cualquiera que sea $j \in Rc\}$

- o Sea n_m el nodo de número más pequeño que pertenece a Rc_PM (no existe más que uno y sólo uno).
- o El nodo 'a' es RSN de 'c' si y solamente si $n_m = a$. Lo que se puede traducir en: $c \in C_{RSN(a)}$ si solamente si $n_m = a$

5 Se obtiene de ese modo el conjunto de los pares para los que se reenvía el nodo local.

Reenvío de los Sig_Neighborhoods figura 12

Los RSN reenvían los Sig_Neighborhoods poco a poco hasta que todos los nodos del sistema tengan la misma base de datos de vecindad. La fiabilización de este encaminamiento se realiza por los RSN (cf. NIR_TOPO_05, módulo 15), y no por las repeticiones efectuadas por el nodo de origen del Sig_Neighborhood. Esto significa que una vez que un NIR ha generado su Sig_Neighborhood y lo ha transmitido con éxito a sus vecinos, no lo retransmite más. La próxima transmisión tendrá lugar cuando el contenido del Sig_Neighborhood haya cambiado.

Este principio tiene dos consecuencias principales:

- Cuando la topología es estable y todos los nodos han recibido las vecindades actualizadas desde los otros nodos, más algún nodo no emite el Sig_Neighborhood: el tráfico de señalización de FIRE se hace nulo.
- 15 - La puesta al día de la tabla de los Sig_Neighborhoods de un nodo A es realizada por los RSN "de A", que son vecinos de A, y no por los nodos originarios de los Sig_Neighborhoods. Esta actualización al más próximo permite ganar en reactividad y en banda pasante.

Un Reenvío de Sig_Neighborhood tiene por tanto a su cargo:

- reenviar las vecindades cuando las recibe, en función de los pares de vecinos para los que es reenvío,
- 20 - almacenarlas para asegurar la sincronización de las tablas de Sig_Neighborhoods de esos mismos vecinos, cuando esto sea necesario.

NIR_TOPO_04/050

Reenvío de las Vecindades

25 Un NIR A, RSN para unos pares (Xi, Yi) reenvía todos los Sig_Neighborhood recibidos de Xi hacia el nodo Yi (y *recíprocamente de Yi hacia Xi*), salvo si:

- o A ha recibido ya este Sig_Neighborhood (mismo par [fuente, número de secuencia]) o una versión más reciente, proveniente de Yi (respectivamente, Xi),
- o Yi (respectivamente, Xi) figura ya en la tabla de los Sig_Neighborhoods de A, como destinatario de este Sig_Neighborhood (mismo par [fuente, número de secuencia]) o de una versión más reciente,
- 30 o Yi (respectivamente, Xi) es el nodo de origen del Sig_Neighborhood,
- o Yi (respectivamente, Xi) es un vecino del nodo de origen del Sig_Neighborhood.

Las condiciones anteriores permiten evitar unos envíos inútiles. Necesitan que los RSN almacenen los Sig_Neighborhood recibidos y el o los números de NIR vecinos que les han enviado este Sig_Neighborhood.

NIR_TOPO_04/060

35 Paso de un nodo a el modo Reenvío de Sig_Neighborhood para un par de vecinos (X, Y)

Cuando un NIR A se (re)convierte en RSN para un par (X, Y), debe reenviar hacia Y todos los Sig_Neighborhood almacenados que haya recibido de X (y *recíprocamente*), salvo si:

- o A ha recibido ya este Sig_Neighborhood (mismo par [fuente, número de secuencia]) proveniente de Y (respectivamente, X),
- 40 o Y (respectivamente, X) figura ya en la tabla de los Sig_Neighborhood de A, como destinatario de este Sig_Neighborhood (mismo par [fuente, número de secuencia]),
- o Y (respectivamente, X) es el nodo de origen del Sig_Neighborhood,
- o Y (respectivamente, X) es un vecino del nodo de origen del Sig_Neighborhood.

45 La recepción de números de secuencia más antiguos que el número de secuencia almacenado es tratado en el párrafo NIR_TOPO_08.

Almacenamiento de los Sig_Neighborhoods

Es necesario hacer notar que en el requerimiento NIR_TOPO_04/060, no se precisa si A era ya RSN para otro par. Los dos casos ('A era ya RSN', 'A era no RSN') son posibles. Si A era no RSN, debe como mínimo poder respetar este requerimiento, y por tanto haber almacenado todos los Sig_Neighborhood recibidos, y haber anotado qué vecino ha emitido o reenviado cada Sig_Neighborhood.

50

NIR_TOPO_04/070

Almacenamiento de los Sig_Neighborhood

Para cada Sig_Neighborhood recibido, FIRE debe verificar si existe un Sig_Neighborhood del mismo nodo de origen y de número de secuencia idéntico o más reciente.

5 Si es así, entonces FIRE debe suprimir el Sig_Neighborhood recibido.

Si no FIRE debe almacenar, en una tabla denominada Distant_Neighborhood_Table:

- o el número del NIR de origen del Sig_Neighborhood (es decir, el que ha generado inicialmente el Sig_Neighborhood),
- o el número de secuencia del Sig_Neighborhood,
- 10 o la lista de los NIR vecinos que han enviado al nodo local un Sig_Neighborhood (NIR de origen). Esta lista es anotada como LPHR (List Of Previous Hops NIRs),
- o el contenido del Sig_Neighborhood recibido. El contenido del Sig_Neighborhood está constituido por los enlaces del nodo de origen con sus vecinos, siendo cada enlace un par de:
 - * número de nodo vecino,
 - 15 * red de transmisión a cruzar para unirse al nodo vecino.

Un mismo nodo puede aparecer varias veces en el contenido del Sig_Neighborhood si el nodo de origen puede unirse a él a través de varias redes de transmisión.

El número de secuencia del Sig_Neighborhood almacenado es el número de secuencia más reciente presente en la lista LPHR.

20 **NIR_TOPO_04/080**

Almacenamiento de las informaciones de los Sig_Neighborhood reenviadas con éxito

Cada NIR debe almacenar, en la tabla Distant_Neighborhood_Table, de la que se da un ejemplo de formato en la figura 13, para cada Sig_Neighborhood recibido:

- 25 la lista de los NIR vecinos a los que el nodo local ha reenviado un Sig_Neighborhood (NIR_origine) y que lo han adquirido positivamente. Esta lista está indicada por LANH (List of Acknowledged Next Hops).

NIR_TOPO_04/090

Conservación del Sig_Neighborhood de un nodo que desaparece de la vecindad o de la topología

30 A continuación de un recálculo de la vecindad local o de la topología, FIRE debe conservar en la tabla de los Sig_Neighborhood distantes de la que se da un ejemplo en la figura 14 (Distant_Neighborhood_Table) todos los Sig_Neighborhood de los nodos que hayan desaparecido.

Esta conservación permite limitar los intercambios de Sig_Neighborhood en caso de reconexión de las 2 partes del sistema.

35 No hay jamás supresión del nodo origen, puesto que no hay un mecanismo de envejecimiento en el funcionamiento normal del protocolo.

Silencio de radio

El impacto del silencio de radio es el siguiente:

- Toma en consideración de las estaciones en silencio de radio en el cálculo de la topología, considerando que todas las estaciones en silencio de radio tienen los enlaces orientados en el sentido entrante únicamente, y por lo tanto ningún enlace saliente.
- 40 - Los vecinos no envían ya unos Sig_Neighborhood a la estación en silencio de radio sobre los enlaces SR.
- Una estación en SR no puede ser RSN potencial.

Módulo 15 NIR_TOPO_05: Fiabilización salto por salto de la transmisión de los Sig_Neighborhood

NIR_TOPO_05/010

45 **Fiabilización salto por salto**

Cuando FIRE transmite un Sig_Neighborhood hacia unos NIR vecinos, debe solicitar a las capas subyacentes

utilizadas enviar el Sig_Neighborhood en modo fiabilizado.

La función de fiabilización salto por salto se sitúa preferentemente en los ART, porque depende de las propiedades intrínsecas del medio (utilización de TCP sobre una red IP de transmisión única, PMUL sobre una red VHF,...).

Módulo 16 NIR_TOPO_06: transmisión de los Sig_Neighborhoods en punto a multipunto

5 **NIR_TOPO_06/010**

Envío en punto a multipunto

Cuando FIRE transmite un Sig_Neighborhood hacia los NIR vecinos, debe, si es posible, solicitar a las capas subyacentes utilizadas enviar el Sig_Neighborhood en el modo punto a multipunto.

10 El remitente duplica entonces el Sig_Neighborhood si debe ser emitido en diferentes redes elementales. A continuación, cada ART decide proceder a uno o varios envíos, con una fiabilización adaptada (compárese con NIR_TOPO_05), de acuerdo con el tipo y la naturaleza de la red subyacente (punto a punto o de difusión, fiable o con pérdidas importantes,...).

Módulo 17 NIR_TOPO_07: anuncio de las características orientadas de los enlaces lógicos únicamente por los enrutadores de origen de los enlaces

15 Existen unas características de los enlaces que dependen del sentido del enlace. La tasa de transmisión de un enlace de radio entre A y B puede ser diferente del enlace entre B y A. En relación al nodo A, la topología subida por un ART puede contener a la vez la tasa de transmisión de A hacia B y de B hacia A.

Si A y B anuncian cada uno en sus Sig_Neighborhood las 2 tasas de transmisión:

- por una parte se envía la misma información 2 veces a través del sistema,
- 20 - por otra parte, unas incoherencias en el seno de la topología de los ART deberían ser tratadas entonces por FIRE.

NIR_TOPO_07/010

Anuncio de las características orientadas de los enlaces lógicos

25 Cuando un FIRE transmite el Sig_Neighborhood del NIR local hacia unos NIR vecinos, debe suprimir toda información que dependa de la orientación de los enlaces y que se refiera a los enlaces orientados en los que es destino (es decir en los que no es la fuente).

Módulo 18 NIR_TOPO_08: marcado de los datos de señalización para generar la no secuenciación en la recepción

Los Sig_Neighborhood son marcados con un número de secuencia, elegido por la fuente de este Sig_Neighborhood.

30 **NIR_TOPO_08/010**

Número de secuencia de los Sig_Neighborhoods

Cuando FIRE transmite el Sig_Neighborhood del NIR local hacia unos NIR vecinos, debe incluir en él un número de secuencia que permita detectar los reinicios de los nodos y los desencadenantes introducidos por la transmisión de la red.

35 Cuando las máquinas sobre las que se ha implantado FIRE están sincronizadas (unos segundos después), FIRE debe utilizar una fecha como valor del número de secuencia.

Módulo 19 NIR_TOPO_09 Cálculo de la topología global

Principios de construcción de la topología global

40 A partir de todos los Sig_Neighborhoods recibidos, cada NIR construye el gráfico de la topología partiendo de sí mismo, después de sus vecinos, etc., sin tener en cuenta más que las informaciones suministradas por el nodo analizado: cuando se analiza el Sig_Neighborhood de un nodo A, se tratan unos enlaces orientados que parten de A hacia todos los NIR declarados en este Sig_Neighborhood como vecinos de A. Se denominará a este principio de construcción del gráfico la "construcción orientada".

45 El principio de construcción orientada permite generar la ausencia de noción de envejecimiento de los Sig_Neighborhoods. Clásicamente, para generar la desaparición de un nodo (avería, destrucción o simplemente no accesibilidad temporal), los protocolos de estados de enlaces consideran que la no recepción de la vecindad de este nodo, pendiente un cierto tiempo, significa que es necesario suprimir las informaciones de vecindad de este enlace.

Esto se basa en el hecho de que repiten regularmente las vecindades. Como FIRE, para economizar la banda y conducir a la fiabilización de los intercambios más adaptados a las redes, no repite las vecindades sino que las fiabiliza salto por salto, este mecanismo de envejecimiento no puede funcionar.

- 5 El principio subyacente en la construcción orientada es el siguiente: cuando un nodo A desaparece, sus vecinos se dan cuenta. Los vecinos "más próximos" del nodo (por ejemplo: B) nos anunciarán entonces (indirectamente, por su nueva vecindad) la desaparición de su enlace con el nodo A. Incluso si se conserva el Sig_Neighborhood de A (que puede permanecer verdadero o falso, no se puede saber), el enlace entre A y B se convierte en únicamente orientado de A hacia B, y no de B hacia A. A se convierte entonces en inaccesible a partir de B.

Algoritmo de construcción de la topología global.

- 10 Sea 'a' el nodo local.
- Sea NAT el conjunto de los nodos a tratar, es decir los nodos en los que es necesario analizar el Sig_Neighborhood para añadir unos enlaces al gráfico de topología. Inicialmente, $NAT = \{a\}$.
- Sea NDT el conjunto de los nodos ya tratados, es decir los nodos en los que el Sig_Neighborhood ya ha sido tenido en cuenta. Inicialmente, $NDT = \emptyset$.
- 15 Sea G el gráfico de topología global, representado en la forma de un conjunto de enlaces, siendo cada enlace un triplete, constituido por los 2 nodos extremos del enlace y por la red de transmisión cruzada. Inicialmente, $G = \emptyset$. Mientras que $NAT \neq \emptyset$, realizar el tratamiento siguiente:
- Sea n el primer elemento de NAT.
 - o Sustraer n de NAT: $NAT = NAT - \{n\}$
 - 20 - Sea V el conjunto de los vecinos contenidos en el Sig_Neighborhood de n.
 - Añadir al gráfico G el conjunto de los enlaces entre n y los elementos de V:
 - o Para cada v de V, hacer $G = G \cup \{(n, v, R_T)\}$. (Siendo R_T la red de transmisión).
 - Sea VJT el subconjunto de V, cuyos elementos no aparecen en NDT. VJT representa los vecinos que no han sido tratados nunca antes.
 - 25 o Por definición: $VJT = V - NDT$
 - Añadir estos vecinos al conjunto de los vecinos a tratar:
 - o $NAT = NAT \cup VJT$
 - Añadir n al conjunto de los nodos ya tratados:
 - o $NDT = NDT \cup \{n\}$
 - 30 - Si NAT está vacío:
 - o Entonces la construcción del gráfico se ha terminado.
 - o Si no, continuar el tratamiento volviéndolo a tomar en "Sea n el primer elemento de NAT".

El procedimiento de acuerdo con la invención presenta particularmente las ventajas listadas a continuación: el protocolo FIRE se basa en cuatro grandes principios:

- 35 - La recuperación de las topologías de los medios,
 - Una difusión fiabilizada,
 - Una gestión de los nodos de destino y no de las interfaces de salida,
 - Una emisión pertinente de información (No emisión de información conocida por los nodos vecinos.)

Principio 1 (P1): Recuperación de las topologías de los medios

- 40 La red de transmisión (UHF, VHF,...) sube la topología local a los nodos. Cada nodo toma conocimiento de su topología local sin que FIRE emita el más mínimo paquete, salvaguardando de ese modo la banda pasante de la red.

Principio 2 (P2): Difusión fiabilizada

- 45 Las informaciones de topología intercambiadas entre los nodos se difunden de manera fiable, gracias a los mecanismos siguientes.

Difusión

5 Cada nodo, a partir de su topología local subida por la red de transporte (P1), y de la vecindad de sus vecinos, establece un subconjunto finito y determinista de pares de nodos para los que él será el reenvío de las vecindades (RSN). Esta auto elección es por construcción local y no requiere ninguna transmisión suplementaria por parte de FIRE.

De ese modo, por ejemplo, si un nodo A se auto elige reenvío de vecindad (RSN) para el par de nodos vecinos (B, C), todo mensaje de vecindad emitido por B (y respectivamente por C) será retransmitido por A hacia C (respectivamente hacia B). Por construcción la difusión se limita grandemente por tanto con relación a la difusión clásica de desbordamiento.

10 *Fiabilización*

La fiabilización de los mensajes de vecindad es en cuanto a sí misma efectuada mediante reconocimiento. Este reconocimiento se puede efectuar por la función de encaminamiento de la red ("forwarding") o por la capa del medio.

Principio 3 (P3): Gestión de los nodos de destino y no de la interfaz de salida

15 Al contrario que muchos protocolos descritos en la literatura, FIRE se basa en un enfoque de gestión de los nodos de destino, y no de las interfaces de salida.

Las informaciones de topología se emiten hacia un nodo en particular y no sobre una red. Esto permite, en caso de redes paralelas, no utilizar más que una de las redes para emitir el paquete de señalización de vecindad hacia este mismo nodo, limitando de ese modo la banda pasante consumida. La elección de esta red (la más rápida, la más robusta, la que cubre la mayor parte de nodos de destino) se deja a la función de encaminamiento de la red.

20 **Principio 4 (P4): Emisión pertinente de información**

Basándose en el principio P3, cuando dos nodos A y B son vecinos en el sentido topológico del término (P1), no es necesario para A (respectivamente, B) transmitir a B (respectivamente, A) unas informaciones comunes. Sólo se transmiten las informaciones suplementarias, y por tanto pertinentes.

Esto confiere al procedimiento de acuerdo con la invención las ventajas siguientes:

- 25
- Una ausencia de tráfico en caso de topología estable
 - Reducida volumetría de los intercambios del protocolo
 - En caso de redes paralelas, ausencia de tráfico sobre ciertas redes
 - Rápida convergencia

30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de enrutado fiabilizado en el seno de un sistema que comprende una o varias redes compuestas de varios nodos ligados entre sí por unos medios de comunicación, comprendido dicho sistema un acceso a la red de transmisión o ART encargado de transmitir sobre un medio físico los datos hacia un próximo nodo de interconexión de la red NIR, utilizando dicho sistema un protocolo de enrutado de estados de enlace que construye la tipología de los nodos en el seno del sistema de nodos **caracterizado porque** dicho procedimiento de enrutado determina la topología lógica de los nodos de interconexión de la red NIR utilizando en combinación los módulos siguientes:

- Módulo 11 NIR_TOPO_01: Descubrimiento de la Vecindad gracias a las funciones intrínsecas de las redes físicas.
- Módulo (12): NIR_TOPO_02: afinado de las informaciones suministradas por los ART para mejorar la estabilidad del protocolo.
- Módulo (13): NIR_TOPO_03: principio de distribución de las vecindades hacia el conjunto de los NIR.
- Módulo (14): NIR_TOPO_04: Reenvío de las informaciones asociadas a un nodo (vecinos, enlaces y otras características) Sig_Neighborhoods por un subconjunto de los nodos NIR (reenvíos de Sig_Neighborhood).
- Módulo 15 NIR_TOPO_05: Fiabilización salto a salto de la transmisión de los Sig_Neighborhoods entre los diferentes nodos.
- Módulo 16 NIR_TOPO_06: Transmisión de los Sig_Neighborhoods en punto a multipunto.
- Módulo 17 NIR_TOPO_07: Anuncio de las características orientadas de los enlaces lógicos únicamente por los enrutadores de origen de los enlaces.
- Módulo 18 NIR_TOPO_08: Marcado de los datos de señalización para generar la no secuenciación en recepción.
- Módulo (19): NIR_TOPO_09: cálculo de la topología global.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado porque** dicho módulo de cálculo de la topología global ejecuta las etapas siguientes:

- Sea 'a' el nodo local.
- Sea NAT el conjunto de los nodos a tratar correspondiente a los nodos de los que es necesario analizar el Sig_Neighborhood para añadir unos enlaces al gráfico de topología. Inicialmente, $NAT = \{a\}$.
- Sea NDT el conjunto de los nodos ya tratados, es decir los nodos en los que el Sig_Neighborhood ya ha sido tenido en cuenta. Inicialmente, $NDT = \emptyset$.
- Sea G el gráfico de topología global, representado en la forma de un conjunto de enlaces, siendo cada enlace un triplete, constituido por los 2 nodos extremos del enlace y por la red de transmisión cruzada. Inicialmente, $G = \emptyset$. Mientras que $NAT \neq \emptyset$, realizar las etapas siguientes:
- Sea n el primer elemento de NAT.
 - o Sustraer n de NAT: $NAT = NAT - \{n\}$
 - Sea V el conjunto de los vecinos contenidos en el Sig_Neighborhood de n.
 - Añadir al gráfico G el conjunto de los enlaces entre n y los elementos de V:
 - o Para cada v de V, hacer $G = G \cup \{(n, v, R_T)\}$. (Siendo R_T la red de transmisión).
 - Sea VJT el subconjunto de V, cuyos elementos no aparecen en NDT. VJT representa los vecinos que no han sido tratados nunca antes.
 - o Por definición: $VJT = V - NDT$
 - Añadir estos vecinos al conjunto de los vecinos a tratar:
 - o $NAT = NAT \cup VJT$
 - Añadir n al conjunto de los nodos ya tratados:
 - o $NDT = NDT \cup \{n\}$
 - Si NAT está vacío:
 - o Entonces la construcción del gráfico se ha terminado.
 - o Si no, continuar el tratamiento volviéndolo a tomar en "Sea n el primer elemento de NAT".

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo (11) de descubrimiento de la vecindad utiliza los módulos y las etapas siguientes:

el módulo de transmisión o "FORWARDER" se apoya en las redes de transmisión para calcular sus

informaciones de vecindad, **NIR_TOPO_01/010**,

cada acceso a una Red de Transmisión ART del nodo NIR suministra al protocolo de acuerdo con la invención, la topología de la red elemental de la que forma parte, utilizar una topología comprende la descripción de un gráfico de los nodos que tenga las propiedades siguientes:

5 Cada nodo representa un NIR o un reenvío de la transmisión. Cada enlace es un enlace simétrico, en el sentido de la posibilidad de transmisión, y, para un nodo, cada extremo del enlace transmite hacia el otro enlace, Utilizar una función de resolución de direcciones NIR en la dirección de enlace y la función recíproca asegurada por el ART, la topología suministra el contenido de las direcciones de los nodos NIR,

10 **NIR_TOPO_01/020**

Cuando el ART suministra una topología de red elemental al procedimiento de acuerdo con la invención, suministra las informaciones complementarias siguientes:

- Tasa de transmisión de cada enlace, con orientación del enlace en caso de tasas de transmisión no simétricas,
- Tiempos de acceso medio al canal físico de cada enlace,
- Calidad de cada enlace: bueno, medio, malo, deducido, por ejemplo por unas informaciones suministradas por el módem situado en el medio físico del sistema.

4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo (12) de afinado de las informaciones suministradas por el ART comprende la ejecución de las etapas siguientes:

20 **NIR_TOPO_02/010**

De acuerdo con las características dinámicas de las redes de transmisión, afinar ciertas variaciones de las características de los enlaces antes de incluirlas en las vecindades difundidas a los otros nodos, y

NIR_TOPO_02/020

25 Para generar las redes en malla y afinar la evolución de su topología, clasificar los números de saltos en 3 categorías (próximo, mediano, lejano) con una histéresis para entrar y salir de cada categoría en función del número de saltos reales,

Finalmente, con el fin de que las vecindades se puedan enviar a los NIR vecinos "nominalmente", poner al día y suministrar la topología en 1 salto al FORWARDER.

NIR_TOPO_02/030

30 Con la recepción de la topología de una red elemental, y una vez efectuada la operación de afinado (**NIR_TOPO_02/020**), almacenar la topología alisada en una tabla Local_Topologie_Table.

Cuando se modifica la Local_Topologie_Table, entonces la función de construcción del gráfico recalcula el gráfico y pone al día a continuación la topología de los NIR.

5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado porque** dicho módulo (14) NIR_TOPO_04 de reenvío de las informaciones asociadas un nodo ejecuta los módulos siguientes:

NIR_TOPO_04/010:

Un nodo N es RSN potencial para un par de nodos (A, B), $n^{\circ}(A) < n^{\circ}(B)$, si y solamente si se cumplen todas las condiciones siguientes

- A y B son vecinos de N,
- A y B no forman parte de una misma red elemental,
- N tiene un Sig_Neighborhood(A) y un Sig_Neighborhood(B) en su tabla de los Sig_Neighborhoods, B está ausente de Sig_Neighborhood(A).

NIR_TOPO_04/020:

Sea un par de vecinos (A, B).

45 Sea $nc(i)$ el número de pares de vecinos reenviados por cada nodo i RSN potencial de (A, B), los pares tenidos en cuenta deben ser detectables por todos los otros modos RSN potenciales de (A, B).

Sea max_nc el máximo de los $nc(i)$, calculado sobre el conjunto de los RSN potenciales de (A, B).

Dicho protocolo de acuerdo con la invención se elige como RSN para un par de vecinos (A, B) si y solamente si:

50 es RSN potencial para el par (A, B),
y si respeta una de las tres condiciones siguientes:

- 1º Es el único nodo RSN potencial para el par (A, B),
- 2º Es el único nodo i cuyo $nc(i) = max_nc$
- 3º Entre todos los nodos i cuyo $nc(i) = max_nc$, tiene el identificador de nodo más pequeño.

55 dicho procedimiento FIRE guarda la lista de los pares (A, B) para los que es RSN en la tabla RSN_Status_

Table.

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 **caracterizado porque** ejecuta para la elección del reenvío de las informaciones al menos las etapas siguientes
- 5 Sea a el nodo local, es decir aquel nodo sobre el que se ejecuta el algoritmo.
 Sea V_a el conjunto de los nodos vecinos de a . V_a es la vecindad local, calculada a partir de las informaciones suministradas por los ART.
 Sea $W_{a,i}$ el conjunto de los vecinos de un nodo $i \in V_a$. $W_{a,i}$ es el conjunto de los nodos contenidos en el Sig_Neighborhood de i .
 Si no se recibe ningún Sig_Neighborhood, $W_{a,i} = \{a\}$.
- 10 Sea L el conjunto de los nodos de la topología local, constituida por el nodo local, unos nodos vecinos y unos nodos vecinos en dos saltos. $L = V_a \cup W_{a,i} / i \in V_a$
- Etapas 1**
 La primera etapa consiste en construir, para cada nodo $n \in L$, el conjunto conocido de los nodos vecinos de n , V_n .
 Si $n \in V_a$, $V_n = W_{a,n}$ por definición
- 15 Si $n \notin V_a$, $V_n = \{\text{nodos } i, \text{ tales que } n \in W_{a,i}\}$
- Etapas 2**
 La segunda etapa consiste en establecer, para cada nodo n , el conjunto de los pares (i, j) tales que i y j son vecinos de n , pero no son vecinos entre sí, siendo indicado dicho conjunto por C_n .
 Sea $n \in L$. Se tiene entonces $C_n = \{(i, j) \text{ con } i \text{ y } j \text{ perteneciendo a } V_n, \text{ tales que } i \neq j, i \notin V_j, \text{ y } j \notin V_i\}$
- 20 Indicando por C , la unión de los C_n , para todos los nodos de L : $C = \bigcup_{n \in L} C_n$. C contiene el conjunto de los pares de nodos de la topología local L que son vecinos en 2 saltos sin ser vecinos entre sí.
 Por construcción, C_n es el conjunto de los pares para los que n es RSN potencial.
- Etapas 3**
 La tercera etapa consiste en determinar, para cada par c de nodos distantes en 2 saltos y no vecinos entre sí, el conjunto de los RSN potenciales del par c , indicado por R_c .
 Sea $c \in C$; $R_c = \{\text{nodos } n, \text{ tal que } c \in C_n\}$.
- 25 Indiquemos por R , la unión de los R_c , para todos los pares c de C : $R = \bigcup_{c \in C} R_c$.
- Etapas 4**
 La cuarta y última etapa consiste en determinar el conjunto de los pares para los que el nodo local (nodo a) es reenvío, ejecutando las etapas siguientes:
- 30 Afectando de una ponderación a cada RSN potencial
- Para cada nodo $n \in L$:
- asociar una ponderación a n , ponderación igual al número de pares para los que n es el reenvío potencial.
- 35
$$p(n): L \rightarrow N$$

$$n \rightarrow \text{Número de } R_i \in R, \text{ tales que } n \in R_i$$
- o utilizando una función de ponderación adaptada para seleccionar los nodos, cualquiera que sea el nodo de la topología local sobre el que se efectúa el cálculo.
7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 **caracterizado porque** el cálculo de los pares para los que el nodo local es reenvío se ejecuta mediante las etapas siguientes:
- 40 Sea $C_RSN(a)$, el conjunto de los pares para los que ' a ' es RSN. $C_RSN(a)$ se calcula de la manera siguiente:
- Para cada par c de C para el que $a \in R_c$:
 - o Sea R_{c_PM} el conjunto de los nodos de R_c cuya ponderación es máxima. $R_{c_PM} = \{i \in R_c, \text{ tal que } p(i) \geq p(j), \text{ cualquiera que sea } j \in R_c\}$
 - o Sea n_m el nodo de número más pequeño que pertenece a R_{c_PM} (no existe más que uno y sólo uno).
 - o El nodo ' a ' es RSN de ' c ' si y solamente si $n_m = a$ o bien: $c \in C_{RSN(a)}$ si solamente si $n_m = a$.
- 45
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 **caracterizado porque** un NIR A , RSN para unos pares (X_i, Y_i) reenvía todos los Sig_Neighborhood recibidos de X_i hacia el nodo Y_i (y *recíprocamente de Y_i hacia X_i*), salvo si:
- 50 A ha recibido ya este Sig_Neighborhood (mismo par [fuente, número de secuencia]) o una versión más reciente, proveniente de Y_i (*respectivamente, X_i*), Y_i (*respectivamente, X_i*) figura ya en la tabla de los Sig_Neighborhoods de A , como destinatario de este Sig_Neighborhood (mismo par [fuente, número de secuencia]) o de una versión más reciente,

Y_i (*respectivamente, X_i*) es el nodo de origen del Sig_Neighborhood,
 Y_i (*respectivamente, X_i*) es un vecino del nodo de origen del Sig_Neighborhood.

5 9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 **caracterizado porque** cuando un NIR A se convierte en RSN para un par (X, Y), reenvía hacia Y todos los Sig_Neighborhood almacenados que haya recibido de X (y *recíprocamente*), salvo si:

A ha recibido ya este Sig_Neighborhood (mismo par [fuente, número de secuencia]) proveniente de Y (*respectivamente, X*),
 Y (*respectivamente, X*) figura ya en la tabla de los Sig_Neighborhood de A, como destinatario de este Sig_Neighborhood (mismo par [fuente, número de secuencia]),
 10 Y (*respectivamente, X*) es el nodo de origen del Sig_Neighborhood,
 Y (*respectivamente, X*) es un vecino del nodo de origen del Sig_Neighborhood.

10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 9 **caracterizado porque** para cada Sig_Neighborhood recibido, el procedimiento verifica si existe un Sig_Neighborhood del mismo nodo de origen y de número de secuencia idéntico más reciente:

15 Si es así, entonces el procedimiento debe suprimir el Sig_Neighborhood recibido.
 Si no el procedimiento almacena, en una tabla denominada Distant_Neighborhood_Table:

el número del NIR de origen del Sig_Neighborhood (es decir, el que ha generado inicialmente el Sig_Neighborhood),
 el número de secuencia del Sig_Neighborhood,
 20 la lista de los NIR vecinos que han enviado al nodo local un Sig_Neighborhood (NIR de origen). Esta lista es indicada como LPHR (List Of Previous Hops NIRs),
 el contenido del Sig_Neighborhood recibido. El contenido del Sig_Neighborhood está constituido por los enlaces del nodo de origen con sus vecinos, siendo cada enlace un par de:

- o número de nodo vecino,
- o red de transmisión a cruzar para unirse al nodo vecino.

25

El número de secuencia del Sig_Neighborhood almacenado es el número de secuencia más reciente presente en la lista LPHR.

11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 9 **caracterizado porque** cada NIR almacenado en una tabla Distant_Neighborhood_Table, para cada Sig_Neighborhood recibido:

30 la lista de los NIR vecinos a los que el nodo local ha reenviado un Sig_Neighborhood (NIR_origine) y que lo han adquirido positivamente, siendo indicada dicha lista por LANH (List of Acknowledged Next Hops).

12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 5 a 9 **caracterizado porque** a continuación de un recálculo de la vecindad local o de la topología, el procedimiento conserva en la tabla de los Sig_Neighborhood distantes (Distant_Neighborhood_Table) todos los Sig_Neighborhood de los nodos que hayan desaparecido.

35

13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo (15) NIR_TOPO_05 de fiabilización salto por salto de la transmisión de los Sig_Neighborhood hacia unos NIR vecinos se sitúa en los ART.

14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo (16) NIR_TOPO_06 de transmisión de los Sig_Neighborhood en punto a multipunto realiza las etapas siguientes durante la transmisión de un Sig_Neighborhood hacia unos NIR vecinos, el procedimiento solicita a las capas subyacentes utilizadas el envío del Sig_Neighborhood en el modo punto a multipunto.

40

El remitente duplica entonces el Sig_Neighborhood si debe ser emitido en diferentes redes elementales, A continuación, cada ART decide proceder a uno o varios envíos, con una fiabilización adaptada (compárese con NIR_TOPO_05), de acuerdo con el tipo y la naturaleza de la red subyacente (punto a punto o de difusión, fiable o con pérdidas importantes).

45

15. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14 **caracterizado porque** comprende un módulo NIR_TOPO_03/030, comprendiendo dicho procedimiento las etapas siguientes:

siendo transmitido un Sig_Neighborhood local hacia unos vecinos N_i , dicho procedimiento determina cuáles son las informaciones de este Sig_Neighborhood ya conocidas para cada vecino N_i , tales como la conectividad de radio, la medida de las tasas de transmisión, y la supresión a continuación de dichas informaciones del Sig_Neighborhood para formar un Sig_Neighborhood aligerado indicado como Sig_Neighborhood_Transmitted[N_i], transmitiendo a continuación el procedimiento los Sig_Neighborhood_Transmitted[N_i] a las etapas de la reivindicación 14, y **porque** dicho procedimiento reconstituye el Sig_Neighborhood(N) para cada Sig_Neighborhood_Transmitted recibido y para cada una de las topologías de

50

las redes elementales, ejecutando las etapas siguientes:

- 5 cálculo del CRC sobre el Sig_Neighborhood aligerado reconstituido,
 si el CRC es diferente del CRC contenido en el
 Sig_Neighborhood_Transmitted, entonces almacenar el Sig_Neighborhood(N) en una tabla Distant_
 Neighborhood_Table y, si existe un Sig_Neighborhood_Transmitted(N) en la tabla Neighborhood_
 Rebuilding_table (21), borrarlo,
 NIR_TOPO_03/060: a cada recepción de una nueva topología de red elemental proveniente de un ART,
 para cada Sig_Neighborhood_Transmitted presente en la tabla Neighborhood_Rebuilding_table:
- 10 Reconstruir el Sig_Neighborhood teniendo en cuenta los datos de la nueva topología de la red elemental,
 Calcular el CRC sobre el Sig_Neighborhood(N) reconstituido,
 Si el valor de este CRC es igual al valor del CRC contenido en el Sig_Neighborhood_Transmitted,
 Entonces el procedimiento almacena el Sig_Neighborhood(N) reconstituido en la tabla Distant_
 Neighborhood_Table y lo borra de la tabla Neighborhood_Rebuilding_table,
 Si no, no hacer nada.
- 15 16. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo (17) NIR_TOPO_07 de
 anuncio de las características orientadas de los enlaces lógicos ejecuta las etapas siguientes cuando hay una
 transmisión del Sig_Neighborhood del NIR local hacia unos NIR vecinos, el procedimiento retira toda información
 que dependa de la orientación de los enlaces y que se refiera a los enlaces orientados para los que es el destino.
- 20 17. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 **caracterizado porque** el módulo (18) NIR_TOPO_08 de
 marcado de los datos de señalización para generar la no secuenciación en la recepción, ejecuta las etapas
 siguientes
- En el caso de una transmisión del Sig_Neighborhood del NIR local hacia unos NIR vecinos, el procedimiento
 incluye un número de secuencia que permita detectar los reinicios de los nodos y los desencadenantes
 introducidos por la transmisión de la red;
 - Cuando las máquinas sobre las que se ha implantado el procedimiento están sincronizadas (unos segundos
 después), dicho procedimiento utiliza una fecha como valor del número de secuencia.
- 25

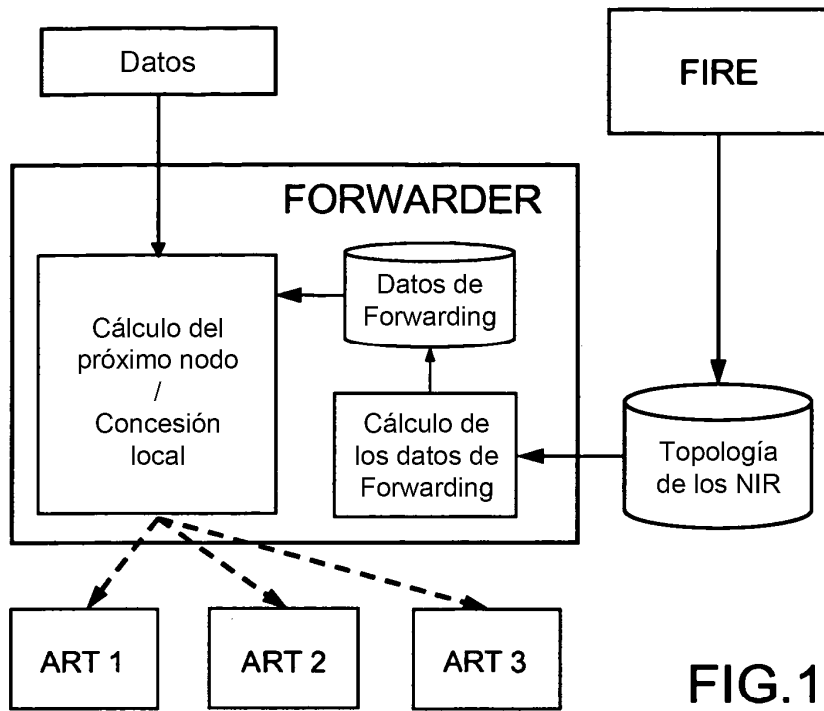


FIG.1

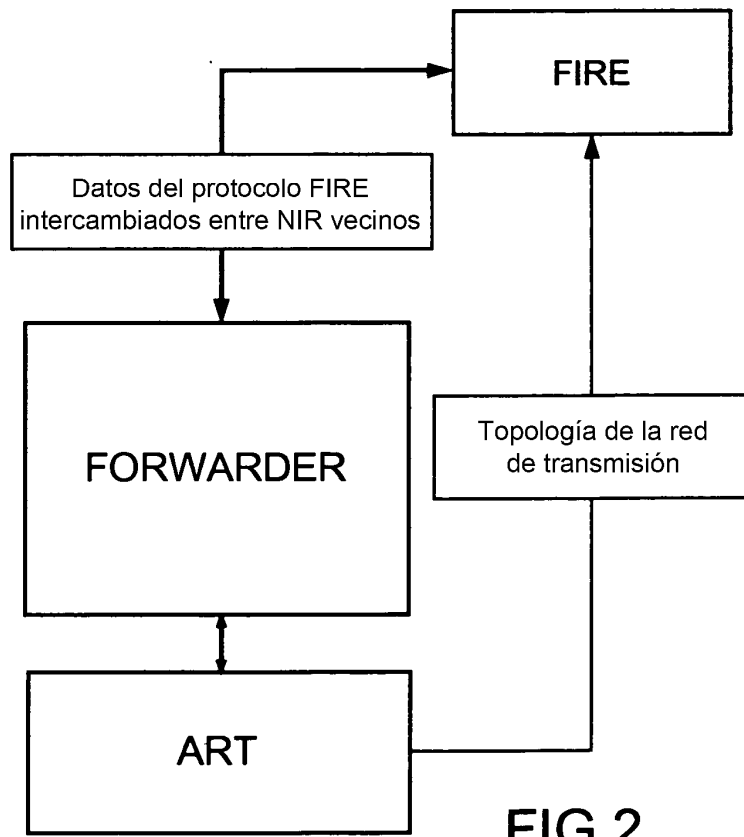


FIG.2

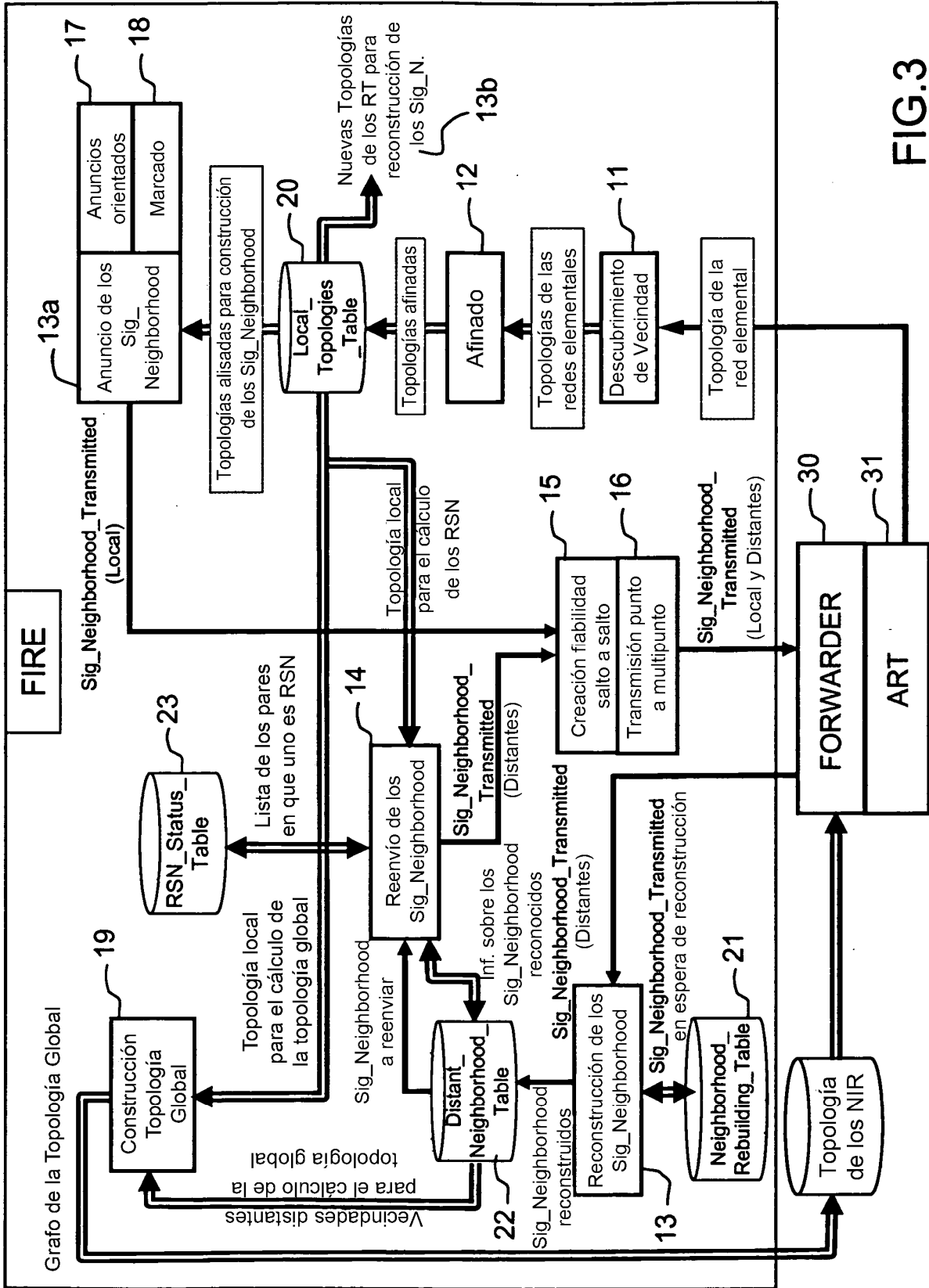


FIG.3

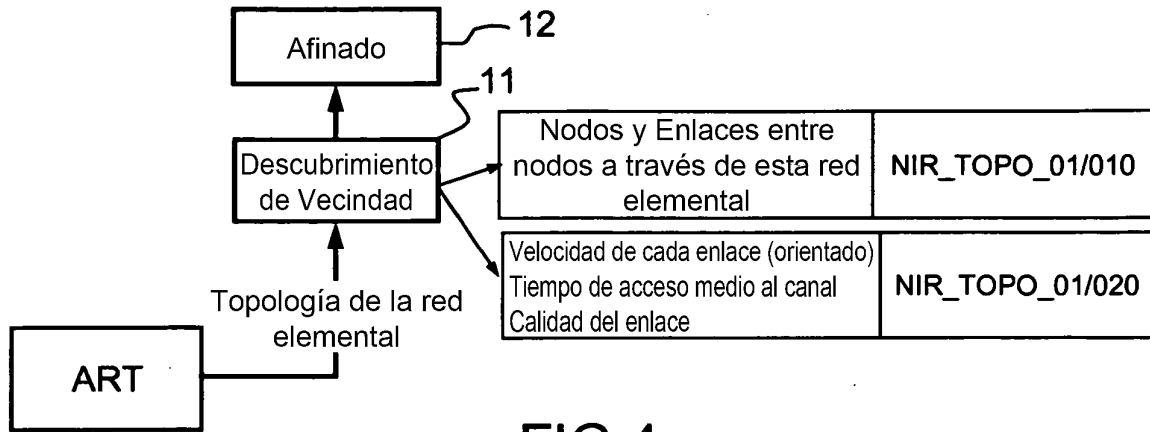


FIG.4

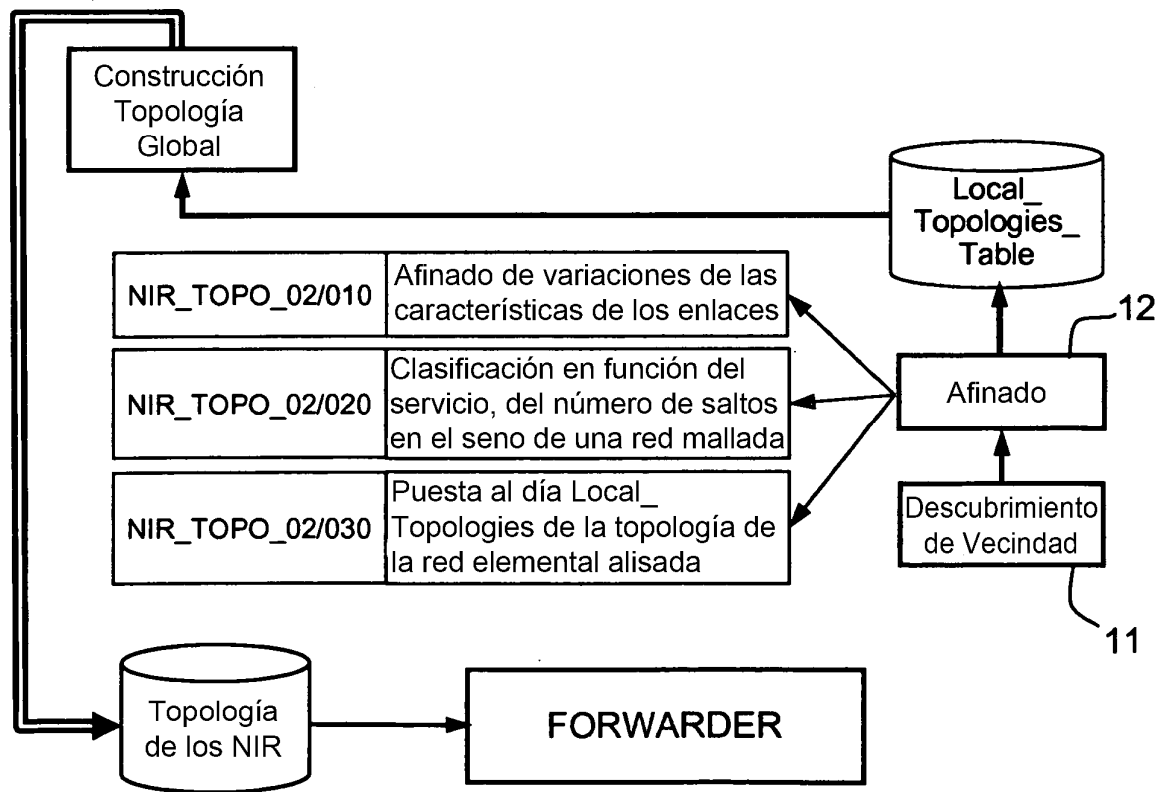
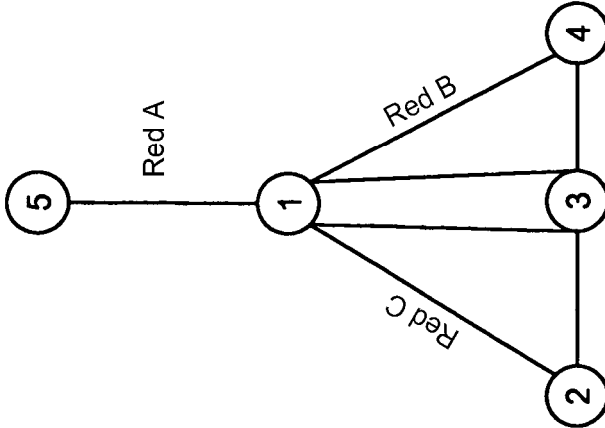


FIG.5



Sig_Neighborhood de 1 vale:
 $\{(1 \leftrightarrow 2 / C), (1 \leftrightarrow 3 / C), (1 \leftrightarrow 3 / B), (1 \leftrightarrow 4 / B), (1 \leftrightarrow 5 / A)\}$

Sig_Neighborhood de 1 transmitido hacia 2, es decir Sig_Neighborhood_Transmitted[2](1)
 $= \{(1 \leftrightarrow 5 / A), (1 \leftrightarrow 3 / B), (1 \leftrightarrow 4 / B)\}$

Sig_Neighborhood_Transmitted[3](1)
 $= \{(1 \leftrightarrow 5 / A)\}$

Sig_Neighborhood_Transmitted[4](1)
 $= \{(1 \leftrightarrow 5 / A), (1 \leftrightarrow 2 / C), (1 \leftrightarrow 3 / C)\}$

Sig_Neighborhood_Transmitted[5](1)
 $= \{(1 \leftrightarrow 2 / C), (1 \leftrightarrow 3 / C), (1 \leftrightarrow 3 / B), (1 \leftrightarrow 4 / B)\}$

=> Para cada uno de los vecinos de 1, Sig_Neighborhood_Transmitted es diferente. Saber si la transmisión será más óptima enviando 4 mensajes (1/destinatario) o 1 único mensaje que contenga la concatenación de la vecindad transmitida (que vale Sig_Neighborhood) no es la competencia de FIRE. Solo FORWARDER sabe cuál es la mejor red de salida (por ejemplo para unirse a 3) y solo los ART saben si la red es punto a punto, de emisión u otra.

=> FIRE forma un mensaje que da al FORWARDER (cf. NIR_TOPO_06):
 Parte 1 = $\{(1 \leftrightarrow 5 / A)\}$, destinos = 2, 3, 4
 Parte 2 = $\{(1 \leftrightarrow 2 / C), (1 \leftrightarrow 3 / C)\}$, destinos = 4, 5
 Parte 3 = $\{(1 \leftrightarrow 3 / B), (1 \leftrightarrow 4 / B)\}$, destinos = 2, 5

FIG.6

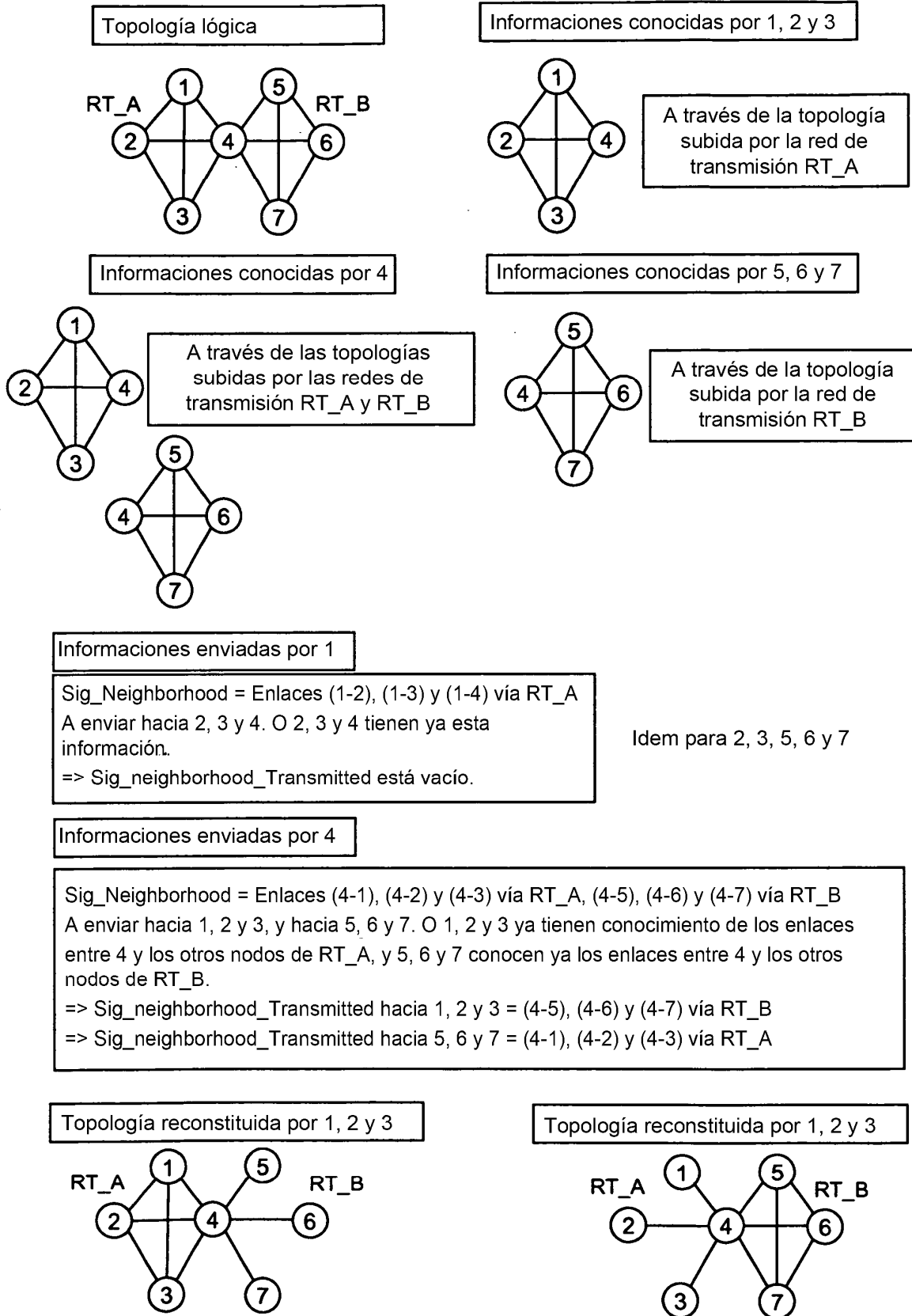
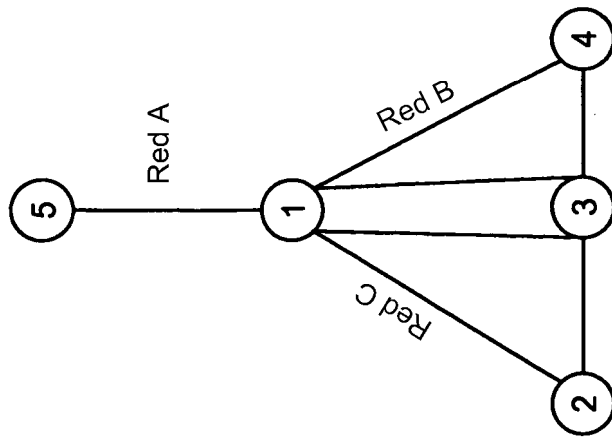


FIG.7



Reconstitución de Sig_neighborhood(1) en relación a 3:

- Sig_neighborhood_Transmitted(1) recibido por 3:
= {{(1<->5 / A)}}

- Informaciones locales:

- Topología suministrada por la red B: (1,3), (1,4), (3,4)
=> (1<->3 / B) y (1<->4 / B) deben figurar en Sig_neighborhood(1)

- Topología suministrada por la red C: (1,2), (1,3), (2,3)
=> (1<->2 / C) y (1<->3 / C) deben figurar en Sig_neighborhood(1)

=> Sig_neighborhood(1) vale entonces:
{{(1<->5 / A), (1<->3 / B), (1<->4 / B), (1<->2 / C), (1<->3 / C)}}

FIG.8

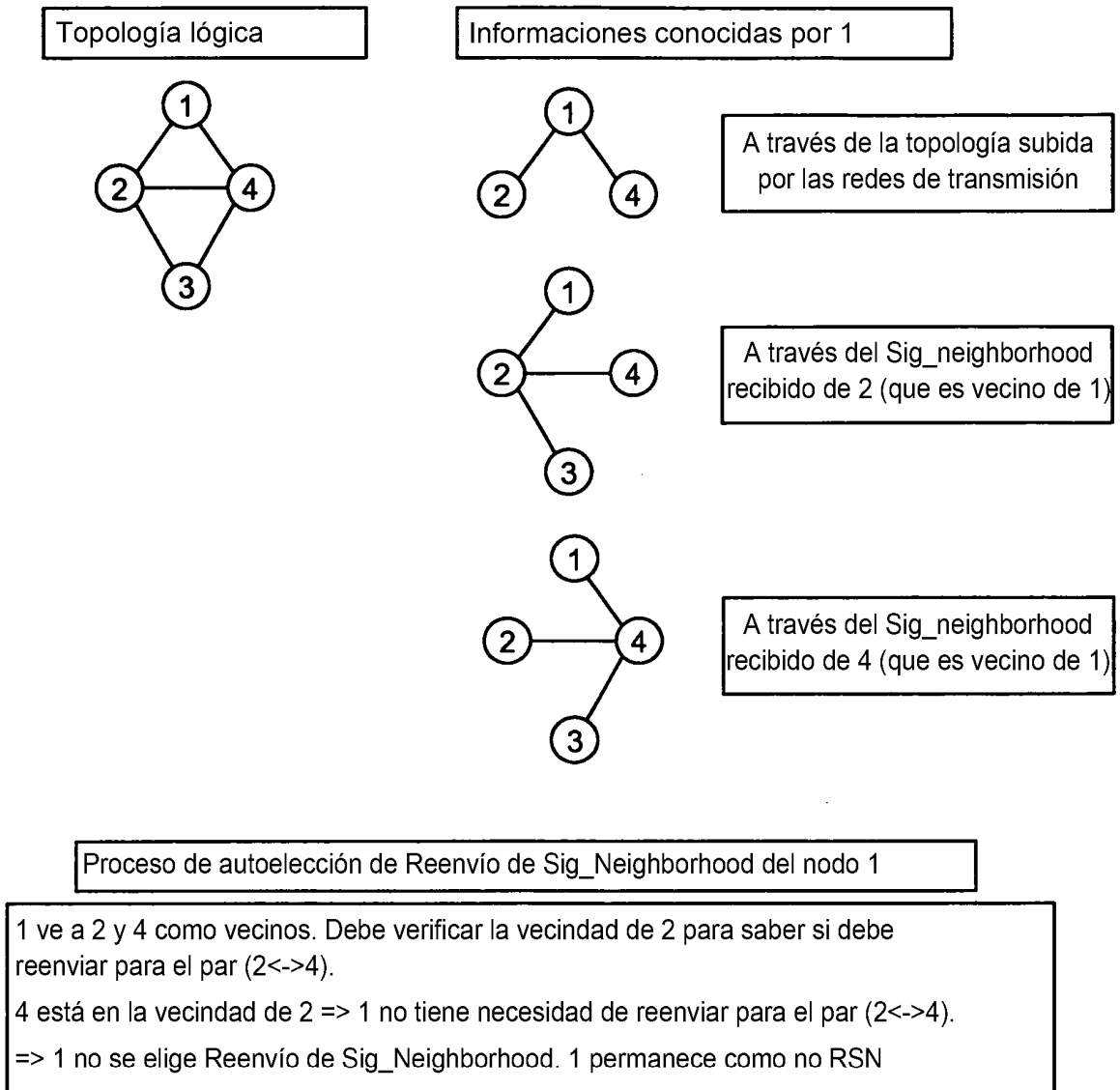
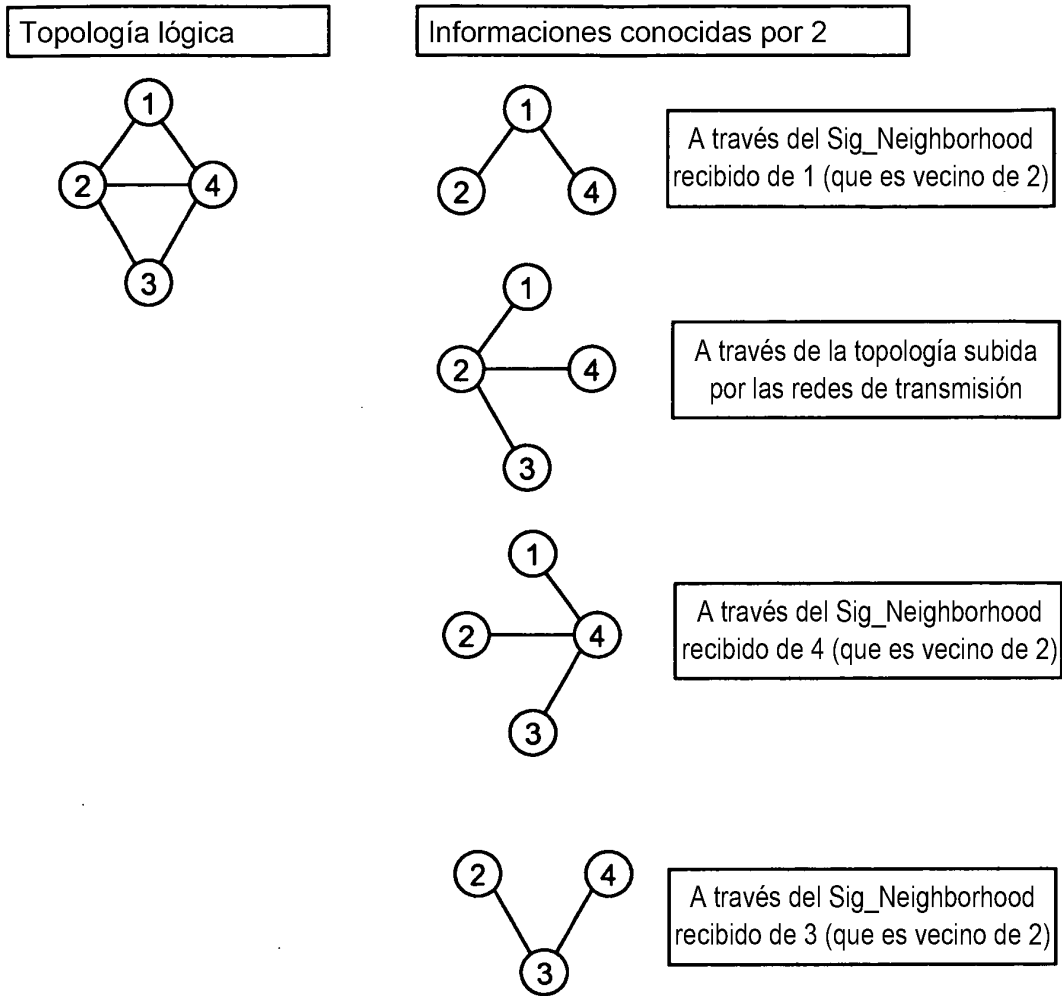


FIG.9



Proceso de autoelección del Reenvío de Sig_Neighborhood del nodo 1

2 ve a 1, 3 y 4 como vecinos. Debe verificar las vecindades de 1 y de 3 para saber si debe reenviar para los pares (1<->3), (1<->4) y (3<->4)

3 no está en la vecindad de 1 => 2 es el reenvío potencial entre (1<->3).

4 está en la vecindad de 1 => 2 no tiene necesidad de reenviar para el par (1<->4)

4 está en la vecindad de 3 => 2 no tiene necesidad de reenviar para el par (3<->4)

=> 2 es el RSN potencial para (1<->3)

=> Por simetría, 4 es también el RSN potencial para (1<->3)

Para no tener más que un único RSN, solo el nodo que tiene el número más pequeño se elige RSN.

=> 2 es RSN para el par (1<->3)

FIG.10

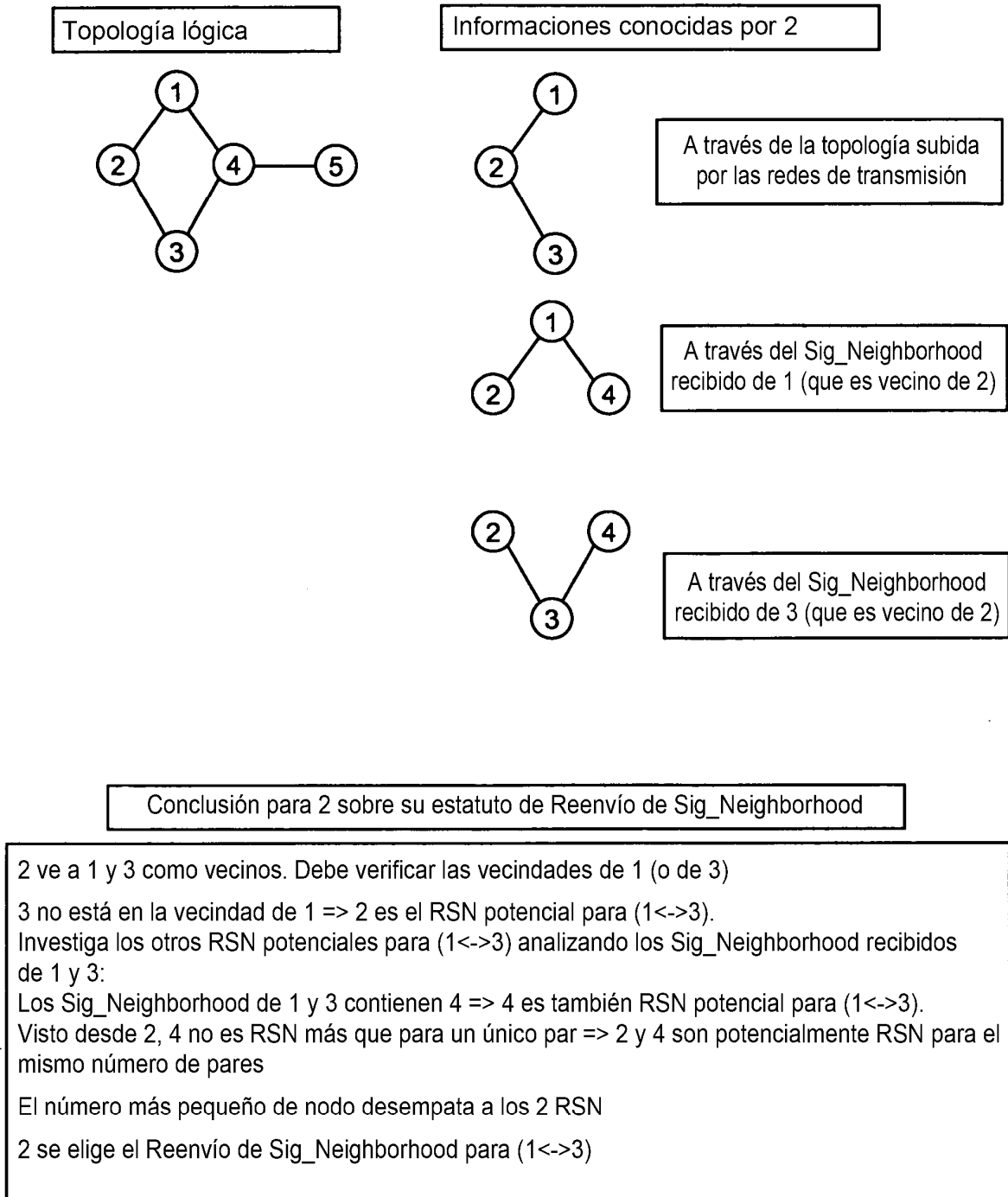
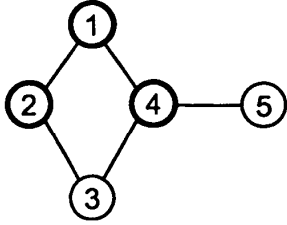


FIG.11

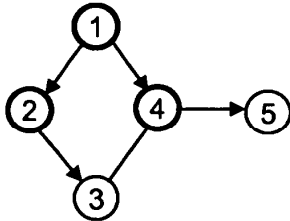
Topología lógica



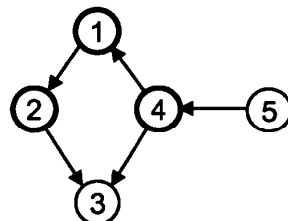
Reenvío de Sig_Neighborhood

1 es RSN de (2<->4)
 2 es RSN de (1<->3)
 4 es RSN de (1<->5) y (3<->5)
 Nota. Un RSN no reenvía jamás un Sig_Neighborhood hacia el nodo de origen o un vecino del nodo de origen (si tiene conocimiento).
 Por ej.: incluso si 2 es RSN para (1<->3), si recibe de 1 un Sig_Neighborhood(3), 2 no reenvía este Sig_Neighborhood hacia 3.

Distribución de un Sig_Neighborhood generado por 3

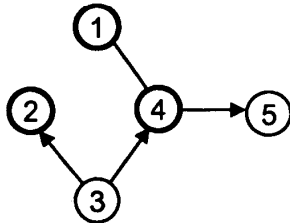


Distribución de un Sig_Neighborhood generado por 5



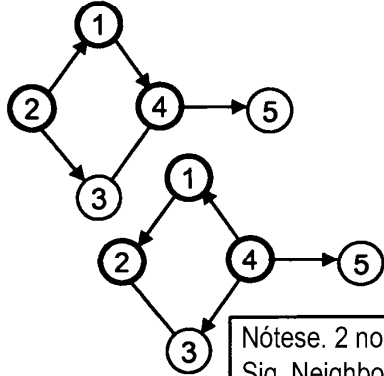
Nótese. 3 recibe 2 veces el Sig_Neighborhood(5). Cuando conoce la topología, el envío de 2 hacia 3 es inútil, pero 2 no tiene más que una visión parcial: su reenvío desde 1 hacia 3 es sistemática. De hecho, si 4 fuese RSN de (1<->3), la distribución sería óptima. Vemos ahí un caso de sub optimización del algoritmo

Distribución de un Sig_Neighborhood generado por 3



Nótese. 1 no reenvía Sig_Neighborhood(3) entre 2 y 4 porque 2 sabe que 4 es vecino de 3.

Distribución de un Sig_Neighborhood generado por 2 y 4



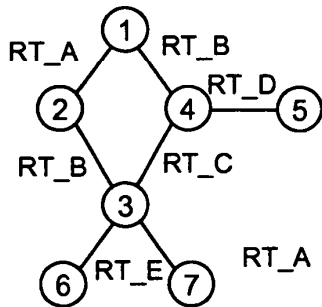
Nótese. 2 no reenvía Sig_Neighborhood(4) entre 1 y 3 porque 2 sabe que 3 es vecino de 4.

FIG.12

Distant_Neighborhood_Table					
Nodo de Origen	Número de secuencia	LPHR [Vecinos emisores (es decir que han recibido el sig_neighborhood del nodo de origen)]	LANH [Vecinos receptores que han acusado recibo]	Contenido del Sig_Neighborhood	
		Nodo	Nodo	Nodo	Red de Transmisión

FIG.13

Topología lógica



Reenvío de Sig_Neighborhood

- 1 es RSN de (2<->4)
- 2 es RSN de (1<->3)
- 3 es RSN de (2<->6), (2<->7), (4<->6), (4<->7)
- 4 es RSN de (1<->5) y (3<->5)

Ejemplo de Distant_neighborhood_Table del nodo 3

Distant_Neighborhood_Table					
Nodo de Origen	Número de secuencia	LPHR [Vecinos emisores (es decir que han recibido el sig_neighborhood del nodo de origen)]	LANH [Vecinos receptores que han acusado recibo]	Contenido del Sig_Neighborhood	
		Nodo	Nodo	Nodo	Red de Transmisión
1	SN_10	2	6,7	2	RT_A
				4	RT_B
2	SN_8	2	6 ⁽¹⁾	1	RT_A
				3	RT_B
4	SN_9	4	6,7	1	RT B
				3	RT C
				5	RT D

(1) 7 no ha reconocido aún el Sig_neighborhood(2) del número de secuencia SN_8.
 (2) Nigún Sig_neighborhood de 5, 6 y 7 se ha recibido por 3 (Optimización de los Sig_neighborhood_Transmitted)

FIG.14