

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 423 989**

51 Int. Cl.:

H04L 12/751 (2013.01)

H04W 40/24 (2009.01)

H04W 84/06 (2009.01)

H04B 7/185 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2009** **E 09382039 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2013** **EP 2237504**

54 Título: **Red AD HOC móvil**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.09.2013

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 NORTH RIVERSIDE
CHICAGO, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**PENA ORTIZ, NICHOLAS;
SCARLATTI, DAVID;
MONTES RELANZON, CARLOS;
MOLINA, ROBERTO y
OLLERO, ANIBAL**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 423 989 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

Red AD HOC móvil

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a las redes ad hoc móviles, y en particular a las redes ad hoc que usan las aeronaves. Las realizaciones de la invención se refieren al mantenimiento de una configuración de enlaces activos e inactivos hacia y desde un nodo de origen a sus nodos vecinos en la red ad hoc.

10 Antecedentes

Se conocen bien las redes ad hoc. Comprenden una serie de nodos correspondientes a transmisores/ receptores individuales. Para cualquier nodo, habrá algunos nodos cercanos que estén en la cobertura de comunicación directa, y éstos se denominan nodos vecinos. Otros nodos estarán fuera de la cobertura de comunicación directa y por eso solo pueden contactarse indirectamente con múltiples saltos a través de nodos intermedios. La naturaleza ad hoc de la red significa que, para cualquier mensaje específico, pueden haber muchas rutas posibles a través de diversos nodos intermedios que conectan un nodo de origen con un nodo destino. Dirigir un mensaje a lo largo de una ruta específica necesita de una comparación de las rutas disponibles para seleccionar la mejor disponible. Para este fin, pueden asociarse los costes con cualquier ruta específica en base a, por ejemplo, el número de saltos entre los nodos, la longitud de cada salto, la velocidad de un nodo, etc. Son bien conocidos los algoritmos para determinar los costes relativos de las rutas disponibles, siendo un ejemplo el algoritmo de Dijkstra.

Se conocen Las redes ad hoc móviles que usan los nodos móviles, y se han propuesto usando automóviles o aeronaves como nodos (normalmente en combinación con algunos nodos fijos tales como estaciones base o estaciones terrestres). Puede encontrarse un ejemplo de una red ad hoc de automóviles en el documento EP-A-1.964.318. Puede encontrarse un ejemplo de una red ad hoc de aeronaves en el documento W02007/059560. Como los nodos son móviles y se mueven rápidamente por su propia naturaleza, la red tiene que reconfigurarse de forma continua para reflejar el hecho de que los pares de nodos respectivos se moverán dentro y, a continuación, fuera de la cobertura de la comunicación directa unos con otros.

Implementar dicha red ad hoc para las aeronaves tiene un problema específico en que la velocidad relativa de la aeronave puede ser demasiado alta. Esto tiene un impacto adverso sobre la duración posible de un enlace de comunicación directa entre dos nodos, específicamente en el que los nodos se corresponden con un par de aeronaves que vuelan en direcciones opuestas.

La presente divulgación se refiere al mantenimiento de una configuración de enlaces activos e inactivos hacia y desde un nodo de origen a sus nodos vecinos en una red ad hoc móvil. Las redes ad hoc que usan aeronaves son de una preocupación específica.

El documento titulado "Route Maintenance in a wireless mobile ad hoc network " de Shih-Lin Wu et al contenido en el System Sciences, 2000, "Actas de la 33ª Conferencia Anual Internacional de Hawaii 4-7, 2000, Piscataway, NJ, Estados Unidos", 4 de Enero de 2000, páginas 3015 hasta 3024, ISBN: 978-0-7695-0493-3 desvela cómo mejorar varios protocolos actuales con la optimización de las rutas y la capacidad de recuperación de la ruta local, de tal manera que los caminos de encaminamiento pueden ajustarse sobre la marcha, mientras que todavía se están usando para entregar paquetes o pueden parchearse en un ancho de banda inalámbrico mínimo y se retrasa la transmisión de paquetes mientras se producen errores de ruta.

Sumario

Con estos antecedentes, la presente invención reside en un método de acuerdo con la reivindicación 1. Una primera realización de la invención desvela un método de mantenimiento de los enlaces de datos hacia y desde un nodo de origen en una red ad hoc móvil. La red comprende nodos incluyendo nodos vecinos correspondientes a los nodos dentro de la cobertura de comunicación directa con el nodo de origen. Los nodos vecinos comprenden nodos vecinos activos y nodos vecinos inactivos, estando los nodos vecinos activos conectados al nodo de origen a través de los enlaces de datos activos respectivos y teniendo los nodos vecinos inactivos los enlaces de datos inactivos respectivos al nodo de origen, formando los enlaces de datos activos e inactivos una configuración actual de los enlaces de datos. Un enlace de datos inactivo puede ser un enlace activo anterior que ha pasado a inactivo, y puede haber un enlace que nunca ha estado activo. En este último sentido, un "enlace inactivo" puede ser simplemente teórico, es decir, un enlace que podría existir pero no lo hace.

El método comprende lo siguiente. (1) Identificar uno o más nodos vecinos perdidos correspondientes a los nodos vecinos de la configuración actual que han salido de la cobertura de comunicación directa con el nodo de origen y/o están a punto de salir de la cobertura de comunicación directa. (2) Determinar las configuraciones revisadas de los enlaces de datos en las que cualquiera de los enlaces activos a los nodos vecinos perdidos se consideraran inactivos y, para al menos una configuración revisada, un enlace inactivo se considera activo y/o un enlace activo adicional se

considera inactivo. (3) Determinar un valor de configuración general para cada configuración revisada en base a, al menos en parte, el coste del envío de mensajes desde el nodo de origen usando la configuración revisada de los enlaces de datos. (4) Seleccionar una nueva configuración de los enlaces de datos a partir de las configuraciones revisadas de acuerdo con el valor de la configuración general determinado. (5) Formar la nueva configuración de los enlaces de datos rompiendo los enlaces de datos con los nodos vecinos que están activos en la lista de configuración actual de los enlaces de datos pero inactivos en la nueva lista de configuración de los enlaces de datos, y formar los enlaces de datos con los nodos vecinos que están inactivos en la lista de configuración actual de los enlaces de datos y activos en la nueva lista de configuración.

De forma ventajosa, los enlaces de datos se mantienen solo para un subconjunto de nodos vecinos. Esto puede ser ventajoso debido a las limitaciones de hardware, por ejemplo, una aeronave puede tener una serie limitada de canales que puede soportar. La configuración de los enlaces puede reconfigurarse cuando un nodo vecino sale de la cobertura de comunicación directa o cuando un nuevo nodo vecino entra en la cobertura de comunicación directa. La nueva configuración de los enlaces activos e inactivos puede seleccionarse en base a los costes de las rutas a través de los nodos vecinos favoreciendo de este modo la formación de enlaces con nodos vecinos que proporcionan costes bajos.

La etapa (1) puede implementarse de tal manera que solo se identifican los nodos vecinos activos que han salido/están a punto de salir de la cobertura.

Las realizaciones de la invención pueden implementarse de manera que se identifiquen uno o más nodos vecinos perdidos que han salido de la cobertura de comunicación directa con el nodo de origen. En este caso, los enlaces activos ya se han vuelto inactivos, porque la comunicación directa, por definición, ya no es posible. Por lo tanto, la etapa (5) no necesita una rotura activa de los enlaces a los nodos vecinos perdidos porque esto ocurrirá de forma automática. Todos estos nodos vecinos perdidos pueden identificarse.

Como alternativa, las realizaciones de la invención pueden implementarse de manera que se identifiquen uno o más nodos vecinos perdidos que están a punto de salir de la cobertura de comunicación directa. En este caso, se activan los enlaces rotos a los nodos vecinos perdidos, es decir, los enlaces estaban inactivos antes de que salieran de la cobertura de contacto directo. Todos estos nodos vecinos perdidos pueden identificarse.

Puede usarse una combinación de los métodos anteriores, es decir, cuando la predicción de que los nodos vecinos están a punto de salir de contacto, puede realizarse una comprobación por cualquiera de los nodos vecinos que están ya inesperadamente fuera de cobertura de contacto directo.

Opcionalmente, el método comprende además la identificación de nuevos nodos vecinos que han entrado en la cobertura de comunicación directa con el nodo de origen o están a punto de entrar en la cobertura de comunicación directa. La etapa (2) puede entonces incluir, opcionalmente, determinar al menos una configuración revisada en la que se considere un enlace activo para un nuevo nodo vecino.

La etapa (2) puede comprender determinar las configuraciones revisadas en todas las que cualquiera de los enlaces de datos activos a los nodos vecinos perdidos se considera inactivo. Opcionalmente, una configuración revisada no tiene enlaces adicionales cambiados de activos a inactivos, o viceversa. Puede determinarse opcionalmente una configuración revisada adicional para cada enlace inactivo en la que ese enlace inactivo se considera activo. Por otra parte, pueden determinarse configuraciones revisadas en las que cualquiera de los enlaces de datos activos a los nodos vecinos perdidos se consideran inactivos y dos o más enlaces adicionales se cambian de activo a inactivo, o viceversa. Estos métodos ven las configuraciones revisadas determinadas que tienen acuerdos variables de enlaces activos e inactivos. A continuación, se determina el valor de configuración general para cada configuración revisada y puede implementarse la mejor configuración como la nueva configuración.

Pueden seguirse diversos métodos de generación de configuraciones revisadas, tal como al azar o dirigidos. Por ejemplo, puede determinarse que las configuraciones revisadas crean, de manera preferente, enlaces inactivos para los nodos vecinos activos que son los intérpretes pobres y/o crea, de manera preferente, enlaces activos para los nodos vecinos inactivos que parecen ser buenos intérpretes. El rendimiento de cualquier nodo vecino puede determinarse por la referencia al tráfico que ve. Por ejemplo, los puntos pueden asignarse a un nodo vecino de acuerdo con los mensajes que envía. Los puntos pueden reflejar el coste asociado con el nodo vecino para reenviar el mensaje y/o la prioridad del mensaje enviado.

La etapa (3) puede comprender determinar el mejor coste de envío de mensajes desde el nodo de origen a sus respectivos nodos de destino, y asignar los puntos al valor de configuración general de acuerdo con los mejores costes. Opcionalmente, el método comprende asignar los puntos al valor de configuración general de acuerdo con tanto los mejores costes como la prioridad de cada mensaje.

Opcionalmente, la etapa (3) comprende asignar puntos al valor de configuración general considerando los mensajes enviados por el nodo de origen durante un período anterior, tal como durante un período inmediatamente anterior de, por ejemplo, los cinco segundos previos. Esto puede aplicarse tanto a los mensajes procedentes del nodo de origen

como también a los recibidos por y posteriormente transmitidos por el nodo de origen. Por lo tanto, los mensajes enviados en un período anterior pueden verse en el contexto de que se envían con la configuración revisada y los puntos que resultan dados al valor de configuración general calculado. Esto puede requerir una referencia a las tablas de encaminamiento que cubren el período anterior, así como la configuración de los nodos vecinos durante el mismo período anterior. Por ejemplo, puede guardarse un registro por cada posible nodo de destino de los mensajes enviados a ese nodo en el período anterior. Cada vez que se envía un mensaje, este puede añadirse al registro del nodo de destino (opcionalmente, junto con una indicación de prioridad). Los mensajes antiguos se eliminan de los registros después de que su edad supere la longitud del período anterior. Los puntos del valor de configuración general se pueden calcular a partir de estos registros.

Seleccionar la nueva configuración en la etapa (4) puede comprender seleccionar la configuración revisada con el mejor valor de configuración general.

Opcionalmente, si no puede enviarse un mensaje desde el nodo de origen debido a que un nodo vecino requerido es un nodo vecino inactivo, el método puede comprender además lo siguiente. (i) Determinar las configuraciones revisadas de los enlaces de datos en las que un enlace inactivo se considera activo y/o un enlace activo se considera inactivo. (ii) Determinar un valor de configuración general para cada configuración revisada en base a, al menos en parte, el coste del envío de mensajes desde el nodo de origen usando la configuración revisada de los enlaces de datos. (iii) Seleccionar una nueva configuración de los enlaces de datos de las configuraciones revisadas de acuerdo con el valor de configuración general determinado. (iv) Formar la nueva configuración de los enlaces de datos rompiendo los enlaces de datos con los nodos vecinos que están activos en la lista de la configuración actual de los enlaces de datos pero inactivos en la nueva lista de configuración, y formar los enlaces de datos con cualquiera de los nodos vecinos que esté inactivo en la lista de la configuración actual y activo en la nueva lista de configuración.

Por lo tanto, el método puede adaptarse a los mensajes que en teoría pueden enviarse pero que se impide que se les envíe debido a un enlace necesario a un nodo vecino que está inactivo. Cuando se produce tal situación, se produce una reconfiguración. Opcionalmente, la etapa (i) comprende determinar las configuraciones revisadas de los enlaces de datos en todas las que el enlace inactivo al nodo vecino requerido se considera activo. Esto garantiza que la nueva configuración permitirá la entrega del mensaje. Cuando más de un único nodo vecino puede usarse para enviar el mensaje, el método puede asegurar que al menos uno de estos nodos vecinos se considera activo en todas las configuraciones revisadas.

En una realización alternativa, no se realiza una reconfiguración cada vez que no puede entregarse un mensaje debido a un nodo vecino requerido que está inactivo. En cambio, tales mensajes se encolan, por ejemplo, en una memoria intermedia. La memoria intermedia se comprueba y puede dispararse una reconfiguración en función de los contenidos de la memoria intermedia.

Por ejemplo, si no puede enviarse un mensaje desde el nodo de origen debido a que un nodo vecino requerido es un nodo vecino inactivo, el método puede comprender además lo siguiente. (a) Poner el mensaje dentro de una cola y aumentar la puntuación de la cola. (b) Determinar cuándo la puntuación de la cola supera un límite. Cuando se supera el límite. (c) Determinar las configuraciones revisadas de los enlaces de datos en las que un enlace inactivo se considera activo y/o un enlace activo se considera inactivo. (d) Determinar un valor de configuración general para cada configuración revisada en base a, al menos en parte, el coste del envío de mensajes desde el nodo de origen usando la configuración revisada de los enlaces de datos. (e) Seleccionar una nueva configuración de los enlaces de datos a partir de las configuraciones revisadas de acuerdo con el valor de configuración general determinado. (f) Formar la nueva configuración de los enlaces de datos rompiendo los enlaces de datos con los nodos vecinos que están activos en la lista de la configuración actual pero inactivos en la nueva lista de configuración, y formar los enlaces de datos con cualquiera de los nodos vecinos que esté inactivo en la lista de la configuración actual y activo en la nueva lista de configuración.

Opcionalmente, el método comprende además determinar si puede enviarse alguno de los mensajes almacenados actualmente en la cola como un nodo vecino inactivo requerido que es ahora un nodo vecino activo de acuerdo con la nueva configuración, y enviar cualquiera de tales mensajes encolados. Puede disminuirse la puntuación de la cola siempre que se envíe un mensaje encolado.

Cada nodo vecino tiene una puntuación del nodo vecino asociada. El método puede comprender además asignar puntos a las puntuaciones del nodo vecino de acuerdo con el tráfico que ve ese nodo vecino. Opcionalmente, si una puntuación del nodo vecino cae por debajo de un límite, el método puede comprender además lo siguiente. (A) Determinar las configuraciones revisadas de los enlaces de datos en las que un enlace inactivo se considera activo y/o un enlace activo se considera inactivo. (B) Determinar un valor de configuración general para cada configuración revisada en base a, al menos en parte, el coste del envío de mensajes desde el nodo de origen usando la configuración revisada de los enlaces de datos. (C) Seleccionar una nueva configuración de los enlaces de datos a partir de los datos de las configuraciones revisadas de acuerdo con el valor de configuración general determinado.

(D) Formar la nueva configuración de los enlaces de datos rompiendo los enlaces de datos con los nodos vecinos que están activos en la lista de la configuración actual de los enlaces de datos pero inactivos en la nueva lista de

configuración de los enlaces de datos, y formar los enlaces de datos con cualquiera de los nodos vecinos que esté inactivo en la lista de la configuración actual de los enlaces de datos y activo en la nueva lista de configuración de los enlaces de datos.

- 5 Los puntos asignados a las puntuaciones del nodo vecino pueden escalarse de acuerdo con la prioridad de cada mensaje que ve el nodo vecino. Opcionalmente, el método comprende además asignar puntos a las puntuaciones del nodo vecino para cada mensaje enviado de acuerdo con el coste de envío de ese mensaje a través de ese nodo vecino.
- 10 Cualquiera de los métodos anteriores puede implementarse en el contexto de una red ad hoc que usa aeronaves como algunos, o todos, los nodos.

Breve descripción de los dibujos

- 15 Con el fin de que la presente divulgación pueda entenderse más fácilmente, se describirán ahora las realizaciones preferidas, a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1 es un esquema que muestra una red ad hoc que incluye una aeronave en una realización de la invención;

- 20 La figura 2 es un esquema que muestra el flujo de datos dentro y fuera de un sistema de comunicación de la aeronave configurado para su uso con una realización de la invención;

La figura 3 es un esquema adaptado de la figura 1 y muestra tres rutas posibles que puede tomar un mensaje durante la transmisión desde un nodo de origen a un nodo de destino;

- 25 La figura 4 es una representación esquemática de un método de obtención de una tabla de encaminamiento que puede usarse cuando se encamina un mensaje entre los nodos de la red de la figura 1;

La figura 5 es una representación esquemática de un método de determinación de un nodo vecino al que se envía un mensaje en base a la dirección del nodo de destino del mensaje;

La figura 6 es una representación esquemática adaptada de la figura 4, y se expande para mostrar cómo las posiciones del nodo pueden interpolarse entre las transmisiones de red;

- 30 Las figuras 7a y 7b son representaciones esquemáticas de dos métodos que muestran la etapa de cálculo de la tabla de encaminamiento de la figura 4 en mayor detalle;

La figura 8 ilustra una tabla de encaminamiento;

La figura 9 es una representación esquemática de un método adaptado de la figura 5, y que se expande para ilustrar cómo pueden alojarse las transmisiones fallidas en un nodo vecino seleccionado;

- 35 La figura 10 es una representación esquemática adaptada de la figura 1 y muestra cómo un nodo de origen puede formar los enlaces activos e inactivos a sus nodos vecinos para una configuración específica en una realización de la invención;

La figura 11 se corresponde a la figura 10 y muestra una nueva configuración de los enlaces activos e inactivos encontrados como resultado de la salida de cobertura de comunicación directa de un nodo vecino en una realización de la invención;

- 40 La figura 12 es una representación esquemática de un método adaptado de la figura 5, y se expande para ilustrar cómo pueden asignarse los puntos cuando se envía un mensaje para reflejar la bondad de los nodos vecinos individuales y la configuración del enlace general en una realización de la invención;

La figura 13 es una representación esquemática de un método de mantenimiento de enlaces en una red ad hoc en una realización de la invención; y

- 45 La figura 14 es una representación esquemática de un método alternativo de mantenimiento de enlaces en una red ad hoc en una realización de la invención.

Descripción detallada

- 50 A continuación, se describe una red ad hoc para proporcionar un contexto de la presente invención. Siguen los detalles más estrechamente relacionados con la invención reivindicada en el presente documento.

Visión general de la red

- 55 Se muestra en la figura 1 una instantánea de una red 10 ad hoc. La red tiene nodos 100-115 correspondientes a muchas aeronaves 102-115 y un par de estaciones 100-101 terrestres. El suelo se indica como 14, y el cielo se indica como 16. La red 10 ad hoc puede comprender también uno o más satélites, tal como el satélite 116. El número de nodos 102-115 de aeronaves, estaciones 100-101 terrestres y satélites 116 puede variar y el total que se muestra en la figura 1, y su disposición, es arbitraria. La comunicación directa es posible entre ciertos pares de nodos 100-115 como se indica mediante las líneas 20 de trazos. El que un par de nodos 100-115 puedan formar un enlace 20 directo está determinado por las coberturas de los nodos 100-115. En realizaciones más sofisticadas, se considera más información para determinar si un par de nodos 100-115 pueden formar un enlace 20 directo. Por ejemplo, los efectos del clima reinante y las altitudes de uno o ambos nodos 100-115 pueden tomarse en cuenta, ya que pueden alterar la distancia sobre la que puede mantenerse un enlace directo. En general, todos los pares de estaciones 100-101 terrestres pueden tratarse como que tienen un enlace 20 directo, como el que se muestra en 22,
- 60
- 65

que puede proporcionarse mediante una red de telecomunicaciones o similares. En esta realización, los satélites 116 se usan para transmitir información solamente y no reciben información de otros nodos 100-115. Se contemplan otras realizaciones en las que uno o más satélites 106 pueden transmitir y recibir mensajes hacia y desde los otros nodos 100-115, y así se convierten en nodos de "pleno funcionamiento" de la red 10. Para los fines de la siguiente descripción, el satélite 116 no se considera un nodo 100-115, a menos que se mencione específicamente como tal.

Los nodos 100-115 forman una malla que cubre la red 10 ad hoc. Ciertas partes de la malla estarán bien pobladas de nodos 100-115, tal como el área alrededor de las aeronaves 102 y 104. Otras partes de la malla estarán escasamente pobladas con nodos 100-115, formando agujeros en la malla tal como el que se muestra en 30.

Un mensaje puede viajar entre cualquier par de nodos 100-115, ya sea directamente o a través de otros nodos 100-115, en los que no está disponible un enlace 20 directo. Cada nodo 100-115 trata un mensaje saliente de la misma manera, independientemente de si el mensaje se origina desde ese nodo 100-115 o si el mensaje se ha recibido para su reenvío. Por lo tanto, es probable que un mensaje pase a través de un número de nodos 100-115, cada uno de los cuales actuará de la misma manera cuando reenvíen el mensaje. Por lo tanto, efectivamente, cada nodo 100-115 que reenvía el mensaje se convierte en un nodo de origen para el siguiente salto de la ruta del mensaje.

Para ilustrar la presente divulgación, se discutirá una realización de una aeronave 102-115 en más detalle. La aeronave elegida es la aeronave 102, y así será el nodo 102 de origen en la siguiente descripción. Como todas las aeronaves 102-115 son muy similares, la elección de la aeronave 102 es arbitraria. A continuación se describe la propia aeronave 102-115, así como los métodos que realiza en relación con la presente descripción. Estos métodos se practican por los otros nodos 100-115 en la red 10.

En la instantánea de la figura 1, un número limitado de nodos 101-106 puede comunicarse directamente con la aeronave 102. Estos nodos son el nodo 101 y los nodos 103-106 de aeronaves. Estos cinco nodos 101-106 se muestran dentro de la línea ovalada 40 de trazos que ilustra aproximadamente la cobertura de comunicación de la aeronave 102 (ya sea o no un enlace 20 directo que puede formarse, también depende de la cobertura de los otros nodos 101-106). Cada uno de estos nodos 101-106 representa un nodo 101-106 vecino para el nodo 102 de origen, es decir, un nodo 101-106 capaz de una comunicación directa con el nodo 102 de origen.

El nodo 102 de origen realiza al menos dos funciones de forma independiente, es decir, compilar una tabla 224 de encaminamiento (como se muestra en la figura 2) que refleja las posiciones actuales de los nodos 101-115 de la red 10 ad hoc y determinar el mejor nodo 101-106 vecino para enviar un mensaje para su reenvío a un nodo 100-115 de destino específico. La primera función se realiza periódicamente siempre que se actualizan las posiciones actuales de los nodos 100-115, y la segunda función puede realizarse a demanda (siempre que un mensaje necesita enviarse) por referencia a la tabla 224 de encaminamiento actual.

El nodo 102 de origen también puede realizar una tercera función opcional. Como se describirá en más detalle a continuación, el nodo 102 de origen puede mantener un número limitado de enlaces 20 a los nodos 101-106 vecinos como activos y dejar un número de enlaces 20 a los nodos 101-106 vecinos como inactivos. El mantenimiento de estos enlaces 20 incluye la reconfiguración de los enlaces 20 en respuesta a los cambios en la posición de los nodos 100-115 en la red 10. Esta función se describirá en más detalle más adelante. Por el momento, no se considerará esta función. En su lugar, se asume que el nodo 102 forma un enlace activo a un nodo 101-106 vecino cuando se va a enviar un mensaje a ese nodo 101-106 vecino.

En esta realización, se tratará el nodo 114 de aeronave como el nodo 114 de destino para un mensaje específico, aunque la elección de la aeronave 114 es arbitraria. El mensaje puede originarse desde el nodo 102 de origen, o puede haberse recibido por el nodo 102 de origen, por ejemplo desde el nodo 103, para su reenvío al nodo 114 de destino. Como el nodo 114 de destino está fuera de la cobertura de comunicación directa, el nodo 102 de origen debe determinar en su lugar a qué nodo 101-106 vecino debe enviarse el mensaje. De acuerdo con una realización de la presente invención, el nodo 102 de origen determina a qué nodo 101-106 vecino debe enviarse el mensaje para su reenvío sin determinar el resto de la ruta al nodo 114 de destino. Para hacer esto, el nodo 102 de origen consulta la tabla 224 de encaminamiento actual para determinar el mejor nodo 101-106 vecino. La compilación de la tabla 224 de encaminamiento se realiza de forma independiente de la determinación del encaminamiento de un mensaje específico. Para compilar la tabla 224 de encaminamiento, el nodo 102 de origen debe tener conocimiento de los nodos 101-115 que forman la red 10 ad hoc, y esta información se proporciona en las transmisiones 212 de red.

Flujo de datos en y a través de un nodo de aeronave

La propia aeronave 102 tiene poco que ver, o nada, en la forma de modificar el hardware. Como se apreciará, las aeronaves modernas son capaces de una transmisión de datos bidireccional, hacia y desde las estaciones 100-101 terrestres, otras aeronaves 102-115 y satélites 116. Estas instalaciones de comunicación pueden usarse para poner implementar las realizaciones de la presente invención, por ejemplo, antenas, procesadores, etc. Un procesador puede programarse para implementar las diversas realizaciones, es decir, un ordenador de la aeronave 102 puede configurarse para operar un programa de ordenador en una realización. Como alternativa, puede proporcionarse un

ordenador dedicado para implementar una realización de la presente invención.

La figura 2 muestra un sistema 202 de comunicación de aeronave de la aeronave 102 en forma esquemática. El sistema 202 de comunicación de aeronave puede comprender un ordenador, una antena y otro hardware necesario para enviar, recibir y procesar mensajes. Se muestra, por separado, una memoria 204 del sistema 202 de comunicación de aeronave. La figura 2 muestra también el flujo de datos dentro y fuera del sistema 202 de comunicación de aeronave.

El flujo de datos en el sistema 202 de comunicación de aeronave incluye los mensajes 210 y las transmisiones 212 de red recibidas por la aeronave 102, directamente desde las estaciones 100-101 terrestres y los satélites 116, o indirectamente a través de otra aeronave 103-115.

Las transmisiones 212 de red pueden transmitirse por las estaciones 100-101 terrestres y/o los satélites 116, y contienen información acerca de la red 10 ad hoc. En esta realización, la transmisión 212 de red contiene una lista de todos los nodos 100-115 en la red 10, la posición actual de cada nodo 100-115, la velocidad actual de cada nodo 100-115, la cobertura de comunicación de cada nodo 100-115 y un sello de tiempo. Esta información se usa por el sistema 202 de comunicación de aeronave, y al menos parte de la información se almacena en la memoria 204. Las razones para incluir toda esta información se harán evidentes a partir de la siguiente descripción. Como se muestra en la figura 1, la aeronave 102 puede recibir una transmisión 212 de red directamente desde la estación 101 terrestre. Para algunas aeronaves, como la aeronave 109, una transmisión 212 de red debe transmitirse a través de uno o más nodos como las aeronaves 110 y 111.

Los mensajes 210 entrantes contendrán la información de direccionamiento. Si la información de direccionamiento indica que la aeronave 102 es el nodo de destino para ese mensaje, el sistema 202 de comunicación de aeronave procesa el mensaje y pasa los datos asociados a la parte pertinente de la aeronave 102, tal como se indica en 214. Si la información de direccionamiento indica que el mensaje 210 debe reenviarse a otra parte, el sistema 202 de comunicación de aeronave procesa el mensaje determinando a cuál de sus nodos 101-106 vecinos se enviará el mensaje. Esto se realiza de la misma forma que para los mensajes procedentes de la aeronave 102.

El sistema 202 de comunicación de aeronave también transmite los mensajes 216 y 218. La figura 2 muestra los nuevos mensajes 216 procedentes de la aeronave 102 por separado a los mensajes 218 reenviados procedentes de otro lugar, aunque la elección del nodo 101-106 vecino y la transmisión de los mensajes 216 y 218 pueden manejarse de la misma manera independientemente del origen de un mensaje.

La figura 2 muestra parte de los bloques 221 a 226 de memoria de la memoria 204. Estos bloques 221 a 226 de memoria suministran de datos y rutinas al sistema 202 de comunicación de aeronave, tal como se describirá en más detalle a continuación. Algunos de estos bloques se muestran genéricamente como "otros datos 225" y "otras rutinas 226", mientras que otros 221-224 se muestran de forma individual.

Antecedentes del encaminamiento

La figura 3 muestra una situación hipotética en la que la aeronave 102 es el nodo 102 de origen para un mensaje que debe enviarse al nodo 114 de destino. Como no existe un enlace directo entre el nodo 102 de origen y el nodo 114 de destino, el mensaje debe encaminarse a través de una serie de otros nodos 100-115. Como se apreciará, pueden ser posibles muchas rutas diferentes. La figura 3 muestra tres de tales rutas posibles. Una primera ruta, mostrada como una línea de puntos y rayas en 310, ve el mensaje encaminado a través de la estación 101 terrestre, la estación 100 terrestre, la aeronave 113 y la aeronave 115 antes de alcanzar el nodo 114 de destino. Una segunda ruta, mostrada como una larga línea 320 discontinua, ve el mensaje encaminado a través de la aeronave 106, la aeronave 111, la aeronave 110 y la aeronave 112 antes de alcanzar el nodo 114 de destino. Una tercera vía, mostrada como una línea 330 de trazos cortos, ve el mensaje encaminado a través de la aeronave 105, la aeronave 109 y la aeronave 112 antes de alcanzar el nodo 114 de destino.

Cada una de las tres rutas 310-330 mostradas empiezan encaminándose a través de los diferentes nodos 101, 105 y 106 vecinos. También, las rutas 310-330 diferentes tienen ventajas diferentes. Por ejemplo, la ruta 330 tiene el menor número de nodos 100-115 y por lo tanto de saltos entre los nodos 100-115. La ruta 310 incluye un salto entre las estaciones 101 y 100 terrestres que ofrece normalmente un enlace de comunicación rápido y fiable.

De acuerdo con la técnica anterior, siempre que se genera una solicitud para enviar un mensaje, la aeronave 102 debe determinar cómo enviar el mensaje. Para hacer esto, los costes están asociados con los nodos 100-115 y/o los enlaces entre los nodos 100-115. El nodo 102 de origen usaría un algoritmo bien conocido tal como un algoritmo de Dijkstra para calcular el coste total de cada ruta posible hasta el nodo 114 de destino. La ruta con el coste más prometedor sería entonces elegida. Sin embargo, este enfoque necesita un cálculo largo que debe efectuarse cada vez que va a enviarse un mensaje. Por otra parte, la naturaleza dinámica de la red 10 significa que a menudo es poco práctico almacenar las rutas usadas previamente para su uso la próxima vez que se envíe un mensaje al mismo nodo 114 de destino.

En lugar de seguir tal enfoque, se propone un método que separe los cálculos de encaminamiento para determinar dónde enviar cualquier mensaje específico. Aunque los cálculos de encaminamiento usados para compilar la tabla 224 de encaminamiento hacen uso de las posiciones de todos los nodos 100 a 115 de red, simplemente resulta una solicitud para enviar un mensaje en una referencia a la tabla 224 de encaminamiento para determinar qué nodo 101-106 vecino es el que reenviará el mensaje: no está determinada la ruta completa para cualquier mensaje específico. El nodo 101-106 vecino que recibe el mensaje replica, a continuación, el método realizado en el nodo 102 de origen, y así sucesivamente hasta que el mensaje alcanza su nodo 114 de destino. En cada nodo 100-115, solo se determina el mejor nodo 101-106 vecino.

Con el fin de determinar el mejor nodo 101-106 vecino, se consulta una tabla 224 de encaminamiento almacenada en la memoria 204. Esta tabla 224 de encaminamiento se determina usando los cálculos de encaminamiento, como se describirá ahora con referencia a la figura 4. Cómo se usa la tabla 224 de encaminamiento para determinar el mejor nodo 101-106 vecino se describirá con referencia a la figura 5. Las figuras 4 y 5 se describirán primeramente en términos generales, y seguidamente con descripciones de detalles más finos.

Visión general de la compilación de la tabla de encaminamiento

Como se mencionó anteriormente, las transmisiones 212 de red se envían por las estaciones 100-101 terrestres y los satélites 116 que contienen información tal como una lista de los nodos 100-115, las posiciones de los nodos 100-115, las velocidades de los nodos 100-115, las coberturas de comunicación de los nodos 100-115 y un sello de tiempo. Estas transmisiones 212 de red pueden hacerse periódicamente, por ejemplo, cada treinta segundos. El nodo 102 de origen recibe las transmisiones 212 de red y esto dispara el sistema 202 de comunicación de aeronave para calcular una nueva tabla 224 de encaminamiento. Por lo tanto, la tabla 224 de encaminamiento almacenada en la memoria 204 se actualiza continuamente.

Como se muestra en la figura 4, un método de calcular y almacenar una tabla 224 de encaminamiento comienza en 410. Se recibe una transmisión 212 de red por el nodo 102 de origen, tal como se muestra en 420. La transmisión 212 de red se pasa al sistema 202 de comunicación de aeronave, tal como se muestra en la figura 2.

En 430 en la figura 4, el sistema 202 de comunicación de aeronave extrae las posiciones de los nodos 100-115 de la transmisión 212 de red recibida, así como la cobertura de comunicación de cada nodo 100-115. A partir de esta información y del conocimiento de su propia cobertura de comunicación, el sistema 202 de comunicación de aeronave puede determinar qué nodos 101 a 106 están en la cobertura de comunicación directa, es decir, el sistema 202 de comunicación de aeronave determina sus nodos 101-106 vecinos, como se muestra en 440. Esta lista de nodos 101-106 vecinos se almacena en la memoria 204 como la lista de vecinos actual mostrada en 221 de la figura 2.

Calcular la tabla 224 de encaminamiento necesita que se realicen los cálculos para determinar los costes de las diferentes rutas entre cada nodo 101-106 vecino y los otros nodos 100-115. Realizar tales cálculos necesita de una función de costes así, en la etapa 450, se usa la función 223 de coste que se recupera de la memoria 204. A continuación, se proporcionan detalles adicionales de la función de coste.

En 460, la función 223 de coste se usa para calcular los costes de las posibles rutas entre los nodos 100-115. Como se describirá en más detalle a continuación, se realiza un cálculo de los costes para cada nodo 101-106 vecino. Este cálculo de costes se usa para determinar, para cada nodo 101-106 vecino, el coste más bajo para una ruta a cada nodo de destino disponible (es decir, todos los demás nodos 100-115). Por lo tanto, la información que se deriva comprende una lista de los nodos 101-106 vecinos, con los datos de cada nodo 101-106 vecino que corresponden a cada otro nodo 100-115 (es decir, los nodos de destino potenciales) y el coste más bajo encontrado para alcanzar cada uno de estos nodos 100-115 de destino potenciales. A continuación, se proporcionan detalles adicionales de esta etapa.

En la etapa 470, esta información se almacena en la memoria 204 como la tabla 224 de encaminamiento, y por lo tanto el método termina en 480. A continuación, se describe un ejemplo de una tabla 224 de encaminamiento, y cómo se ordena la información.

Visión general del reenvío de mensajes

Antes de describir algunas de las etapas de la figura 4 con más detalle, se da ahora una descripción amplia de cómo puede usarse la tabla 224 de encaminamiento en un método de determinación de qué nodo 101-106 vecino es el más adecuado para recibir un mensaje. El método comienza en 510, cuando se dispara en 520 recibiendo una solicitud de mensaje para enviar un mensaje. Esta solicitud de envío de un mensaje puede derivarse de una solicitud de otro sistema en la aeronave 102 para enviar un mensaje (es decir, para un nuevo mensaje procedente de la aeronave 102), o puede derivarse internamente dentro del sistema 202 de comunicación de aeronave como resultado de un mensaje 210 entrante que debe reenviarse al nodo 114 de destino.

En 530, el sistema 202 de comunicación de aeronave obtiene la dirección 114 del nodo de destino. La dirección puede estar contenida dentro de la solicitud 520 de envío de mensajes, en cuyo caso el sistema 202 de comunicación de aeronave puede extraer simplemente la dirección. Como alternativa, el sistema 202 de comunicación de aeronave puede tener que determinar la dirección. Por ejemplo, la solicitud 520 de envío de mensajes puede especificar el número de vuelo de la aeronave, en cuyo caso el sistema 202 de comunicación de aeronave puede necesitar traducir eso a la dirección de nodo asignada dentro de la red 10 ad hoc. Esto puede hacerse con referencia a la información almacenada en la transmisión 212 de red, por ejemplo, la transmisión 212 puede indicar tanto la dirección del nodo actual y el código de vuelo de cada nodo 100-115. El direccionamiento de nodos (y actualización de estas direcciones) en redes ad hoc dinámicas es bien conocido y no se describirá más.

Con la dirección 114 del nodo de destino determinada, el método continúa en 540, en el que la tabla 224 de encaminamiento se recupera de la memoria 204. En 550, se accede a la tabla 224 de encaminamiento y se encuentra la dirección 114 del nodo de destino dentro de la tabla 224 de encaminamiento. Con el nodo 114 de destino encontrado en la tabla, se usan los datos asociados para determinar el mejor nodo 101-106 vecino para recibir el mensaje, por ejemplo, el nodo 105 vecino. A continuación, se realiza un intento de establecer un enlace y enviar el mensaje al mejor nodo 105 vecino en 570, y el método finaliza como se indica en 580. Una alternativa para ocuparse de una transmisión fallida se describe más adelante.

Suponiendo que el mensaje se recibe de manera segura por el nodo 105 vecino, el nodo 105 repite los métodos descritos en el presente documento con respecto al nodo 102 de tal manera que el mensaje se reenvía una vez más, por ejemplo al nodo 109. Como cada nodo 100-115 está usando las mismas transmisiones 212 de red y los mismos algoritmos, se asegura que el mensaje viaja por la ruta con el mejor coste.

A continuación se describirán detalles adicionales relativos al método de cálculo de la tabla 224 de encaminamiento.

Transmisiones de red entre actualizaciones

Como se describió anteriormente, las transmisiones 212 de red se pueden hacer cada 30 segundos. Sin embargo, puede ser deseable actualizar la tabla 224 de encaminamiento más a menudo que esto. Se muestra un método para lograr esto en la figura 6. La figura 6 se corresponde en general a la figura 4, y contiene las mismas etapas generales de determinar los nodos 100-115, determinar los nodos 101-106 vecinos, conseguir la función 223 de coste, calcular la tabla 224 de encaminamiento y almacenar la tabla 224 de encaminamiento (etapas correspondientes tienen números de referencia correspondientes). Sin embargo, en esta realización, el método de determinación de la localización de los nodos 100-115 es diferente en la figura 6, en comparación con la figura 4.

El método de la figura 6 comienza en 410. Como se indica en el bucle 675, el método se repite y se introduce un retraso de un segundo lo que conduce a una actualización de la tabla 224 de encaminamiento aproximadamente cada segundo. Otros intervalos de tiempo, tales como 5, 10, 30 segundos, o por ejemplo, sin limitación, se pueden implementar para actualizar la tabla de encaminamiento con una selección apropiada del retraso en el bucle 675. Para cada iteración del método, se realiza una comprobación en 620 para determinar si se ha recibido una nueva transmisión 212 de red desde la última iteración. Tanto si una transmisión 212 de red es nueva o no puede determinarse por referencia al sello de tiempo que incluye. Si se ha recibido una nueva transmisión 212 de red, el método continúa en la etapa 630 en la que se extraen la localización de los nodos 100-115 y las coberturas de comunicación de los nodos 100-115 de la misma manera que para la etapa 430 en la figura 4.

Si no se ha recibido una nueva transmisión 212 de red, el método continúa en la etapa 640, en la que se recupera la información de la última transmisión 212 de red, por ejemplo, a partir de otros datos 225 en la memoria 204. La información recuperada es la localización de los nodos 100-115, las velocidades de los nodos 100-115, las coberturas de comunicación de los nodos 100-115 y el sello de tiempo. Se realiza un simple cálculo en 650 para determinar la posición actual de los nodos 100-115 en base al sello de tiempo, la posición indicada de los nodos 100-115 y las velocidades indicadas de los nodos 100-115, asumiendo que las velocidades permanecen constantes.

Con la localización de los nodos 100-115 determinada, ya sea por la etapa 630 o la etapa 650, el método puede continuar con la etapa 440 en la que los nodos 101-106 vecinos se determinan en base a la posición y las coberturas de comunicación de los nodos 100-115, como anteriormente. A continuación, el método continúa como ya se ha descrito para la figura 4, hasta que se ha almacenado la tabla 224 de encaminamiento actualizada en la etapa 470. En ese punto, el método continúa alrededor del bucle 675 en el que se garantiza un retraso de un segundo en la etapa 680 antes de volver a la etapa 620 una vez más.

La función de coste

Como se describió anteriormente, se almacena una función 223 de coste en la memoria 204 y se usa en el cálculo de la tabla 224 de encaminamiento en la etapa 460 de la figura 4. La función 223 de coste se usa para calcular el coste del envío de un mensaje a través de un salto entre dos nodos 100-115, y tiene contribuciones para reflejar diferentes factores. La función 223 de coste es una combinación de estos factores, con cada factor ponderado como óptimo encontrado. La determinación de la combinación óptima puede realizarse de cualquier número de maneras,

por ejemplo, mediante la intuición o investigación empírica usando simulaciones o similares.

En consecuencia, la función de coste 233 almacenada en la memoria 204 es un reflejo de la flexibilidad en la elección de los factores de ponderación: la función 233 almacenada indicará los factores que deben incluirse y la ponderación relativa que debe darse a cada factor. En esta realización, los factores son los siguientes.

1. Se incluye una cantidad fija para cada salto. Este es un reflejo de que las rutas con pocos saltos son mejores, tanto en términos de velocidad y fiabilidad.
2. Una cantidad relacionada con la distancia de salto, así los saltos excesivamente largos no son deseables debido a las relaciones señal-ruido altas (que afectan al ancho de banda) y una fiabilidad baja. Esta contribución no es lineal: en esta realización, el factor permanece en cero hasta el 60% de la cobertura de comunicación total, antes de aumentar linealmente hasta un valor máximo del 95% de la cobertura máxima y por encima.
3. Una cantidad relacionada con la velocidad relativa de los dos nodos 100-115 conectados por el salto. Por lo tanto, el factor aumenta con la velocidad relativa para reflejar la mayor dificultad en la consecución de un enlace direccional, la mayor compensación y el aumento de ancho de banda necesarios para aumentar los efectos Doppler, y la duración potencialmente más corta del enlace.
4. Una cantidad inversamente proporcional a la duración prevista del enlace entre los nodos 100-115. Esto penaliza a los saltos usando un enlace que tiene una duración corta, ya que la fiabilidad se verá afectada teniendo que cambiar las conexiones porque los nodos 100-115 salen de contacto. Como una simplificación, este factor puede combinarse con los 3 anteriores ya que la duración es a menudo, pero no necesariamente, dependiente de las velocidades relativas.
5. Puede proporcionarse una contribución de acuerdo a la distancia a un borde del agujero. Como se describió anteriormente, la malla de nodos 100-115 puede contener agujeros 30 desprovistos de nodos 100-115. Los nodos 100-115 que se encuentran en el borde del agujero 30 ven un gran volumen de tráfico, por lo que es bueno para aumentar el coste asociado con tales "puntos calientes". Se realiza una contribución que es inversamente proporcional al producto de la distancia al borde del agujero y al tamaño del agujero 30.

La distancia al borde puede determinarse como la distancia más corta desde el punto medio del salto al borde del agujero.

La función 223 de coste puede sintonizarse ajustando los factores tomados en consideración, y la ponderación relativa de cada uno. Los factores anteriores se proporcionan simplemente como ejemplos, y puede usarse cualquier combinación de ellos, incluyendo otros factores no mencionados anteriormente.

Calcular la tabla de encaminamiento

La etapa 460 en la figura 4 se corresponde con el cálculo de la tabla 224 de encaminamiento, y se describirá ahora en mayor detalle con referencia a la figura 7a. El método comprende esencialmente calcular el coste de las rutas entre cada nodo 101-106 vecino y todos los otros nodos 100-115.

Esto se implementa usando dos bucles; un bucle externo indicado por el camino 715 de retorno, y un bucle interno indicado por el camino 725 de retorno. El bucle 715 externo asegura que los cálculos se repiten para cada nodo 101-106 vecino. El bucle 725 interno se asegura de que los cálculos se repiten para cada posible nodo 100-115 de destino durante la consideración de cualquier nodo 101-106 vecino específico.

El método de la figura 7a se inicia en 710, la cabeza del bucle 715 externo, en el que se elige el primer nodo 101-106 vecino. El método avanza a la etapa 720, la cabeza del bucle 725 interno, en el que se elige un nodo 100-115 de destino disponible. Con un nodo de destino elegido, el método avanza a la etapa 730 en la que se hace una determinación del coste más bajo para encaminar un mensaje desde el nodo 101-106 vecino actual hasta el nodo 100-115 de destino actual. Esta determinación usa la función 223 de coste para determinar el coste de las rutas desde el nodo 101-106 vecino actual hasta el nodo 100-115 de destino actual. Para determinar la ruta de menor coste, puede calcularse el coste de todas las rutas posibles o puede usarse un enfoque dirigido a buscar la ruta con el coste más bajo. Aunque se pueden registrar los detalles de encaminamiento de la ruta de menor coste, no se ha hecho. En cambio, se conserva solo el coste de esta ruta.

Una vez que se ha encontrado el coste más bajo para una ruta en 730, el nodo 100-115 de destino actual se elimina de la lista de posibilidades en la etapa 740, y el método avanza a la etapa 750, en la que se hace una comprobación para ver si hay más nodos 100-115 de destino disponibles para procesar. Si los hay, el método vuelve al bucle de la etapa 720 a través del camino de retorno del bucle 725 interno. En la etapa 720, se elige otro nodo 100-115 de destino disponible, y se encuentra el menor coste de una ruta entre el nodo 101-106 vecino actual y este nuevo nodo 100-115 de destino. El bucle 725 interno itera de esta manera hasta que se han determinado los costes más bajos entre el nodo 101-106 vecino actual y todos los nodos 100-115 de destino disponibles.

El bucle 725 interno se deja cuando la determinación en la etapa 750 indica que no hay más nodos 100-115 de destino para procesar. En este caso, el método continúa en la etapa 760 en la que se elimina el nodo 101-106

vecino actual de la lista de nodos 101-106 vecinos que deben procesarse en la etapa 710 (aunque todavía se considera en el cálculo de los posibles nodos de destino). Se realiza una comprobación de la lista en 770 para determinar si hay más nodos 101-106 vecinos para procesar. En caso afirmativo, se sigue el bucle 715 externo de tal manera que el método vuelve a la etapa 710, en la que se elige un nuevo nodo 101-106 vecino. A continuación, el método entra en el bucle 725 interno una vez más para calcular los costes más bajos para las rutas entre el nuevo nodo 101-106 vecino y cada nodo 100-115 de destino disponible. Por lo tanto, el bucle 715 externo ve a su vez los cálculos realizados para cada nodo 101-106 vecino.

El bucle 715 externo se deja cuando la determinación en la etapa 770 indica que no hay nodos 101-106 vecinos para procesar. A continuación, los cálculos se completan de manera que el método general puede continuar en la etapa 470 de la figura 4 en la que la información encontrada a partir de los cálculos se almacena en la tabla 224 de encaminamiento.

Básicamente, los cálculos de encaminamiento realizados en la etapa 460 proporcionan una lista de nodos 101-106 vecinos y, para cada nodo 101-106 vecino, los nodos 100-115 de destino disponibles y el coste más bajo de la mejor ruta entre el nodo 101-106 vecino y el nodo 100-115 de destino. Esta información se almacena de una manera tan eficiente como sea posible para su uso posterior en la determinación del mejor nodo 101-106 vecino para recibir un mensaje direccionado a cualquier nodo 100-115 de destino.

Se muestra un método alternativo en la figura 7b. Como el método de la figura 7b se corresponde en términos generales al de la figura 7a, los números de referencia similares se usan para partes similares y la siguiente descripción se limita a poner de relieve las diferencias entre los dos métodos.

El método de la figura 7b comprende únicamente un solo bucle 715, que se corresponde con el bucle 715 externo de la figura 7a. Este bucle 715 se asegura de que a su vez se realizan los cálculos para cada nodo 101-106 vecino. Sin embargo, no está presente un bucle 725 interno ya que el cálculo del coste más bajo en 730 de la figura 7a no se repite a su vez para cada nodo 101-115 de destino disponible. En cambio, se usa un solo cálculo como un algoritmo de Dijkstra modificado en 735 para calcular el coste de alcanzar cada nodo 101-115 de destino posible. Esto produce el mejor coste para las rutas entre el nodo vecino elegido en 710 y cada nodo 101-115 de destino.

El método avanza a la etapa 770, en la que se hace una comprobación para ver si más nodos 101-106 vecinos necesitan procesamiento en la etapa 710. Si los hay, se repite el bucle en 715 de tal manera que el cálculo en la etapa 735 se realiza para el siguiente nodo 101-106 vecino. Cuando se han procesado todos los nodos 101-106 vecinos, la pregunta en la etapa 770 resulta en una respuesta de no y el método continúa como se indica en la figura 7b.

La tabla de encaminamiento

Se muestra un ejemplo de una tabla 224 de encaminamiento en la figura 8. Se apreciará que el sistema 202 de comunicación de aeronave puede gestionar el almacenamiento de los datos como un archivo legible por ordenador en un formato, en general, correspondiente a la estructura de los datos mostrada en la figura 8.

La primera columna de la tabla 224 proporciona una lista ordenada de direcciones de nodos de destino. Por lo tanto, cada fila corresponde a una dirección de un nodo de destino, indicando la primera entrada la dirección del nodo de destino, con entradas sucesivas que representan los nodos 101-106 vecinos y sus costes más bajos, presentados en orden con el nodo 101-106 vecino que tiene el mejor coste el primero, el siguiente mejor nodo 101-106 vecino presentado el segundo, y así sucesivamente. Por lo tanto, puede realizarse en la etapa 560 de la figura 5 una determinación del mejor nodo 101-106 vecino encontrando la dirección del nodo de destino dentro de la tabla 224 de encaminamiento y leyendo la dirección del mejor nodo vecino asociado.

La tabla 224 de encaminamiento muestra en la figura 8 los registros del coste actual para cada nodo 101-106 vecino para esas direcciones del nodo de destino, ya que esto se usa en el mantenimiento de los enlaces activos e inactivos de los nodos 101-106 vecinos como se describirá a continuación.

Puede proporcionarse una lista ordenada de los nodos 101-106 vecinos en la tabla 224 de encaminamiento en caso de que no sea correcta una transmisión al mejor nodo 101-106 vecino. Al proporcionar la lista, se puede realizar un intento de enviar un mensaje al siguiente mejor nodo 101-106 vecino y así sucesivamente hasta que se realice una transmisión correcta. Esto se muestra en más detalle en la figura 9. También puede usarse cuando el mejor nodo 101-106 vecino tiene un enlace inactivo, en cuyo caso pueden consultarse entradas sucesivas hasta que se encuentra el primer nodo 101-106 vecino con un enlace activo.

Transmisión de mensajes de error

La figura 9 se corresponde en gran medida con la figura 5, y se inicia de la misma manera recibiendo una solicitud de mensaje en 520, obteniendo la dirección del nodo de destino en 530, consiguiendo la tabla 224 de encaminamiento en 540 y encontrando la dirección del nodo de destino en la tabla 224 de encaminamiento en la

etapa 550.

A continuación, el método pasa a la etapa 910, en la que un número entero n se establece en 1. Se determina el n -ésimo mejor nodo 101-106 vecino (es decir, el nodo 101-106 vecino con la n -ésima puntuación más baja). En esta primera iteración, se encuentra el mejor nodo 101-106 vecino. Se realiza un intento de enviar el mensaje al n -ésimo mejor nodo 101-106 vecino en 930. En 940, se realiza una determinación en cuanto a si el mensaje se ha entregado correctamente (por ejemplo, usando un acuse de recibo o cualquier otro método bien conocido). Si el mensaje se ha entregado correctamente, el método termina en 580.

Si la entrega del mensaje no ha sido correcta en la etapa 940, el método continúa en la etapa 950 en la que n se incrementa en 1. En la etapa 960, se realiza una comprobación para asegurarse de que n no ha superado el número total de nodos 101-106 vecinos. Si n supera este número, esto indica que todos los nodos 101-106 vecinos se han intentado sin éxito. En esta realización, el método avanza a lo largo de 980 hasta terminar, es decir, no se realizan más intentos para enviar el mensaje. Como alternativa, n puede ponerse a 1, de manera que se siguen haciendo intentos para entregar el mensaje.

Suponiendo que n no supere el número total de nodos 101-106 vecinos, el método vuelve a las etapas 920, 930 y 940 en las que se determina el siguiente mejor nodo 101-106 vecino y se realiza un intento de enviar el mensaje a ese nodo 101-106. Otro intento fallido provocará que el método recorra el bucle una vez más con n incrementado en uno más. Por lo tanto, se realizan intentos para enviar el mensaje tantas veces como sea necesario hasta que se han procesado todos los nodos 101-106 vecinos, con los nodos 101-106 vecinos procesándose en orden creciente de coste. Para los mensajes que se reenvían, el nodo que envió el mensaje a lo que ahora es el nodo de origen puede excluirse como un nodo vecino potencial.

Visión general de las configuraciones del enlace activo/inactivo

Como se ha señalado anteriormente, los métodos anteriores se han descrito en el contexto del nodo 102 de origen que establece un enlace con un nodo 101-106 vecino cada vez que debe enviarse un mensaje. Cuando los volúmenes de tráfico de datos son altos, puede ser más eficiente establecer y a continuación mantener enlaces con los nodos 101-106 vecinos, de tal manera que los enlaces están en su lugar listos para cada vez que deba enviarse un mensaje. Los enlaces pueden establecerse y mantenerse con todos los nodos 101-106 vecinos disponibles. Sin embargo, en esta realización, se establecen enlaces a un subconjunto de los nodos 101-106 vecinos disponibles. Por lo tanto, en cualquier momento, existirá una configuración de enlaces activos.

La naturaleza dinámica de la red 10 ad hoc significa que los enlaces activos necesitarán reconfigurarse de vez en cuando, y la presente invención está dirigida a mantener estos enlaces a través de tales reconfiguraciones. Para cada configuración, se necesitará un equilibrio que debe acertar entre el deseo de minimizar el número de enlaces activos para reducir la sobrecarga de cálculo y asegurar la disponibilidad de los enlaces a otros nodos, mientras que se mantienen suficientes enlaces activos para permitir que se entreguen los mensajes (de una manera razonablemente eficiente o, en el peor de los casos, en absoluto).

La siguiente descripción está dirigida a las realizaciones que incluyen esta función de mantenimiento de las configuraciones de los enlaces activos e inactivos. Debe ser evidente cómo las descripciones anteriores pueden ajustarse para acomodar esta función. De hecho, se han hecho menciones explícitas de las posibles adaptaciones, por ejemplo, la lectura a lo largo de la fila de la tabla 224 de encaminamiento para encontrar el mejor nodo 101-106 vecino con un enlace activo.

La figura 10 es un detalle de la figura 1 y muestra el nodo 102 de origen con sus nodos 101-106 vecinos. Los enlaces 1001-1003 activos, mostrados en líneas continuas, se establecen y se mantienen entre el nodo 102 de origen y los nodos 101, 103 y 105 vecinos. Los enlaces 1004-1005 entre el nodo 102 de origen y los nodos 103 y 105 vecinos están inactivos y se muestran en líneas de trazos.

La figura 11 se corresponde con la figura 10, pero es una instantánea de la red 10 ad hoc tomada un poco más tarde. Las posiciones relativas de los nodos 101-106 han cambiado. Por otra parte, el nodo 104 se ha salido de la cobertura de comunicación directa con el nodo 102 de origen. Como resultado, se han reconfigurado los enlaces activos de tal manera que ahora el enlace 1004 al nodo 105, el enlace 1003 al nodo 101 y el enlace 1005 al nodo 103 son activos. El enlace 1002 al nodo 106 se ha descartado para convertirse en inactivo. Ahora se describirá cómo se realiza la reconfiguración de acuerdo con una realización de la invención.

Conseguir puntos para la red

En general, la configuración de los enlaces 1001-1005 se determina en base a la cantidad de tráfico que ve cada nodo 101-106 vecino. En particular, los puntos se asignan a cada mensaje, y estos puntos se comparten entre los nodos 101-106 vecinos de acuerdo con su coste más bajo para enviar el mensaje a su nodo 100-115 de destino. Los puntos se usan también para contribuir a un valor de configuración actual general (ACV). La puntuación adjunta a cada nodo 101-106 vecino es un reflejo de cómo de bueno es en el encaminamiento de todos los mensajes, si se

usa o no para recibir ese mensaje. El ACV refleja la bondad de la configuración en base al coste de solo el nodo 101-106 vecino que recibe cada mensaje. Los puntos de nodo vecino y el ACV se usan para determinar cómo deberían reconfigurarse los enlaces.

- 5 La figura 12 es una adaptación de la figura 5, y muestra cómo se asignan los puntos cuando se envía un mensaje. El inicio del método es esencialmente el mismo que el descrito para la figura 5. Por lo tanto, el método comienza en 510 debido a la recepción de una solicitud de mensaje en 520. La dirección del nodo de destino se encuentra en 530, y la tabla 224 de encaminamiento se obtiene en 540.
- 10 Con la tabla 224 de encaminamiento recuperada, se encuentra la dirección del nodo de destino y los datos asociados accedidos. Como se ha explicado anteriormente, la tabla 224 de encaminamiento puede contener una lista de los nodos 101-106 vecinos y el coste más bajo de envío de un mensaje a ese nodo 100-115 de destino. Se determina un valor de puntos total que puede ser proporcional a la prioridad del mensaje (recibiendo la prioridad más alta la mayoría de los puntos). A continuación, estos puntos se comparten entre los nodos 101-106 vecinos. Cada
- 15 nodo 101-106 vecino tiene una puntuación del nodo vecino, y los puntos se asignan para cada puntuación del nodo vecino en una forma proporcional dependiendo del coste más bajo dado para ese nodo 101-106 vecino. Cuanto más bajo sea el coste, más puntos se reciben. Esta etapa se muestra en 1255 en la figura 12. Por lo tanto, cada nodo vecino tiene una puntuación que puede recibir puntos (proporcionalmente) para cada mensaje enviado. La puntuación también puede recibir puntos de los mensajes entrantes, es decir, el nodo 102 de origen determina el
- 20 origen de un mensaje recibido y abona puntos a los nodos 101-106 vecinos en consecuencia. Para realizar las puntuaciones actuales, cada puntuación del nodo vecino puede disminuirse con el tiempo. De acuerdo con esta realización, cada puntuación del nodo vecino se disminuye en una tasa proporcional al coste del enlace al nodo 102 de origen. Por lo tanto, los nodos 101-106 vecinos con un enlace de alto coste al nodo 102 de origen han deteriorado sus puntuaciones más rápidamente.
- 25 Además, en la etapa 1260, la tabla 224 de encaminamiento se usa para determinar el mejor nodo 101-106 vecino para el que se establece un enlace 1001-1005. Por ejemplo, los nodos 101-106 vecinos pueden leerse a partir de la lista ordenada presentada a su vez por la tabla 224 de encaminamiento hasta que se encuentra un nodo 101-106 vecino con un enlace establecido.
- 30 En 1262, se realiza una comprobación para asegurarse que se ha encontrado un nodo 101-106 vecino enlazado. Cuando se encuentra un nodo 101-106 vecino enlazado, se realizan dos etapas más.
- 35 En primer lugar, en 1264, se añaden puntos al ACV en base al coste registrado para el nodo 101-106 vecino enlazado para enviar el mensaje a su nodo 114 de destino, como ya se ha determinado a partir de la tabla 224 de encaminamiento. Los puntos dados al ACV se escalan también para que sean proporcionales a la prioridad del mensaje (recibiendo la prioridad más alta la mayoría de los puntos). El ACV representa una instantánea de la configuración y contiene los puntos asignados durante un intervalo de tiempo anterior, por ejemplo, los últimos cinco segundos solamente.
- 40 En segundo lugar, en 1270, se realiza un intento de enviar el mensaje al nodo 101-106 vecino enlazado, y a continuación el método termina. Como ya se ha establecido un enlace, debería poderse enviar el mensaje incluso si se necesita más de un intento.
- 45 En algunas circunstancias, puede ser que las únicas rutas que enlazan el nodo 102 de origen al nodo 114 de destino vayan a través de los nodos 101-106 vecinos con enlaces inactivos. En estas circunstancias, la determinación en 1262 será negativa y por lo tanto se añade el mensaje a una memoria intermedia en 1265. En 1267, se añaden los puntos a un vector sin coste del enlace (NLCV). El NLCV conserva las puntuaciones del nodo vecino que se derivarían a partir de las contribuciones de los mensajes actualmente en la memoria intermedia, y la suma de estas
- 50 puntuaciones da un valor del NLCV general. El método continúa en la etapa 1269 en la que, después de un retardo de tiempo predeterminado, el mensaje se elimina de la memoria intermedia si todavía está allí. La memoria intermedia se comprueba siempre que se produce una reconfiguración del enlace, y un mensaje dejará la memoria intermedia si se crea un enlace que permita la entrega del mensaje. Sin embargo, cuando un mensaje deja la memoria intermedia, sus contribuciones de puntos se restan al NLCV. Por lo tanto, el valor total de NLCV sigue
- 55 siendo actual, ya que refleja solo los mensajes que se mantienen actualmente en la memoria intermedia. A continuación, el método finaliza en 580.

Reconfiguración debida a la pérdida del nodo vecino

- 60 La figura 13 muestra una realización de un método para mantener una configuración de enlaces activos e inactivos de acuerdo con una primera realización general tal como la realiza cada nodo 100-115 de la red 10 ad hoc. En este ejemplo, el nodo 102 se toma de nuevo como nuestro sujeto (es decir, el nodo de origen).
- 65 El método se inicia en 1300, y se dispara ya sea por un nodo 101-106 vecino saliendo de la cobertura de comunicación directa o detectando que un nodo 101-106 vecino está a punto de salir de la cobertura. Se apreciará que es sencillo determinar cualquiera de estos eventos, de manera que no se darán más detalles en el presente

documento. Una evaluación de las posiciones futuras de los nodos 101-106 vecinos (por ejemplo, usando la posición actual y la velocidad) no es el único método disponible para predecir cuándo un nodo 101-106 vecino está a punto de salir de la cobertura de comunicación directa. Una alternativa es controlar la señal mediante las tasas de ruido de los mensajes enviados a/recibidos desde un nodo vecino, indicando con la señal deteriorada por las tasas de ruido que un nodo 101-106 vecino está a punto de salir de cobertura. Una implementación predictiva que determina cuándo se prefieren los nodos 101-106 vecinos por razones obvias.

El método continúa en la etapa 1320 en la que se calcula una nueva configuración de enlaces que se basa en los puntos asignados a la puntuación del nodo vecino de acuerdo con la cantidad de tráfico de datos que ven. Los puntos asignados a cada nodo vecino pueden determinarse por el sistema 202 de comunicación de aeronave del nodo 102 de origen, y pueden o pueden que no sean como se acaban de describir. Por ejemplo, una cantidad fija de puntos puede asignarse a un nodo 101-106 vecino cuando se envía un mensaje a ese nodo 101-106 vecino. En lugar de una cantidad fija, puede darse una cantidad variable en proporción a la prioridad del mensaje. El sistema 202 de comunicación de aeronave también puede asignar puntos cuando se reciben los mensajes, es decir, pueden asignarse puntos al nodo 101-106 vecino que reenvía el mensaje al nodo 102 de origen. Preferentemente, se usa un esquema de punto simétrico que ve a los mensajes entrantes y salientes tratados por igual, es decir, los puntos asignados a un mensaje entrante se corresponden a los puntos dados a un mensaje saliente idéntico.

Los enlaces se formarán preferentemente para los nodos 101-106 vecinos que tienen altas puntuaciones de puntos, y pueden descartarse los enlaces a los nodos 101-106 vecinos con bajas puntuaciones de puntos, de tal manera que la nueva configuración se corresponde con un óptimo. A continuación, la nueva configuración se implementa en 1330 estableciendo los nuevos enlaces necesarios y descartando los enlaces antiguos que ya no se necesitan, y a continuación el método finaliza en 1340. Determinar la configuración óptima puede comprender conseguir diversas configuraciones potenciales y elegir la configuración con la mejor puntuación.

Otros disparadores de la reconfiguración

Se describirá ahora una segunda realización más detallada de un método de mantenimiento de una configuración de enlaces activos e inactivos con referencia a la figura 14. En esta realización, se usan tres eventos para disparar una reconfiguración. En resumen, estos disparadores son un nodo vecino que está fuera de cobertura/a punto de salir de la cobertura, una puntuación de un nodo vecino que caiga por debajo de un límite indicando de este modo que está rindiendo poco y la memoria intermedia llenándose demasiado indicando de este modo que la configuración actual está provocando demasiados mensajes haciéndose la entrega imposible. Hay muchas otras posibilidades, incluyendo cualquier combinación de lo anterior.

La figura 14 muestra una iteración del método, aunque el método se repite regularmente. Específicamente, el método se ejecuta para cada actualización de las posiciones del nodo, es decir, una vez por segundo de acuerdo con la realización descrita anteriormente con referencia a la figura 6. Este método puede dispararse después de la etapa 480 de la figura 4 o la etapa 470 de la figura 6.

Por lo tanto, en 1400 el método se inicia cuando el sistema 202 de comunicación de aeronave ha almacenado la última tabla 224 de encaminamiento como se indica en 1405. Esto provoca una nueva rutina de inicio, como se muestra en la figura 14. La rutina puede almacenarse en la memoria 204, por ejemplo como se muestra en 226 en la figura 2.

En 1410, se realiza una comprobación para ver si los nodos 101-106 vecinos han salido de la cobertura de comunicación directa. Además, la posición de cada nodo 101-106 vecino en un tiempo futuro, por ejemplo, cada diez segundos de tiempo, se calcula usando la información de la posición y la velocidad de cada nodo 101-106 vecino recibidas en la última transmisión 212 de red. Este cálculo se usa para determinar si un nodo 101-106 vecino saldrá de la cobertura de comunicación directa en los próximos diez segundos.

Si la determinación indica que ninguno de los nodos 101-106 vecinos están o fuera de cobertura o a punto de salir de la cobertura, el método puede proceder a través del camino 1418 al siguiente bloque en el que se realiza una comprobación para ver si puede necesitarse una reconfiguración. Como alternativa, si uno o más nodos 101-106 vecinos están o fuera de cobertura o a punto de salir de la cobertura, el método continúa a través de las etapas 1411 a 1415.

Para el primer nodo 101-106 vecino que esté o bien fuera de cobertura o saliendo de cobertura, la etapa 1411 ve un cálculo realizado en base a una configuración potencial. Todos los nodos 101-106 fuera/saliendo de cobertura se eliminan de la configuración actual, y se selecciona un enlace inactivo a un nodo 101-106 vecino y a continuación se considera activo. A continuación, el cálculo usa los mensajes enviados en un intervalo de tiempo anterior, por ejemplo, los últimos cinco segundos, para calcular el ACV que resultaría del envío de estos mensajes con la configuración potencial, incluyendo el nuevo enlace que se está considerando como activo. Este cálculo necesita de una referencia a un registro de los mensajes y de las tablas 224 de encaminamiento de los últimos cinco segundos. Para permitir esto, la memoria 204 puede almacenar un registro de los mensajes de los últimos cinco segundos u otro intervalo de tiempo como se ha configurado, por ejemplo como se indica por los otros datos 225 en la figura 2.

Por ejemplo, puede mantenerse un registro para cada nodo de destino posible de los mensajes enviados a ese nodo durante el período anterior. Cada vez que se envía un mensaje, éste se añade al registro del nodo de destino (junto con una indicación de prioridad, si se usa una puntuación de puntos ponderada). Los mensajes antiguos se eliminan de los registros después de que su edad supere la longitud del período anterior. Los puntos del valor de configuración general pueden calcularse a partir de estos registros. Además, las tablas 224 de encaminamiento pueden almacenarse en la memoria 204, tal como en una memoria intermedia FIFO (primero en llegar primero en salir) que mantiene una ventana de cinco segundos de las tablas 224 de encaminamiento. En 1412, el ACV que se calcula de esta manera se almacena a continuación, por ejemplo, en la memoria 204.

Como se muestra mediante el bucle 1413, los cálculos realizados en las etapas 1411 y 1412 se repiten para todas las configuraciones potenciales, es decir, creando un número de configuraciones potenciales, cada una con un enlace inactivo diferente tratado para ser activo. Los ACV modificados para estas configuraciones potenciales se comparan y se elige el que tiene el mejor ACV.

En 1414, se realiza un intento de crear un enlace activo al nodo vecino identificado en la mejor configuración potencial. Se realiza una comprobación en 1415 en cuanto a si ahora el enlace está activo. Si lo está, el método continúa a través del camino 1417 a la etapa 1420. Si el enlace falló, en 1416 el método intenta el siguiente mejor nodo vecino, y así sucesivamente hasta que se establezca un enlace o no queden más nodos vecinos. El método continúa a través del camino 1417 a la etapa 1420.

En la etapa 1420, el segundo bloque en el método se inicia cuando se realiza la siguiente comprobación para determinar si se necesita una reconfiguración. En esta etapa, se comprueban las puntuaciones del nodo vecino para ver si alguno ha caído por debajo de un límite, indicando de este modo que uno o más nodos 101-106 vecinos están rindiendo poco. Este límite puede ser el mismo para todos los nodos 101-106 vecinos, o puede variar. Si todas las puntuaciones de nodo vecino están por encima del límite, el método puede continuar a lo largo del camino 1428 al tercer bloque en el que se comprueba la memoria intermedia. De lo contrario, el método continúa en la etapa 1421, en la que se considera la eliminación de los nodos de poco rendimiento.

En la etapa 1421, se realiza una configuración potencial eliminando un nodo 101-106 vecino con una puntuación por debajo del límite. En cuanto a la etapa 1411, se calcula el ACV de esta configuración potencial en la etapa 1422 en base a los mensajes enviados en los últimos cinco segundos en este ejemplo. En 1423, se realiza una determinación en cuanto a si el CAV de la configuración potencial sin el nodo 101-106 vecino de poco rendimiento es significativamente menor: si lo es, se toma la decisión de mantener el enlace activo; si la diferencia en ACV no se reduce de manera significativa, el enlace al nodo 101-106 vecino de poco rendimiento puede hacerse inactivo.

Como se muestra en el bucle 1426, las etapas 1421-1423 se repiten para cada nodo 101-106 vecino de poco rendimiento. De esta manera, se realiza una comprobación para ver cómo debería puntuar una configuración sin cada nodo 101-106 vecino de poco rendimiento y, si hay poca diferencia, ese nodo 101-106 puede descartarse. Cuando se han comprobado todos los nodos 101-106 vecinos de poco rendimiento de esta manera, el método continúa a lo largo del camino 1427 al tercer bloque en la etapa 1430.

El tercer y último bloque se inicia en 1430 cuando se realiza una comprobación en la memoria intermedia que contiene los mensajes que no se pueden entregar. Como se mencionó anteriormente, algunos mensajes pueden resultar imposibles de entregar, no porque no haya una ruta al nodo de destino, sino porque todas las rutas posibles van a través de nodos 101-106 vecinos que tienen enlaces inactivos. Estos mensajes se envían a la memoria intermedia. El número de mensajes en la memoria intermedia se convierte así en una medida de la utilidad de la presente configuración, por lo tanto, también lo hace el valor general del NLCV. Así, en 1430, se realiza una comprobación del valor general del NLCV para ver si es necesaria una reconfiguración. Si esta comprobación muestra que la presente configuración es aceptable de manera que el valor general del NLCV es menor que un límite, el método finaliza en 1440, como se muestra a través del camino 1438 en la figura 14.

Si el valor general del NLCV supera el límite, el método continúa en la etapa 1431 en la que los ACV se calculan para todas las configuraciones posibles. Cada configuración potencial se realiza considerando un enlace inactivo a uno de los nodos 101-106 vecinos que debe ser activo, y calculando la ACV en base a los mensajes enviados, por ejemplo, en los últimos cinco segundos, incluyendo los puntos guardados en el NLCV con respecto a los mensajes almacenados en la memoria intermedia. A continuación, en 1432, el ACV que se calcula de esta manera se almacena, por ejemplo, en la memoria 204. El bucle 1433 comprueba que estos cálculos se repiten para todas las configuraciones potenciales.

A continuación, se elige la configuración potencial con el mejor ACV y, en la etapa 1434, se realiza un intento de hacer activo el enlace al nodo 101-106 vecino correspondiente. Si esto falla, como se determina en 1435, se intenta el siguiente mejor nodo 101-106 vecino y así sucesivamente. A continuación, el método finaliza en 1440, listo para reiniciarse en la etapa 1405 siempre que se calculen las siguientes posiciones de los nodos.

Como se mencionó anteriormente, siempre que se reconfiguran los enlaces, se comprueba la memoria intermedia y cualquiera de los mensajes que son ahora entregables se elimina de la memoria intermedia y se envía.

Los expertos en la materia apreciarán que pueden hacerse cambios a las realizaciones descritas anteriormente sin apartarse necesariamente del alcance de la presente invención, tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

- 5 Por ejemplo, la red 10 ad hoc se ha descrito en el contexto de una aeronave. La red 10 puede comprender únicamente aeronaves, o una mezcla de aeronaves y otros tipos de nodos. Candidatos para nodos incluyen estaciones terrestres, satélites y otros vehículos, ya sean terrestres, marítimos o vehículos aéreos. En su sentido más amplio, las realizaciones de la presente invención no necesitan incluir aeronaves, pero podrían incluir cualquiera de los otros tipos mencionados anteriormente (y cualquier combinación de los mismos), tales como
- 10 automóviles. También serían adecuados muchos tipos diversos de aeronaves, incluyendo helicópteros y aviones, tripulados o no tripulados.

Aunque se proporcionan ejemplos específicos de las funciones de costes, se apreciará que se pueden usar otras formas de la función de coste. Del mismo modo, existen muchas opciones para el algoritmo de coste usado.

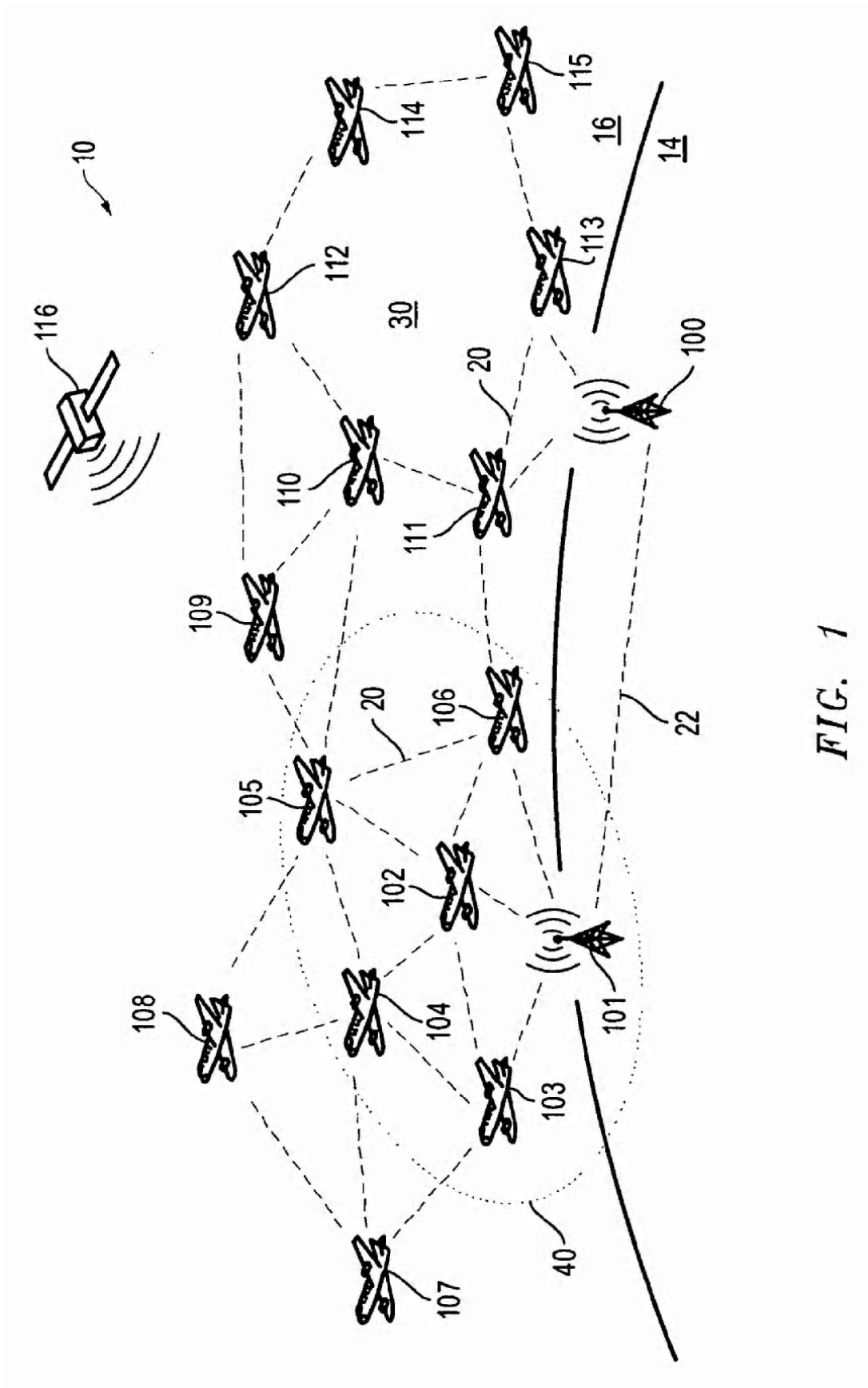
- 15 Los disparadores que provocan una reconfiguración pueden variarse también de lo que se ha descrito anteriormente.

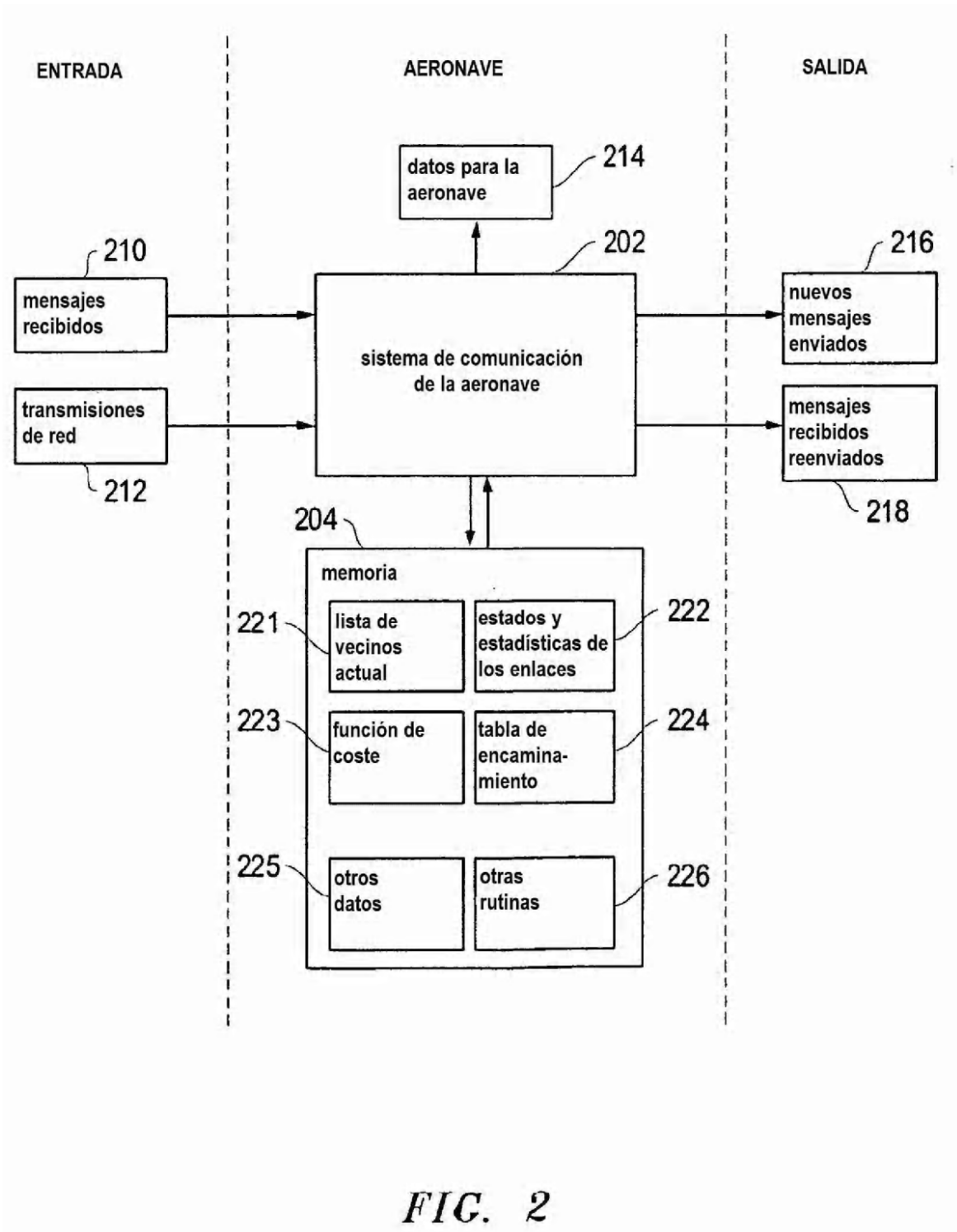
- 20 La aeronave puede actuar como un nodo siempre en servicio, ya sea aéreo o terrestre. Como alternativa, su uso como un nodo puede limitarse, por ejemplo, para solo cuando está en el aire o incluso solo cuando está a velocidad de crucero (es decir, la aeronave no puede actuar como un nodo en una de las fases de despegue, ascenso, descenso, aproximación y aterrizaje).

REIVINDICACIONES

1. Un método de mantenimiento de los enlaces de datos hacia y desde un nodo (102) de origen en una red (10) ad hoc móvil, en el que la red comprende nodos (110-115) que incluyen nodos (101-106) vecinos que corresponden a los nodos en una cobertura (40) de comunicación directa con el nodo de origen, comprendiendo los nodos vecinos nodos vecinos activos y nodos vecinos inactivos, estando los nodos vecinos activos conectados al nodo de origen a través de los enlaces de datos activos respectivos y teniendo los nodos vecinos inactivos los enlaces de datos inactivos respectivos al nodo de origen, formando los enlaces de datos activos e inactivos una configuración actual de los enlaces de datos,
comprendiendo el método:
 - (1) identificar (1410) uno o más nodos vecinos perdidos correspondientes a los nodos vecinos de la configuración actual que han salido fuera de la cobertura de comunicación directa con el nodo de origen y/o están a punto de salir de la cobertura de comunicación directa;
 - (2) determinar (1411) las configuraciones revisadas de los enlaces de datos en las que cualquiera de los enlaces activos a los nodos vecinos perdidos se considera inactivo y, para al menos una configuración revisada, un enlace inactivo se considera activo;
 - (3) determinar (1411) un valor de configuración general para cada configuración revisada en base a, al menos en parte, el coste del envío de mensajes desde el nodo de origen usando la configuración revisada de los enlaces de datos determinando el mejor coste de envío de los mensajes desde el nodo de origen a sus respectivos nodos de destino durante un período anterior, y atribuir puntos al valor de configuración general de acuerdo con los mejores costes;
 - (4) seleccionar (1411) una nueva configuración de los enlaces de datos a partir de las configuraciones revisadas de acuerdo con el mejor valor de la configuración general determinado; y
 - (5) formar (1414) la nueva configuración de los enlaces de datos rompiendo los enlaces de datos con los nodos vecinos que están activos en la configuración actual de los enlaces de datos pero inactivos en la nueva configuración de los enlaces de datos, y formar los enlaces de datos con cualquiera de los nodos vecinos que esté inactivo en la configuración actual de los enlaces de datos y activo en la nueva configuración de los enlaces de datos.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende además identificar nuevos nodos vecinos que han entrado en la cobertura de comunicación directa con el nodo de origen o están a punto de entrar en la cobertura de comunicación directa, y en el que la etapa (2) incluye determinar al menos una configuración revisada en la que se considera un enlace activo a un nuevo nodo vecino.
3. El método de la reivindicación 1 o de la reivindicación 2, en el que la etapa (2) comprende determinar una configuración revisada en la que cualquiera de los enlaces de datos activos a los nodos vecinos perdidos se considera inactivo y no se cambian más enlaces de activos a inactivos o viceversa, y se determina una configuración revisada adicional para cada enlace inactivo en la que ese enlace inactivo se considera activo y cualquiera de los enlaces de datos activos a los nodos vecinos perdidos se considera inactivo.
4. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa (2) comprende determinar al menos una configuración revisada en la que se consideran dos o más enlaces inactivos que deben activarse.
5. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que si no puede enviarse un mensaje desde el nodo de origen debido a que un nodo vecino requerido es un nodo vecino inactivo, el método comprende además:
 - (i) determinar (1431) las configuraciones revisadas de los enlaces de datos en las que un enlace inactivo se considera activo y/o un enlace activo se considera inactivo;
 - (ii) determinar (1431) un valor de configuración general para cada configuración revisada en base a, al menos en parte, el coste del envío de mensajes desde el nodo de origen usando la configuración revisada de los enlaces de datos;
 - (iii) seleccionar (1431) una nueva configuración de los enlaces de datos de las configuraciones revisadas de acuerdo con el mejor valor de configuración general determinado; y
 - (iv) formar (1434) la nueva configuración de los enlaces de datos rompiendo los enlaces de datos con los nodos vecinos que están activos en la configuración actual de los enlaces de datos pero inactivos en la nueva configuración de los enlaces de datos, y formar los enlaces de datos con cualquiera de los nodos vecinos que esté inactivo en la configuración actual de los enlaces de datos y activo en la nueva configuración de los enlaces de datos.
6. El método de la reivindicación 5, en el que la etapa (i) comprende determinar una configuración revisada de los enlaces de datos en la que el enlace inactivo al nodo vecino requerido se considera activo.
7. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que si no puede enviarse un mensaje desde el nodo de origen debido a que un nodo vecino requerido es un nodo vecino inactivo, el método comprende además:

- (a) poner (1265) el mensaje dentro de una cola y aumentar la puntuación de la cola;
 (b) determinar (1430) cuándo la puntuación de la cola supera un límite, y cuándo se supera el límite;
 (c) determinar (1431) las configuraciones revisadas de los enlaces de datos en las que un enlace inactivo se considera activo y/o un enlace activo se considera inactivo;
 5 (d) determinar (1431) un valor de configuración general para cada configuración revisada en base a, al menos en parte, el coste del envío de mensajes desde el nodo de origen usando la configuración revisada de los enlaces de datos;
 (e) seleccionar (1431) una nueva configuración de los enlaces de datos a partir de las configuraciones revisadas de acuerdo con el mejor valor de configuración general determinado; y
 10 (f) formar (1434) la nueva configuración de los enlaces de datos rompiendo los enlaces de datos con los nodos vecinos que están activos en la configuración actual de los enlaces de datos pero inactivos en la nueva configuración de los enlaces de datos, y formar los enlaces de datos con cualquiera de los nodos vecinos que esté inactivo en la configuración actual de los enlaces de datos y activo en la nueva configuración de los enlaces de datos.
- 15 8. El método de la reivindicación 7, que comprende además determinar si puede enviarse alguno de los mensajes almacenados actualmente en la cola como un nodo vecino inactivo requerido que es ahora un nodo vecino activo de acuerdo con la nueva configuración, y enviar cualquiera de tales mensajes encolados, y disminuir la puntuación de la cola cada vez que se envía un mensaje encolado.
- 20 9. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que cada nodo vecino tiene una puntuación de nodo vecino asociada, comprendiendo el método además asignar puntos a las puntuaciones del nodo vecino de acuerdo con el tráfico que ve ese nodo vecino.
- 25 10. El método de la reivindicación 9, en el que si una puntuación del nodo vecino cae por debajo de un límite, el método comprende además:
- (A) determinar (1421) las configuraciones revisadas de los enlaces de datos en las que un enlace inactivo se considera activo y/o un enlace activo se considera inactivo;
 30 (B) determinar (1421) un valor de configuración general para cada configuración revisada en base a, al menos en parte, el coste del envío de mensajes desde el nodo de origen usando la configuración revisada de los enlaces de datos;
 (C) seleccionar (1421) una nueva configuración de los enlaces a partir de los datos de las configuraciones revisadas de acuerdo con el mejor valor de configuración general determinado; y
 35 (D) formar (1424) la nueva configuración de los enlaces de datos rompiendo los enlaces de datos con los nodos vecinos que están activos en la configuración actual de los enlaces de datos pero inactivos en la nueva configuración de los enlaces de datos, y formar los enlaces de datos con cualquiera de los nodos vecinos que esté inactivo en la configuración actual de los enlaces de datos y activo en la nueva configuración de los enlaces de datos.
- 40 11. El método de la reivindicación 9 o la reivindicación 10, que comprende además asignar puntos a las puntuaciones de nodo vecino para cada mensaje enviado de acuerdo con el coste de envío de ese mensaje a través de ese nodo vecino.





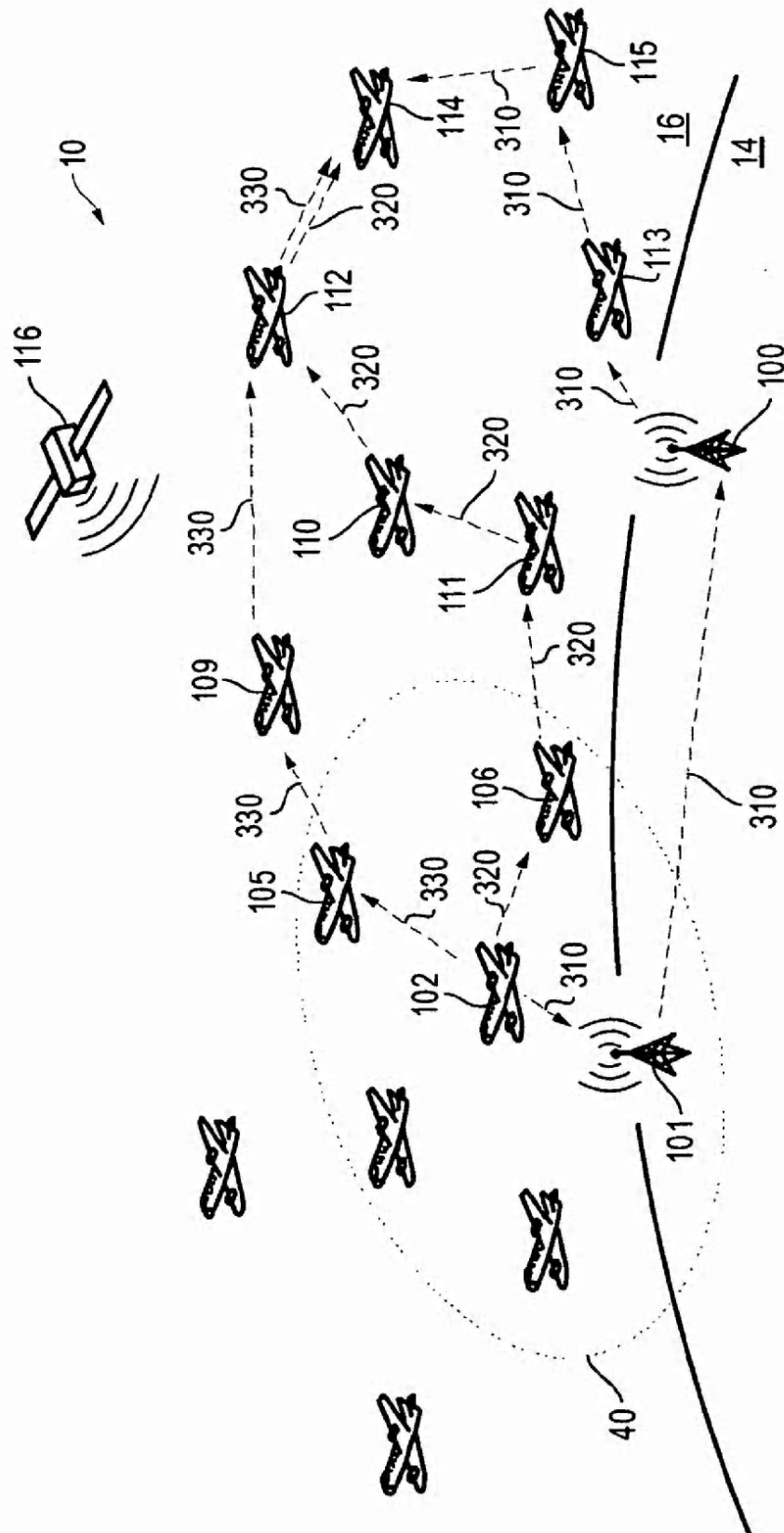


FIG. 3

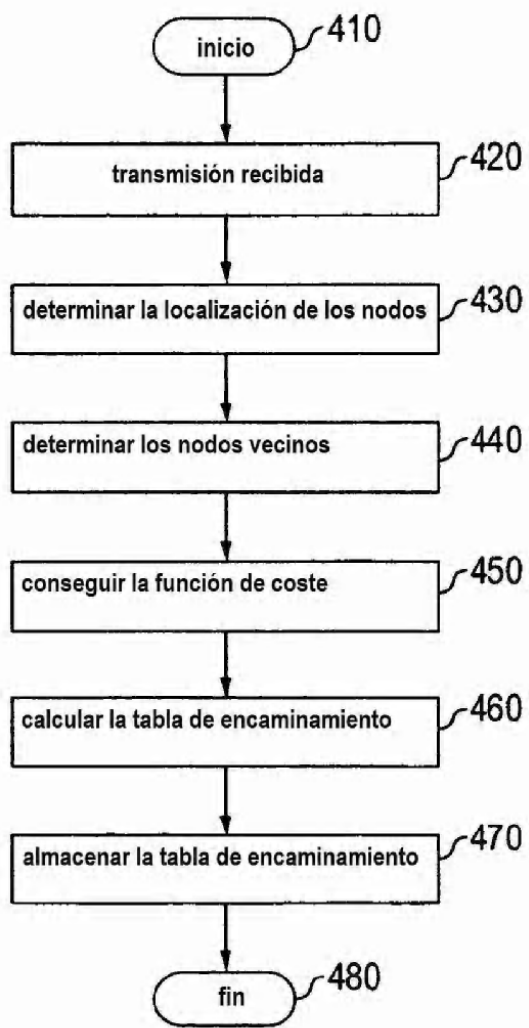


FIG. 4

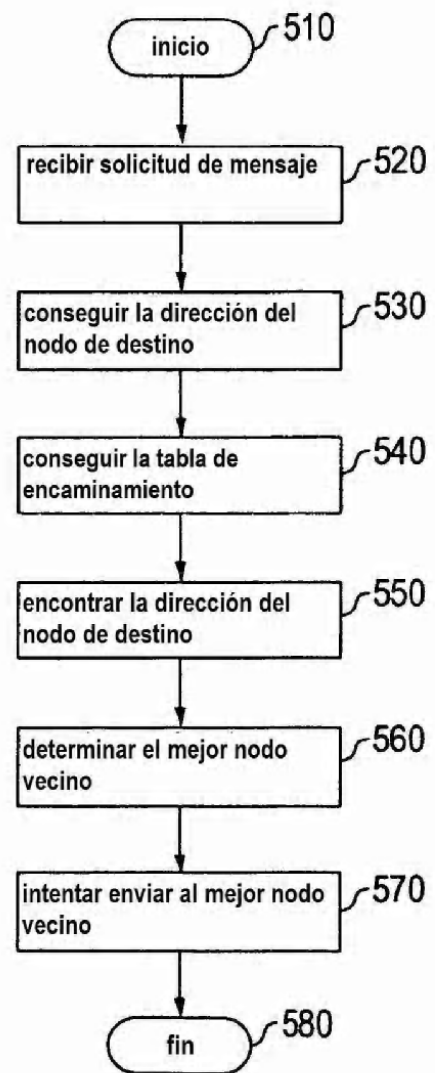


FIG. 5

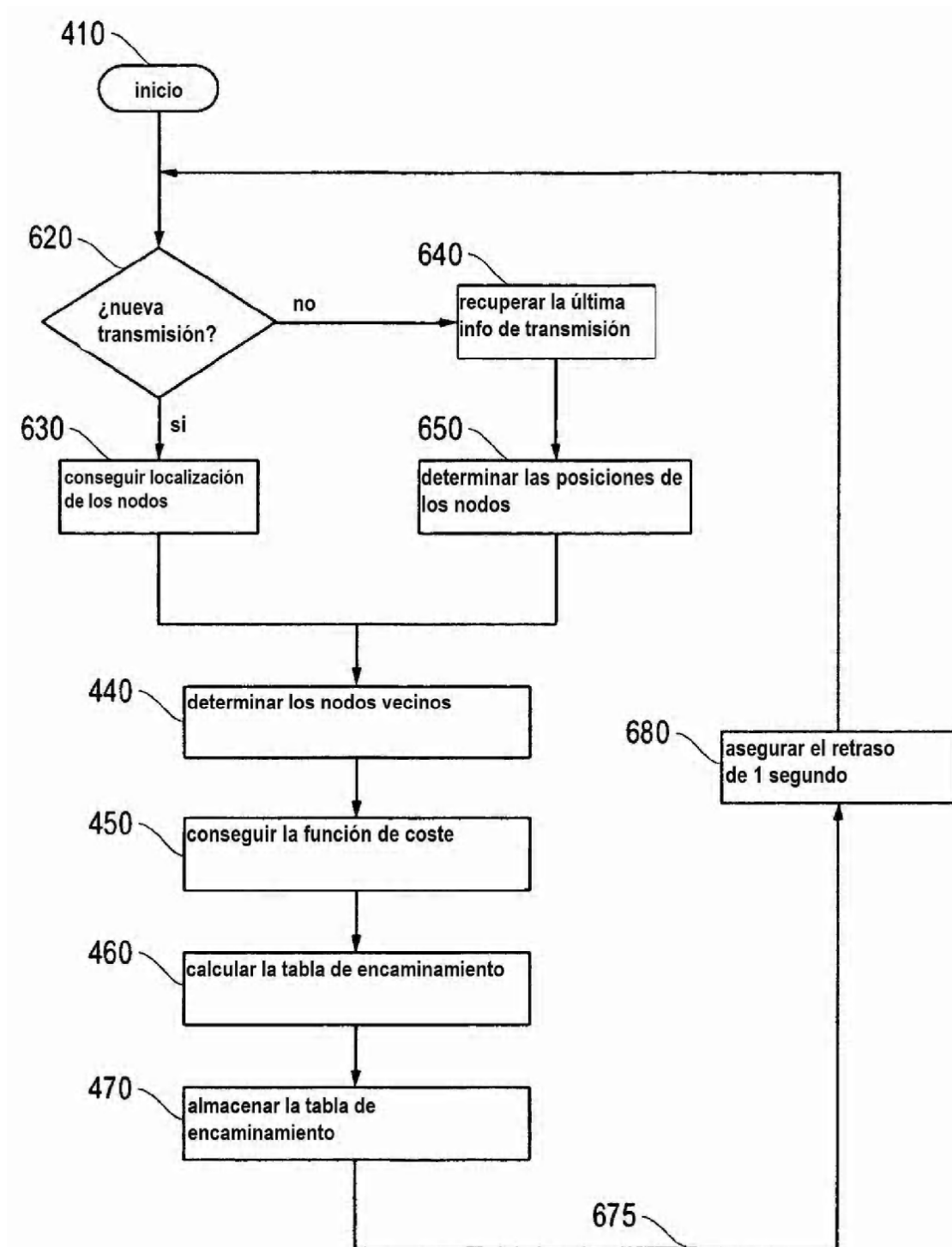


FIG. 6

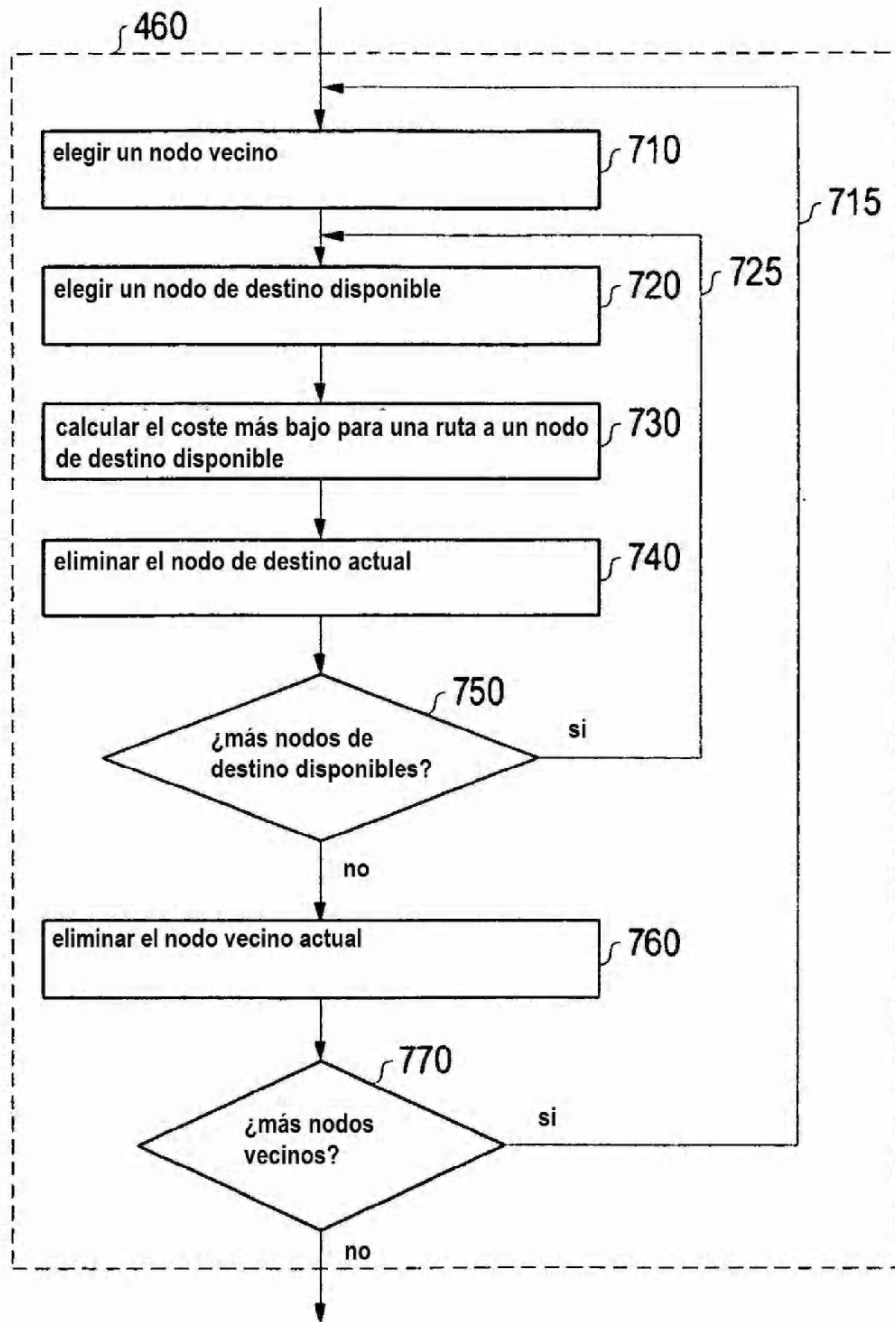
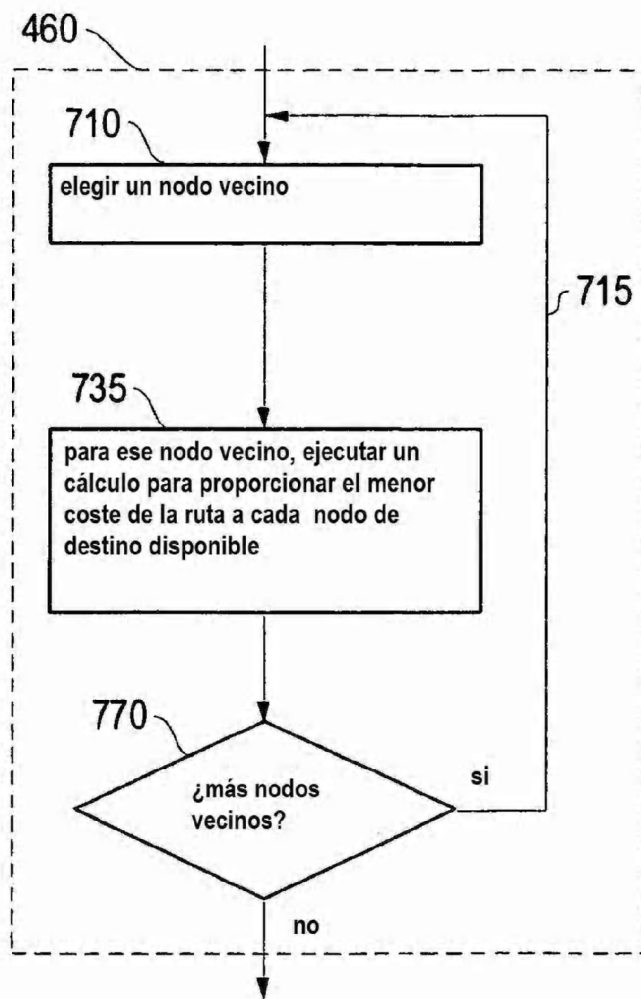


FIG. 7A

*FIG. 7B*

dirección del nodo de destino	mejor nodo vecino y puntuación	siguiente mejor nodo vecino y puntuación	siguiente mejor nodo vecino y puntuación	...
n2	n2 0	n3 56	n4 121	...
n3	n3 0	n2 49	n4 109	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n49	n5 154	n4 257	n2 298	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

FIG. 8

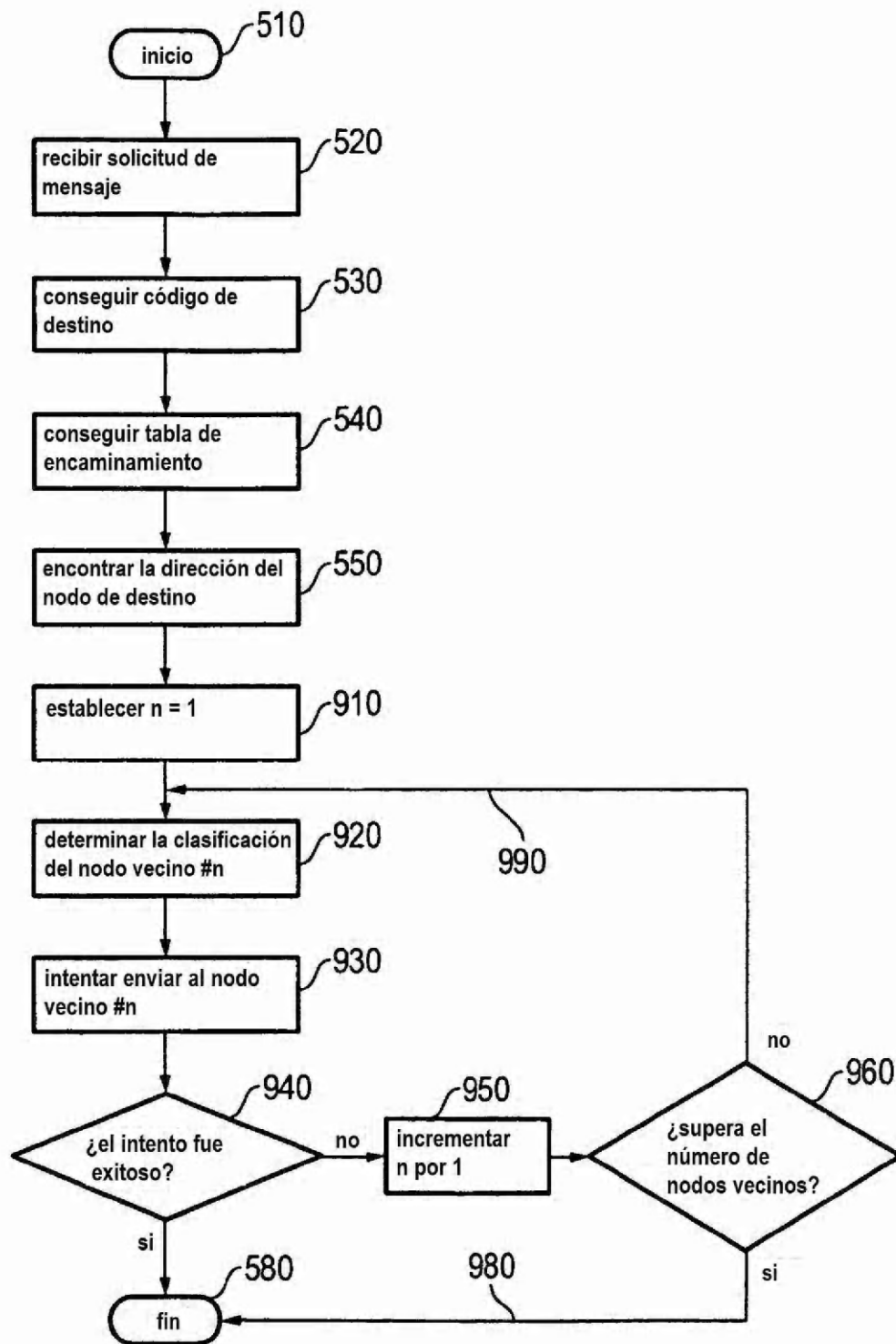


FIG. 9

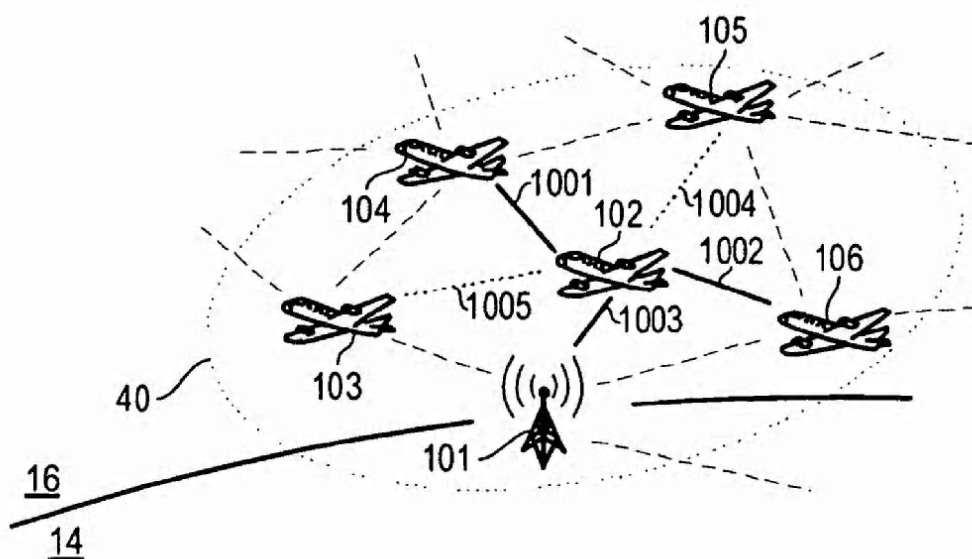


FIG. 10

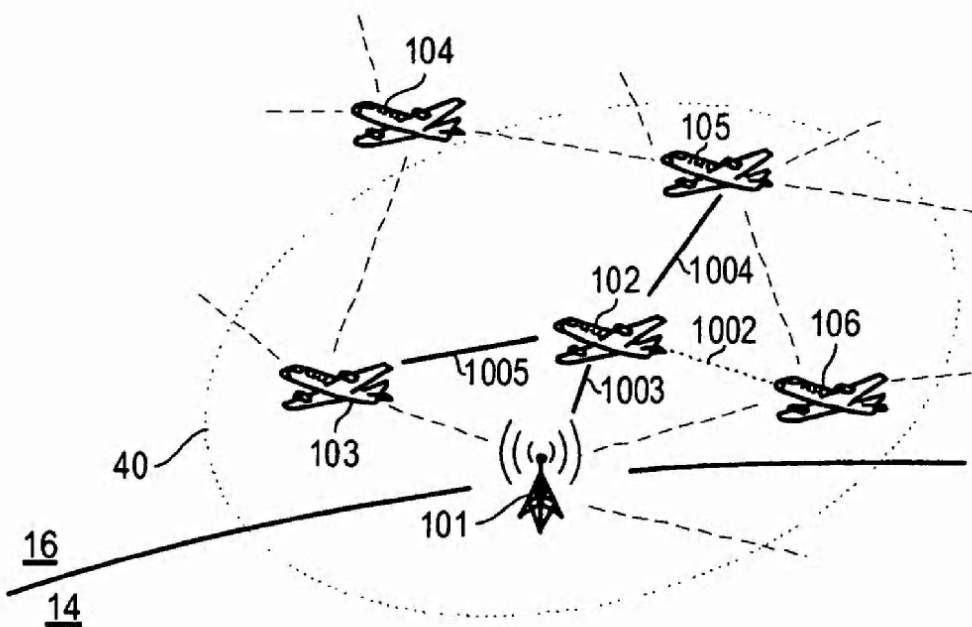
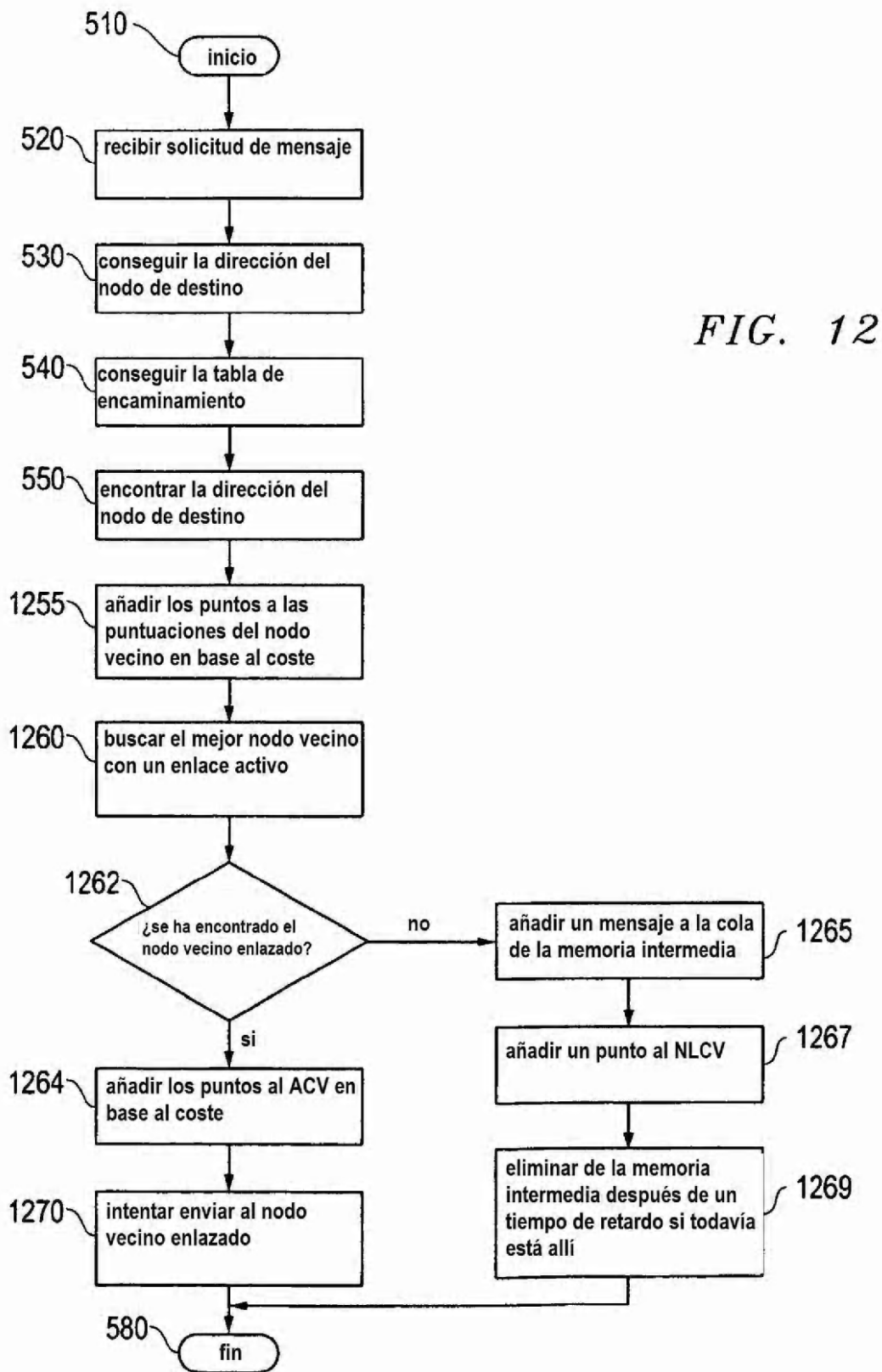


FIG. 11



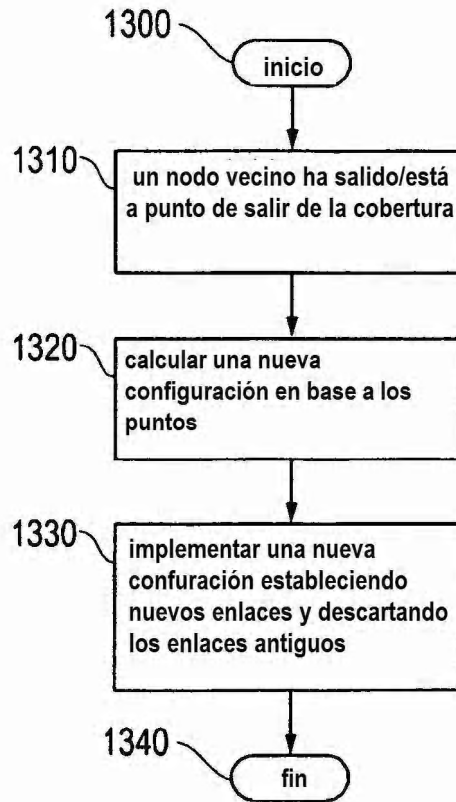
*FIG. 13*

FIG. 14

