

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 221**

51 Int. Cl.:

H04W 8/00 (2009.01)

H04W 84/18 (2009.01)

H04W 92/18 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.11.2011 PCT/EP2011/069335**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.05.2012 WO12059544**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.11.2011 E 11778879 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2019 EP 2636239**

54 Título: **Red ad-hoc marítima móvil**

30 Prioridad:

04.11.2010 EP 10190062

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

19.03.2020

73 Titular/es:

**THALES NEDERLAND B.V. (100.0%)
Zuidelijke Havenweg 40
7550 GD Hengelo, NL**

72 Inventor/es:

LAARHUIS, JAN

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 749 221 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 marítima móvil

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a una red ad-hoc móvil. Por ejemplo, la invención es particularmente aplicable a la creación de redes en el mar, tierra o aire.

Hoy en día, se realizan muchos esfuerzos para desarrollar las llamadas NETWorks ad-hoc móviles (MANET) con los siguientes requisitos:

- 10 o proximidad espacial: solo los nodos que son vecinos entre sí, es decir, en línea de visión entre ellos, o más allá de eso, necesitan comunicarse;
- o espontáneo: los nodos o conjuntos de nodos pueden unirse y abandonar la red como lo deseen;
- o movilidad: los nodos pueden moverse dentro de la red sin perder conectividad;
- o autoorganizado: no se necesita interacción manual cuando los nodos se conectan a la red o mantienen su conectividad.

15 Los nodos de una MANET verdadera son todos nodos pares. Esto significa que todos los nodos implementan exactamente las mismas características de red y que no hay una estación base entre los nodos ni una infraestructura de red fuera de los nodos. La mayoría del desarrollo mundial de MANET, como el SG 802.11s del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), que amplía la familia 802.11 con capacidades de mallado (es decir, ad-hoc) y la MANET WG del Grupo Especial sobre Ingeniería en Internet (IETF), se centra en las áreas urbanas donde las distancias son relativamente cortas y donde hay mucha reflexión. Los productos que siguen, o preceden, los próximos estándares, especialmente sus partes de radio serán optimizados para esta área urbana. Por el contrario, las redes ad-hoc en el mar generalmente implican distancias mucho más grandes y casi no hay reflexión. Por lo tanto, los productos, que están optimizados para el área urbana, difícilmente se pueden usar con éxito en el mar.

25 El relé de subred conocido trata de lograr MANET en el mar mediante el uso de UHF, VHF existentes e incluso radios HF. Sin embargo, el uso de tales radios, si bien es atractivo porque ya existen a bordo de los barcos, tiene muchos inconvenientes cuando se usan para redes ad-hoc. Una desventaja importante del relé de subred es que el uso de las radios UHF/VHF/HF está en canales bien definidos con un uso predefinido. Esto causa interferencia con otros usuarios que intentan usar ese canal e implica limitaciones a la capacidad disponible. Otro inconveniente del relé de subred en combinación con radios omnidireccionalmente radiantes es la coordinación requerida sobre el uso del canal entre todos los vecinos y la transmisión de alta potencia para salvar las largas distancias. Otro inconveniente de relé de subred es que las radios HF, y en menor medida las radios VHF, no necesitan mallas para llegar a todos los nodos de la red: en cambio, se puede acceder directamente a todos los nodos cercanos.

35 La comunicación por satélite se menciona con frecuencia como una posible tecnología para implementar los requisitos de redes ad-hoc en el mar. Sin embargo, no existe un modelo de conectividad actual compatible con satélite que cumpla con estos requisitos, ni se espera un modelo de conectividad adecuado en el futuro. Los principales problemas son la ausencia de multidifusión verdadera, los grandes retrasos de propagación y la dificultad para cumplir el requisito de proximidad espacial. Además, un inconveniente importante de la comunicación satelital es que implica altos costos operativos, que ascienden a 50-75k € por nodo por año cuando los datos del sensor se distribuyen continuamente. Además, la dependencia de un tercero no es atractiva para su uso en aplicaciones de defensa y seguridad. Cuando se utilizan antenas de satélite omnidireccionales, como Iridium, es fácil escuchar a escondidas. Cuando se utilizan antenas direccionales, como Inmarsat, la necesidad de una alineación continua se suma a la complejidad del nodo, especialmente cuando los nodos residen en plataformas oscilantes.

45 De acuerdo con el documento US 2005/076054 A1 se establece una red móvil autónoma entre los nodos móviles configurados como puntos de acceso móviles robóticos autónomos inalámbricos. Cada nodo móvil incluye una plataforma de movilidad, un recurso de enrutamiento ejecutable y una interfaz estandarizada. Cada nodo de red incluye preferiblemente múltiples interfaces inalámbricas.

50 La invención se define por la reivindicación independiente de la red 1. Se describen realizaciones adicionales en las reivindicaciones dependientes 2-9. A continuación, partes de la descripción y los dibujos que se refieren a realizaciones que no están cubiertas por las reivindicaciones no se presentan como realizaciones de la invención, sino como ejemplos útiles para comprender la invención. La presente invención tiene como objetivo proporcionar una MANET que pueda usarse para superar al menos algunos de los problemas técnicos descritos anteriormente, como se define en la reivindicación 1. Una clave para lograr una red ad-hoc en el mar es deshacerse del problema de la energía y el problema de coordinación que enfrentan las próximas soluciones de malla en un entorno marítimo. La invención propone una MANET que logra este objetivo mediante la agrupación de energía. Aunque la agrupación de potencia se puede implementar tanto interferométricamente como por medio de la diversidad espacial, solo esta última resuelve el problema de potencia y coordinación, ya que evita el acceso de múltiples nodos al mismo canal de radio. En la presente solicitud de patente, la implementación de la diversidad espacial en una MANET de acuerdo con la invención se denominará enfoque de antena multihaz (MBA). Debido a su enfoque radicalmente diferente, el

MBA implica administrar el descubrimiento y la movilidad del vecindario de una manera diferente a la administrada tradicionalmente. En la presente solicitud de patente, el descubrimiento del vecindario y la gestión de la movilidad en una MANET según la invención se logran mediante un proceso de descubrimiento de vecinos distribuidos (DND). Una MANET según la invención combina el enfoque MBA con el proceso de DND para unir las características incompatibles previamente consideradas de comunicación de alta capacidad, alta flexibilidad, autoorganización y autocuración. En su forma más general, la invención propone una red que comprende solo nodos pares. La red comprende más de dos nodos pares móviles. Cada nodo comprende una pluralidad de interfaces aéreas inalámbricas y medios para descubrir nodos pares vecinos que están en línea de visión, en el sentido de que un nodo par determinado puede ser alcanzado por una señal de RF transmitida a través de una ruta que puede estar contenida dentro de la zona Fresnel entre el nodo y un nodo par dado.

Se revela que cada medio para descubrir nodos pares vecinos puede establecer, cuando dicho medio descubre que el nodo local vecino a un nodo distante, un enlace dedicado entre una interfaz aérea del nodo local y una interfaz aérea de dicho nodo distante, dicho enlace no es compartido y accesible por otros nodos pares.

Según la invención, cada interfaz de aire comprende los componentes como se define en la reivindicación 1, las interfaces de aire estando dispuestos tal como se especifica en la reivindicación 1.

Por ejemplo, cada interfaz de aire puede comprender un conjunto de chips de la familia 802.11.

Preferiblemente, cada medio para el descubrimiento de nodos de grupo vecino puede comprender medios para la gestión autónoma de rutas de radio, medios para la gestión de enlaces cooperativamente con nodos vecinos de pares, un enlace siendo una asociación entre dos nodos de grupo, y los medios para la gestión de rutas, una ruta siendo una concatenación de enlaces.

Preferiblemente, los medios para la gestión autónoma de rutas de radio pueden comprender primeros medios para seleccionar, para cada nodo vecino con una interfaz de aire de los que al menos un camino de radiocomunicaciones ha sido establecido por una interfaz de aire local, la ruta de acceso de radio que tiene la señal más fuerte fuerza entre todas las rutas de radio establecidos con ese vecino. Los medios para gestionar de forma autónoma las rutas de radio también pueden comprender preferiblemente segundos medios para seleccionar, entre las rutas de radio ya seleccionadas y para cada interfaz aérea local asociada en más de una de las rutas de radio ya seleccionadas, la ruta de radio válida que tiene la intensidad de señal más fuerte. Los medios para gestionar de forma autónoma las rutas de radio también pueden comprender preferiblemente medios para eliminar las rutas de radio establecidas, excepto las rutas de radio válidas.

En una realización preferida, el primero y el segundo medio para la selección de una ruta de radio puede incluir medios para el manejo de una matriz de ruta, que puede ser tal que cada fila corresponde a una interfaz de aire de la nodo local, de manera que cada uno corresponde columna a una interfaz aérea de un nodo vecino y de manera que cada elemento distinto de cero sea la fuerza de una ruta de radio válida que asocie una interfaz aérea del nodo local con una interfaz aérea de un nodo vecino.

En una realización preferida, los medios para la gestión de enlaces cooperativamente con nodos de grupo vecino pueden comprender medios para el intercambio con enlaces de 1 salto de nodos pares vecinos incluyendo su capacidad de conexión $c^{(1)}$ de 1 salto, cada enlace de 1 salto correspondiente a una ruta de radio válida. Los medios para gestionar enlaces de forma cooperativa con nodos pares vecinos también pueden comprender medios para calcular la capacidad de conexión de 2 saltos $c^{(2)}$ entre los nodos pares vecinos. Los medios para gestionar enlaces de forma cooperativa con nodos pares vecinos también pueden comprender medios para eliminar los enlaces de 1 salto cuyas capacidades de conexión de 1 salto $c^{(1)}$ son menores que las capacidades de conexión de 2 saltos $c^{(2)}$ de los correspondientes enlaces de 2 saltos.

En una realización preferida, los medios para el intercambio de enlace de 1 salto pueden incluir medios para el manejo de una matriz de enlace, que puede ser tal que cada fila y cada columna corresponden al nodo local o un nodo vecino y de tal manera que cada elemento es la capacidad de conexión de 1 salto $c^{(1)}$ de un enlace que asocia dos nodos pares vecinos.

En una realización preferida, los medios para el cálculo de la capacidad de conexión 2 saltos $c^{(2)}$ entre los nodos de grupo vecino pueden incluir medios para calcular $c^{(2)} = (\sum_{i=1,2} 1/c^{(1)}_i + \zeta/M)^{-1}$, donde M es el tamaño de un paquete y ζ es el retraso de enrutamiento del paquete.

Por ejemplo, cada nodo puede nacer por una plataforma marítima.

Por lo tanto, una ventaja adicional de una MANET de acuerdo con la invención en cualquiera de sus aspectos es que el enfoque MBA logra escalabilidad inherente de la red en términos de número de nodos y capacidad agregada. También dificulta las escuchas, debido a la localización de la radiación emitida solo a los destinatarios previstos. Vale la pena señalar que el enfoque de MBA obtiene estas ventajas sin sacrificar las ventajas inherentes de las MANET, como la flexibilidad, la autocuración y la autoorganización.

Los ejemplos y realizaciones de la invención se describen a continuación con referencia a los dibujos adjuntos en los

que:

- La figura 1, en una vista superior, una ilustración de tres nodos en forma de disco que comprenden una interfaz inalámbrica omnidireccional de acuerdo con la técnica anterior;
- Las figuras 2a, 2b y 2c, por vistas superiores, ilustraciones de algunos problemas de coordinación particulares que enfrentan los protocolos MAC para redes inalámbricas de acuerdo con la técnica anterior;
- La figura 3, mediante un diagrama, una ilustración de una pila de protocolo ejemplar hasta la capa de transporte según la invención;
- La figura 4, en una vista en perspectiva, una ilustración del despliegue de redes ad-hoc en un entorno naval;
- Las figuras 5a y 5b, por vistas superiores, ilustraciones de dos formas de agrupar energía, la figura 5b ilustra la forma preferida de acuerdo con la invención;
- La figura 6, por una vista superior, una ilustración del establecimiento de un enlace dedicado de acuerdo con la invención;
- La figura 7, mediante un diagrama, una ilustración de un proceso ejemplar de descubrimiento de vecinos distribuidos según la invención;
- La figura 8, mediante un diagrama, una ilustración de una etapa ejemplar de gestión de ruta de acuerdo con la invención;
- La figura 9, mediante un diagrama, una ilustración de un ejemplo de establecimiento de enlaces entre nodos de acuerdo con la invención;
- La figura 10, mediante un diagrama, una ilustración de una etapa ejemplar de gestión de enlaces según la invención;
- La figura 11, mediante un diagrama, una ilustración de una etapa ejemplar de la gestión de ruta según la invención.

En las figuras, los signos de referencia similares se asignan a elementos similares.

Las MANET han sido estudiadas y especificadas por los organismos de normalización IETF e IEEE durante más de una década. Ambos cuerpos asumen tácitamente una o más interfaces inalámbricas omnidireccionales y que todos los nodos de la MANET juntos forman una subred IP.

El IETF ha centrado en los protocolos de enrutamiento que son capaces de capturar topologías dinámicas causadas por el movimiento del nodo. El resultado es una gran variedad de protocolos de enrutamiento de la MANET, cada uno adaptado a un tipo de red específico y al dinamismo específico de su topología. El grupo de tareas 802.11s del IEEE se ha centrado en los mecanismos y protocolos específicos de control de acceso medio (MAC) que se requieren para la coordinación entre nodos vecinos en redes de malla inalámbricas. Estos mecanismos MAC son mucho más complejos que los mecanismos MAC actuales especificados para su uso dentro de redes inalámbricas de área local (WLAN). Además del MAC, el IEEE define los protocolos de enrutamiento, para los cuales ha tomado prestados conceptos adecuados del IETF. Hay una diferencia fundamental en los dos enfoques. El IETF realiza el enrutamiento en la capa IP y los resúmenes, como de costumbre, de las capas inferiores de MAC y radio. El IEEE, por otro lado, resuelve el enrutamiento en la capa de enlace e incluye el procesamiento MAC y la transmisión de radio. El enfoque IEEE es compatible con el reenvío de IP estándar en una subred de IP: todos los nodos de la MANET se pueden alcanzar en un salto de IP. El enfoque IETF, por otro lado, viola esta regla, debido a la necesidad de que más de un salto de IP llegue a todos los nodos. Para reparar esto, cada uno de los protocolos IP (en su mayoría enrutamiento) que lo padecen debe modificarse.

A pesar de los esfuerzos de IETF e IEEE, todavía no hay productos MANET maduros disponibles en el mercado. Estos productos, especialmente las radios contenidas en ellos, es decir, los receptores y los transmisores, se han optimizado para su uso en entornos urbanos a fin de contrarrestar las transmisiones de múltiples rutas que degradan el rendimiento. Sin embargo, dependiendo del entorno previsto, las condiciones de transmisión pueden diferir. Por ejemplo, se describe a continuación una MANET ejemplar de acuerdo con la invención destinado al entorno marítimo. De hecho, la invención ha sido diseñada en el contexto del área marítima. Sin embargo, debe entenderse que la aplicación en otras áreas operativas, como tierra y aire, no está excluida. Para comprender la decisión de diseño tomada para la presente MANET marítima ejemplar de acuerdo con la invención, se necesita una mirada más cercana a las peculiaridades de la transmisión de radio en las MANET clásicas.

La figura 1 ilustra mediante una vista superior tres nodos en forma de disco 1, 2 y 3, cada nodo que comprende una interfaz inalámbrica omnidireccional representada por un cuadrado centrado. Un círculo discontinuo representa la cobertura de radio de cada nodo para una comunicación exitosa de mensajes. Los tres nodos 1, 2 y 3 juntos forman un enlace 4 de acceso múltiple representado por un pseudo-triángulo. Los tres nodos 1, 2 y 3 deben coordinar su acceso al enlace 4 de acceso múltiple antes de la transmisión de datos. Según la técnica anterior, esta es la tarea del conocido protocolo MAC. Cuando todos los nodos 1, 2 y 3 tienen datos para enviar, cada nodo obtiene aproximadamente un tercio de la capacidad de radio disponible, pero en la práctica esto es considerablemente menor debido a la sobrecarga de MAC. En general, cuantos más nodos estén conectados a un enlace de acceso múltiple, menos capacidad estará disponible por nodo. En otras palabras, la MANET clásica no es escalable en capacidad. De hecho, los protocolos MAC para redes inalámbricas se enfrentan a algunos problemas de coordinación particulares, como se ilustra en las figuras 2a, 2b y 2c.

Las figuras 2a ilustra el problema del nodo oculto que puede ocurrir tanto en WLAN y MANET. En el caso de una WLAN, el nodo 2 es la estación base y los nodos 1 y 3 están en sitios opuestos de la estación 2 base de modo que sus respectivas coberturas de radio no se superponen. Cuando el nodo 1 intenta enviar a la estación 2 base, el nodo 3 no puede escuchar esa transmisión y decide por error que el medio está libre. Si el nodo 1 inicia una transmisión a la estación 2 base, colisionará con la transmisión del nodo 3. En WLAN, este problema se resuelve mediante la introducción de un acuse de recibo de solicitud de envío (RTS), autorización de envío (CTS) y reconocimiento (ACK). El nodo 1 envía un RTS a la estación 2 base, y la estación 2 base responde con un CTS para indicar que está listo para iniciar la comunicación. El nodo 3 puede escuchar lo último y, en consecuencia, se abstendrá de enviar hasta que el ACK de la estación 2 base marque el final de la transmisión de datos posterior. Aunque resuelve el problema del nodo oculto, el uso de este acuse de recibo en los MANET clásicos presenta el problema del nodo expuesto ilustrado en la figura 2b.

En virtud del mecanismo de acuse de recibo descrito anteriormente, podría haber habido transmisiones simultáneas libres de colisiones desde el nodo 3 al nodo 2 y desde un nodo 4 hacia el nodo 1. Sin embargo, la aplicación del intercambio RTS/CTS da como resultado la recepción por el nodo 2 de un CTS enviado por el nodo 1 o *viceversa*, lo que prohíbe las transmisiones entre el nodo 3 y el nodo 2. Por lo tanto, las transmisiones se retrasan innecesariamente y la capacidad se estropea innecesariamente.

Sin embargo, otro problema de coordinación en las redes inalámbricas es el problema del nodo conscientes ilustra en la figura 2c. La detección de portadora en WLAN ocurre tanto a nivel físico (detección de una portadora de RF) como a nivel lógico (detección de mensajes transmitidos). Si se detecta alguno de ellos, el nodo considera que el medio está ocupado y se abstiene de transmitir. Sin embargo, el sentido del portador físico es mucho más sensible que el sentido del portador lógico. Esto puede hacer que un nodo distante, en este caso el nodo 1, se abstenga de comunicarse porque detecta el operador del nodo 2, incluso si la transmisión de mensajes no colisionaría con los mensajes transmitidos del nodo 2 que envió el operador detectado. El problema del nodo no consciente es una limitación severa del rendimiento en los MANET clásicos.

Por lo tanto, se puede concluir que la técnica anterior se acerca a MANET requieren más sofisticados mecanismos de MAC de WLAN hacer, y que no forman una solución escalable para MANET. A continuación, se describe cómo la presente MANET marítima ejemplar de acuerdo con la invención supera estas limitaciones, especialmente mediante la combinación del enfoque MBA con el proceso de DND.

Como se ilustra en la figura 3, la presente MANET marítima ejemplar de acuerdo con la invención define una pila de protocolos específica hasta la capa de transporte. Las capas del conocido modelo de referencia del protocolo ISO-OSI se muestran en la columna izquierda. Para mayor comodidad, la MANET marítima se divide en tres partes: un subsistema de distribución de middleware en la capa de transporte, un subsistema de IP ad-hoc en la capa de red y un subsistema de transmisión en la capa de enlace de datos y la capa física.

En la capa PHY, la pila de protocolos ilustrada comprende una solución de antena optimizada para el entorno naval. Para la capa DLL, se utilizan las soluciones 802.11a o 802.11n existentes, lo que implica que no se necesitan los complejos protocolos MAC necesarios para las MANET clásicas. En la capa de red IP, se utiliza un protocolo de enrutamiento ad-hoc apropiado en combinación con otras capacidades IP necesarias que son la capacidad MANET, la capacidad SSM y la capacidad DiffServ. Encima de esta capa de red IP reside un subsistema de distribución de middleware como se describe en la solicitud de patente europea número EP10152278.7 presentada previamente por el solicitante, cuyo propósito es proporcionar la interconexión entre los procesos de solicitud. La última solicitud de patente describe un subsistema IP y un subsistema de distribución de middleware, que son adecuados para implementar, respectivamente, la capa de red IP y la capa de transporte de la presente MANET marítima ejemplar de acuerdo con la invención.

Vale la pena señalar que el subsistema de transmisión ilustrado en la figura 3 proporciona una solución para la comunicación de línea de visión (LOS) entre nodos de grupo. Para la comunicación más allá de la línea de visión (BLOS), que puede ser necesaria cuando la comunicación LOS ya no proporciona una red conectada, se puede utilizar una tecnología inalámbrica alternativa basada en radios HF y antenas Skywave de incidencia vertical cercana.

Utilizada en situaciones de red ad-hoc, la arquitectura de un MBA resuelve el problema de energía y permite soluciones para el problema de coordinación. También permite la integración de conjuntos de chips de radio COTS (comercialmente disponibles) y antenas personalizadas. Utilizado junto con un MBA, el proceso de DND incluye en particular:

- o la gestión de rutas: un mecanismo esencial para lograr enlaces dedicados y, como tal, deshacerse del complejo protocolo MAC para redes ad-hoc; también acomoda el movimiento relativo entre vecinos, incluidos los movimientos de traslación y de rotación;
- o la gestión de enlaces: una mejora de la conectividad de la red al evitar enlaces más débiles; también es transparente y fácil de integrar con el enrutamiento IP estándar.

Como se ilustra en la figura 4, el despliegue de redes ad-hoc en un ambiente naval difiere en muchos aspectos de

despliegue de redes ad-hoc en un entorno urbano, para los que se han optimizado los próximos productos MANET. Primero, la transmisión por múltiples rutas en el mar apenas ocurre, excepto por el reflejo especular del mar mismo. Segundo, las distancias de transmisión requeridas en el mar son mucho más largas. Es por eso que, para minimizar el número de nodos pares requeridos, los nodos 31, 32 y 33 pares están representados por módulos de hardware cilíndricos y, por lo tanto, para minimizar el coste total del sistema, los nodos pares pueden implementarse a una cierta altura por encima del nivel del mar para pasar por el horizonte hasta un nodo par vecino suficientemente distante. Preferiblemente, los nodos 31, 32 y 33 pares pueden ser módulos de distribución ad-hoc como los descritos en la solicitud de patente Europea n.º EP10152280.3 presentada previamente por el solicitante. Se prevé una distancia típica de $D \approx 20\text{-}25$ kilómetros entre los nodos 32 y 33 pares vecinos a alturas de $h \approx 15\text{m}$. Una tercera diferencia se refiere al despliegue de vecinos. En la figura 4, el nodo 31 y el nodo 32 son vecinos de 1 salto, ya que solo se necesita una ruta 34 de transmisión entre esos dos nodos. De manera similar, el nodo 32 y el nodo 33 son vecinos de 1 salto, ya que solo se necesita una ruta 35 de transmisión entre esos dos nodos. Sin embargo, el nodo 31 y el nodo 33 son vecinos de 2 saltos, ya que las dos rutas 34 y 35 de transmisión son necesarias entre esos dos nodos. La figura 4 muestra claramente que los vecinos de 2 saltos, por ejemplo, los nodos 31 y 33 pares, siempre están detrás del horizonte. Esto evita el problema de nodo no consciente que afecta a los MANET clásicos.

Estas diferencias hacen que los próximos productos COTS MANET inútiles en el entorno naval. Es por esto que se adopta un enfoque radicalmente diferente para el subsistema de transmisión de la presente MANET marítima ejemplar según la invención. Entre otros, este subsistema comprende:

- medios para agrupar la energía electromagnética emitida, a fin de resolver el problema de energía;
- medios para deshacerse de los problemas de coordinación relacionados con el acceso múltiple (por ejemplo, nodo oculto, nodo expuesto, nodo no consciente), para evitar la necesidad de mecanismos MAC complejos y permitir el uso de conjuntos de chips inalámbricos 802.11 económicos y confiables.

En virtud de estos medios, la presente MANET marítima ejemplar según la invención se hace escalable en capacidad, como se explica a continuación.

Una agrupación adecuada de energía electromagnética resulta en la creación de haces dirigidos hacia nodos de grupo vecino. La agrupación de energía mejora la relación señal/ruido en el nodo receptor y, por lo tanto, permite mayores distancias de transmisión. Una ventaja secundaria, pero no menos valiosa, de la agrupación de energía es hacer que las escuchas sean más difíciles. Después de todo, esto solo se puede hacer cuando el adversario está entre nodos vecinos, donde es fácilmente detectado. Sin embargo, la agrupación de energía también introduce nuevos requisitos. Primero, dado que los nodos pares pueden moverse uno respecto al otro, siendo posible la traducción y la rotación de los nodos pares, un nodo debe ser capaz de mantener un haz en los nodos pares con los que está conectado. En segundo lugar, un nodo debe poder operar de forma omnidireccional periódicamente para descubrir nodos pares que lleguen a su vecindario.

Las figuras 5a y 5b ilustran dos formas de agrupación de energía. La figura 5a muestra cómo se puede lograr entre cuatro nodos 41, 42, 43 y 44 pares mediante la formación de haces. En este caso, se utiliza una única interfaz aérea inalámbrica por nodo con una antena interferométrica, cada interfaz representada por un cuadrado centrado. La antena interferométrica puede ser una matriz circular de monopolos. Por ejemplo, al aplicar las fases correctas a los monopolos individuales de la antena del nodo 44, se produce un patrón de radiación con los haces 45, 46 y 47 hacia los nodos 41, 42 y 43 pares vecinos, respectivamente. Esta solución resuelve el problema de energía, pero aún requiere un mecanismo MAC complejo porque hay un enlace de acceso múltiple y, en consecuencia, se requiere coordinación para las transmisiones entre los nodos 41, 42, 43 y 44. Como se ilustra en la figura 5a con un círculo discontinuo, el descubrimiento de vecindario todavía requiere una transmisión omnidireccional, que sufre del problema de potencia que acabamos de resolver mediante la formación del haz.

La figura 5b ilustra un enfoque alternativo de MBA entre cuatro nodos 48, 49, 50 y 51 pares. Este es el enfoque de MBA según la invención. En lugar de una interfaz inalámbrica por nodo, hay varias interfaces aéreas inalámbricas por nodo. Una interfaz de aire es un elemento integrado que comprende una antena y un radio (es decir, un receptor de RF, un transmisor de RF y electrónica de control para establecer una conexión con una interfaz de vecino). Por ejemplo, tres interfaces 55, 56 y 57 del nodo 51 están representadas cada una por un cuadrado y tienen cada una un patrón 52, 53 y 54 de radiación direccional respectivamente. A pesar de no mostrarse en la figura 5b en aras de la claridad, de hecho, hay muchas más interfaces que el número máximo de vecinos, a fin de proporcionar una cobertura angular completa de 360° . Por lo tanto, mientras que solo unas pocas interfaces están conectadas con los vecinos, todas las demás interfaces realizan el descubrimiento del vecindario, que en este caso no sufre el problema de la alimentación. Además, se puede descubrir vecindarios cualesquiera que sean las ubicaciones relativas de los nodos pares. El descubrimiento del vecindario da como resultado el establecimiento de vínculos dedicados con los vecinos.

La figura 6 ilustra el establecimiento de un enlace dedicado 60 en virtud de los haces 61 y 62 de las interfaces 66 y 65 respectivamente de los nodos 63 y 64 pares vecinos respectivamente. Debido a que el enlace 60 es dedicado, no hay necesidad del complejo protocolo MAC como en MANET clásico. Por lo tanto, el radio de cada interfaz se puede basar en los conjuntos de chips probados y baratos de la familia 802.11. La capacidad de transmisión de tales radios está disponible para cada interfaz, lo que significa que la presente MANET marítima ejemplar según la invención es

escalable en su capacidad.

A modo de conclusión, se puede afirmar que el enfoque MBA acuerdo con la invención obedece a los tres principios de diseño para un subsistema de transmisión de una MANET marítima: se resuelve el problema de la energía a través de la agrupación de energía, se deshace del complejo MAC evita los enlaces de acceso múltiple y permite el uso de conjuntos de chips inalámbricos 802.11 económicos y confiables.

Típicamente, un número grande N de interfaces, $N \approx 20$ por ejemplo, se puede usar para cada nodo, mientras que sólo unos pocos, por ejemplo, inferior a 6, se pueden utilizar simultáneamente. Entonces, el ancho de haz de -3dB de una interfaz puede ser igual a $360/N$, de modo que los haces adyacentes pueden cruzarse en su punto de -3dB . La antena de cada interfaz se puede realizar preferiblemente mediante una matriz de parches basada en tecnologías PCB conocidas, lo que da como resultado los anchos de haz deseados. Las interfaces, cada interfaz que comprende una antena y una radio con electrónica de control, están integradas dentro de un módulo de distribución ad-hoc. Las antenas están dispuestas en la circunferencia del módulo. La radio de una interfaz puede realizarse preferiblemente mediante un conjunto de chips 802.11a/n/g existente conectado a un ordenador. Una interfaz aérea así implementada es particularmente barata.

Sin embargo, el enfoque de MBA antes mencionado sólo puede funcionar correctamente cuando los enlaces dedicados se establecen entre nodos pares. Tal establecimiento se logra cuando se toman decisiones inequívocas con respecto a qué interfaz de cada nodo participar en un enlace y qué pares de nodos establecen un enlace. Estos aspectos se tienen en cuenta en el proceso de descubrimiento del vecindario que se encarga de la unión, el movimiento y también el abandono de los nodos pares en la red.

La figura 7 ilustra mediante un diagrama una visión general del proceso de DND de acuerdo con la invención. Cada nodo implementa un proceso de DND, que se comunica y coordina con todas las interfaces aéreas del MBA, y con los procesos DND pares en los nodos pares vecinos. A continuación, se supone que cada nodo comprende N interfaces de radio, donde $N \approx 20$, por ejemplo. Para la descripción del proceso de DND, se necesitan las siguientes definiciones:

- una interfaz de radio I_i^k de un nodo n_i , donde $k \leq N$, es el subsistema físico que comprende un transmisor, un receptor y una antena;
- una ruta de radio (I_i^k, I_j^m, p) es una asociación entre la interfaz I_i^k del nodo n_i y una interfaz I_j^m de un nodo n_j par vecino, donde $m \leq N$, la ruta de radio caracterizándose por la fuerza p de la señal de RF correspondiente;
- un enlace $(n_i, n_j, c^{(1)})$ es una asociación entre nodos n_i y n_j pares vecinos, caracterizada por su capacidad de conexión de 1 salto $c^{(1)}$;
- Una ruta es una concatenación de enlaces entre un nodo de origen y un nodo de destino.

El proceso de descubrimiento de vecindario de acuerdo con la invención comprende típicamente las siguientes etapas en el orden:

- una etapa de gestión de ruta realizada en el intervalo T_{ruta} , dicha etapa estableciendo rutas de radio tales que:

- se selecciona la interfaz con la ruta de radio más fuerte a un vecino;
- por interfaz se selecciona la ruta de radio más fuerte.

- una etapa de gestión de enlace realizada en el intervalo T_{enlace} , dicha etapa estableciendo enlaces entre nodos pares de modo que cuando existen múltiples enlaces a un nodo, solo se mantiene el que tiene la mayor capacidad;

- una etapa de gestión de ruta realizado en el intervalo T_{ruta} , dicha etapa probablemente sea un protocolo de enrutamiento ad-hoc proactivo existente, posiblemente modificado para aprovechar las métricas de radio de los enlaces.

La figura 8 ilustra mediante un diagrama la etapa de la gestión de ruta según la invención. La gestión de ruta es una operación no colaborativa realizada individualmente dentro de cada nodo. Puede implementarse ventajosamente como un módulo de software.

En una primera etapa, la interfaz de radio I_i^k descubre vecinos y establece rutas. Esto se realiza de forma autónoma mediante la interfaz I_i^k , en función de las capacidades del conjunto de chips 802.11 o de cualquier otro chip de radio cuando se usa.

En una segunda etapa, las rutas establecidas previamente se recuperan y se crea una matriz de ruta. Suponiendo que solo los nodos n_1, n_2, n_3 y n_4 pares son vecinos al nodo n_i , y así implícitamente suponiendo que $i \neq 1, i \neq 2, i \neq 3$ e $i \neq 4$, una matriz P_i de ruta parcial ejemplar puede ser resaltada en el marco en negrita de la tabla siguiente:

P _i		n1			n2		n3		n4
		m = 3	m = 4	m = 5	m = 1	m = 2	m = 4	m = 5	m = 2
n _i	k-1	p _{k-1,1}	p _{k-1,2}	p _{k-1,3}	p _{k-1,4}	p _{k-1,5}	p _{k-1,6}	p _{k-1,7}	p _{k-1,8}
	k	p _{k,1}	p _{k,2}	p _{k,3}	p _{k,4}	p _{k,5}	p _{k,6}	p _{k,7}	p _{k,8}
	k+1	p _{k+1,1}	p _{k+1,2}	p _{k+1,3}	p _{k+1,4}	p _{k+1,5}	p _{k+1,6}	p _{k+1,7}	p _{k+1,8}

5 En el marco negrita anteriormente, la matriz P_i de la ruta modela todas las rutas desde el nodo N_i a nodos n₁, n₂, n₃ y n₄ vecinos pares. Las interfaces del nodo n_i forman las filas, mientras que las interfaces de los vecinos, agrupadas por nodo n₁, n₂, n₃ y n₄ par, forman las columnas. Cada elemento de p de la de la matriz P_i es la fuerza de la ruta de radio correspondiente. Por ejemplo, el elemento p_{k-1,1} es la fuerza de la ruta (I_i^{k-1}, I₁³, p_{k-1,1}) de radio.

En una tercera etapa, para cada uno del nodo n₁, n₂, n₃ y n₄ vecino par, el camino más fuerte se selecciona, es decir, el camino cuya fuerza p es máxima. Sin embargo, esto puede dar como resultado que se seleccione varias veces una interfaz I_i^k del nodo n_i.

10 Esa es la razón por la cual, en una cuarta etapa, se selecciona la ruta más fuerte por interfaz I_i^k que se ha seleccionado en la etapa anterior, es decir, la ruta válida cuya fuerza es máxima, para asegurar que cada interfaz I_i^k del nodo n_i se selecciona solo una vez.

15 En una quinta etapa, cada interfaz I_i^k del nodo n_i que ha sido seleccionado en la tercera etapa se emiten mensajes de eliminar ruta para suprimir las rutas no válidas. Por lo tanto, solo quedan las rutas válidas seleccionadas en la cuarta etapa.

El proceso de gestión de ruta anteriormente descrito se repite cada T_{ruta} segundos. Esto significa que cada T_{ruta} segundos, la matriz de ruta se actualiza.

A continuación, los enlaces se crean a partir de rutas válidas restantes como se describe a continuación.

20 En la figura 8, los bloques ejecutados por el chip de radio se han coloreado en gris, mientras que los bloques ejecutados por el proceso de DND se han dejado transparentes.

25 La figura 9 ilustra un ejemplo de cómo el proceso de DND puede establecer enlaces entre nodos. En este ejemplo, solo hay siete nodos n₁, n₂, n₃, n₄, n₅, n₆ y n₇ y solo siete haces por nodo solo con fines ilustrativos. Cuando la interfaz de un nodo está activa, el haz correspondiente es de color gris oscuro en la figura 9. Cuando las interfaces están inactivas, los haces correspondientes se muestran en gris claro. Las líneas continuas entre los nodos son las rutas que se utilizan, por ejemplo, la ruta entre el nodo n₂ y el nodo n₃. Los números a lo largo de las líneas indican la fuerza de la ruta en unidades arbitrarias.

La figura 9 ilustra, mediante líneas de puntos entre los nodos, rutas que han sido eliminadas por la gestión de ruta porque no es la ruta más fuerte en un haz. Estas líneas punteadas se tratan colectivamente. Por ejemplo, la ruta entre el nodo n₃ y el nodo n₅ se elimina porque el mismo haz del nodo n₃ tiene una ruta más fuerte al nodo n₄.

30 La figura 10 ilustra mediante un diagrama la etapa de la gestión de enlace según la invención. La gestión de enlace es una operación colaborativa, que se distribuye entre nodos pares vecinos directos. Puede implementarse ventajosamente como un módulo de software. Un enlace (inalámbrico) es una asociación entre nodos pares, mientras que una ruta (radio) es una asociación entre interfaces. La distinción entre rutas y enlaces es útil: cuando un nodo necesita rastrear a un vecino, ya sea debido a una traducción relativa o una rotación relativa entre sí, las rutas pueden cambiar, pero los enlaces no.

35 El alcance entre todos los nodos de grupo de la presente MANET marítima ejemplar de acuerdo con la invención puede ser modelado por una matriz R⁽ⁿ⁾. Cuando todos los enlaces son bidireccionales, lo que se supone, entonces R⁽ⁿ⁾ es una relación simétrica, irreflexiva y homogénea entre los nodos pares. Para el proceso de gestión de enlaces se necesita una relación de accesibilidad similar entre los nodos de la vecindad de 1 salto de un nodo n_i. Esta relación se denomina matriz de enlace L⁽ⁿ⁾, cuyo uso se explica en el proceso de tres etapas que se describe más adelante. En el caso de la accesibilidad de 1 salto, la matriz de enlace se denota simplemente como L_i. El elemento (j, m) = (m, j) de L_i es la capacidad del enlace entre el nodo j y el nodo m. Vale la pena señalar que la matriz de enlace L_i debe ser coherente con la matriz de ruta P_i y debe seguir siéndolo. Por ejemplo, L_i y P_i se basan en el mismo conjunto de nodos n₁, n₂, n₃, n₄, n₅, n₆ y n₇ pares vecinos. La consistencia entre L_i y P_i se mantiene en virtud de un proceso de sincronización, que se ilustra en las figuras 8 y 10.

Una matriz de enlace homogénea ejemplar para el nodo n_i se deriva de la red ejemplar que se muestra en la figura 9. Como se muestra en la figura 9, los nodos n₂, n₃, n₄ y n₆ forman la vecindad de 1 salto del nodo n₁. La matriz L₁

de enlace es coherente con la matriz P_i de ruta de ejemplo anterior y se resalta en el cuadro en negrita de la tabla siguiente:

L_1	n1	n2	n3	n4	n6
n1	0	12,5	2,4	1,5	5,5
n2	12,5	0	3,3	0	0
n3	2,4	3,3	0	2,2	0
n4	1,5	0	2,2	0	1,1
n6	5,5	0	0	1,1	0

5 Cada elemento de la matriz de L_1 es el 1 salto de capacidad de conexión $c^{(1)}$ del enlace correspondiente en unidades arbitrarias, pero puede ser en megabits por segundo (Mbps) para las implementaciones reales. En ausencia de una ruta de radio válida entre los nodos n_2 y n_4 , entre los nodos n_2 y n_6 y entre los nodos n_3 y n_6 , las capacidades de conexión de 1 salto del enlace correspondiente son cero.

10 En una primera etapa, el nodo n_i crea un nuevo conjunto de enlaces en base a las rutas de acceso válidas contenidas en la última matriz P_i de ruta. Luego crea una nueva matriz L_i de enlaces y llena la fila i y la columna i de estos nuevos enlaces. El nodo n_i no puede llenar los otros elementos, ya que no conoce las capacidades de los enlaces correspondientes, sin embargo.

En una segunda etapa, el nodo n_i envía los enlaces recién definidos a todos los nodos en su nueva vecindad a 1 salto. De manera similar, el nodo n_i recibe de todos los nodos en su nueva vecindad de 1 salto sus nuevos enlaces.

15 En una tercera etapa, el nodo n_i tiene suficiente información para rellenar los elementos que faltan en la matriz L_i de enlace.

Ahora, el alcance n saltos del nodo n_i dentro de su vecindad a 1 salto puede ser modelado por una matriz $L_i^{(n)}$, donde las capacidades de los elementos son los compuestos n saltos de capacidad $c^{(n)}$ de conexión de los n enlaces concatenados:

$$c^{(n)} = (\sum_{i=1..n} 1/c^{(1)}_i + (n-1)*\zeta/M)^{-1}$$

20 donde M es el tamaño de un paquete y ζ es el retraso del enrutamiento de paquetes. Para la gestión de enlaces según la invención, hasta $n = 2$ es suficiente.

En una cuarta etapa, el nodo n_i calcula $L^{(2)}$. Los elementos en esta matriz denotan las capacidades de la ruta de 2 saltos entre dos nodos en la vecindad de 1 salto del nodo n_i . Una matriz $L^{(2)}_1$ de enlace ejemplar se resalta en el cuadro en negrita de la tabla a continuación:

$L^{(2)}_1$	n1	n2	n3	n4	n6
n1	0	1,4	2,6	1,1	0,6
n2	1,4	0	2,0	1,3	3,8
n3	2,6	2,0	0	0,9	1,7
n4	1,1	1,3	0,9	0	1,2
n6	0,6	3,8	1,7	1,2	0

25 En una quinta etapa, el nodo n_i compara el 1 salto de capacidad de conexión $c^{(1)}$ con los 2 saltos de capacidad de conexión $c^{(2)}$ para todos los nodos de su vecindad a 1 salto. Si $c^{(2)}$ es mayor que $c^{(1)}$ para un nodo n_j , entonces el nodo n_i actualiza L_1 eliminando el enlace $(n_i, n_j, c^{(1)})$ y la ruta de radio correspondiente también.

30 La figura 11 ilustra mediante un diagrama la etapa de la gestión de ruta según la invención. Puede implementarse ventajosamente como un módulo de software. Es similar a la gestión de ruta clásica.

En una primera etapa, el nodo n_i envía sus enlaces válidos a todos los demás nodos de la red usando cualquier capacidad de reenvío primitivo disponible en la red.

En una segunda etapa, el nodo n_i calcula las rutas con el fin de actualizar su tabla T_i de enrutamiento, que especifica el salto siguiente para cada nodo de destino. Luego, el siguiente salto se asigna a la ruta adecuada. Se supone el enrutamiento del estado del enlace.

5 La figura 9 ilustra, mediante líneas discontinuas entre el nodo n_1 y el nodo n_3 y entre el nodo n_4 y el nodo n_6 , rutas ejemplares que se han eliminado como consecuencia de la gestión del enlace. Estas líneas discontinuas se tratan individualmente. Como se puede ver en la figura 9, la fuerza de la ruta desde el nodo n_1 al nodo n_3 es menor que la fuerza compuesta desde el nodo n_1 al nodo n_3 a través del nodo n_2 . Tenga en cuenta que, a pesar de eliminar rutas, la red está conectada, es decir, cada nodo puede alcanzar a todos los demás nodos.

10 Es importante que se dé cuenta, en la presente MANET marítima ejemplar de acuerdo con la invención, todos los nodos son nodos de grupo con respecto a las características de la red. Implementan el mismo enfoque de antena de haces múltiples (MBA) y el mismo proceso de descubrimiento de vecinos distribuidos (DND) exactamente de la misma manera. No hay una estación base entre los nodos ni una infraestructura de red fuera de los nodos.

15 También es importante comprensión de que la MANET así formada según la invención es escalable en capacidad. De hecho, dado que hay muchas más interfaces inalámbricas por nodo de las que hay nodos pares que probablemente sean vecinos a dicho nodo, por lo tanto, la capacidad de cada nodo de comunicación no disminuye cuando establece un enlace dedicado con un nodo recién vecino. Por el contrario, la capacidad del enlace recién agregado se agrega a la capacidad general de la red.

Una ventaja adicional de la invención es que es particularmente barata de implementar, ya que se basa en la tecnología de PCB bien probada, en conjuntos de chips de radio COTS y en módulos de software.

20 Una ventaja adicional de la invención es que todos los elementos radiantes estando situados en la circunferencia de un módulo de hardware cilíndrico, se reducen al mínimo los problemas de EMI dentro de este módulo.

25 La zona de operaciones principal es la zona marítima y la invención ha sido diseñada en el contexto de esta área. Sin embargo, no se excluye la aplicación en otras áreas operativas, como tierra y aire. En el área marítima, los nodos pares nacerán en plataformas estacionarias o móviles, que pueden ser boyas, barcos de la marina, barcos comerciales o vehículos no tripulados. La altura del nodo par en estas plataformas determina la línea de visión con otros nodos pares y, por lo tanto, determina la proximidad espacial mencionada anteriormente. Los dominios de aplicación típicos, pero no exclusivos, para los que se adapta la invención son la defensa y la seguridad.

REIVINDICACIONES

1. Una red que comprende una pluralidad de nodos (n1, n2, n3, ...) pares, que son módulos de distribución y están representados por módulos de hardware cilíndricos, cada nodo (n1, n2, n3, ...) par comprende una pluralidad de interfaces aéreas inalámbricas, cada interfaz aérea comprende:
- 5 - una antena direccional que transmite y recibe haces de energía electromagnética,
 - un transceptor de radiofrecuencia,
 - medios para descubrir vecinos, un vecino de un nodo (n1, n2, n3, ...) par definido como un nodo (n1, n2, n3, ...) par en línea de visión,
 - medios para establecer rutas de radio con interfaces aéreas de vecinos descubiertos, en el que dicha pluralidad de interfaces aéreas de cada nodo (n1, n2, n3, ...) par están dispuestas en la circunferencia del módulo de distribución, de tal manera que los haces de las antenas direccionales cubren un ángulo completo de 360 grados.
- 10
2. Una red según la reivindicación 1, **caracterizada porque** los medios para descubrir vecinos comprenden:
- medios para gestionar de forma autónoma las rutas de radio en un intervalo T_{ruta} , configuradas para establecer rutas de radio;
 - medios para gestionar, en un intervalo T_{enlace} , enlaces cooperativamente con vecinos, un enlace es una asociación entre dos nodos (n1, n2, n3, ...) pares;
 - medios para gestionar rutas en un intervalo T_{ruta} , siendo una ruta una concatenación de enlaces.
- 15
3. Una red según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** cada interfaz aérea comprende un conjunto de chips de la familia de estándares IEEE 802.11 en relación con las redes inalámbricas de área local.
- 20
4. Una red según la reivindicación 2, **caracterizada porque** los medios para gestionar de forma autónoma las rutas de radio comprenden:
- primeros medios para seleccionar, para cada vecino con una interfaz aérea con la que al menos una ruta de radio ha sido establecida por una interfaz aérea local, la ruta de radio que tiene la intensidad de señal más fuerte entre todas las rutas de radio establecidas con ese vecino;
 - segundos medios para seleccionar, entre las rutas de radio ya seleccionadas y para cada interfaz aérea local asociada en más de una de las rutas de radio ya seleccionadas, una ruta de radio válida como la ruta de radio seleccionada que tiene la intensidad de señal más fuerte;
 - medios para eliminar las rutas de radio establecidas, excepto las rutas de radio válidas.
- 25
5. Una red según la reivindicación 4, **caracterizada porque** el primer y el segundo medio para seleccionar una ruta de radio incluyen medios para manejar una matriz (P_i) de ruta de un nodo (n_i) par, que es tal que:
- cada fila corresponde a una interfaz aérea del nodo (n_i) par;
 - cada columna corresponde a una interfaz aérea de un vecino;
 - cada elemento distinto de cero es la fuerza de una ruta de radio seleccionada que asocia una interfaz aérea del nodo (n_i) par con una interfaz aérea de un nodo (n1, n2, n3, ...) par vecino.
- 30
6. Una red según la reivindicación 2, **caracterizada porque** los medios para gestionar enlaces de forma cooperativa con vecinos comprenden:
- medios para intercambiar enlaces de 1 salto vecinos con su capacidad $c^{(1)}$ de conexión de 1 salto, correspondiendo cada enlace de 1 salto a una ruta de radio seleccionada;
 - medios para calcular la capacidad $c^{(2)}$ de conexión de 2 saltos entre los vecinos;
 - medios para eliminar los enlaces de 1 salto cuyas capacidades $c^{(1)}$ de conexión de 1 salto son menores que las capacidades $c^{(2)}$ de conexión de 2 saltos de los enlaces de 2 saltos correspondientes.
- 35
7. Una red según la reivindicación 6, **caracterizada porque** los medios para intercambiar enlaces de 1 salto incluyen medios para manejar una matriz (L_i) de enlaces de un nodo (n_i) par, que es tal que:
- cada fila y cada columna corresponden al nodo (n_i) par o uno de sus vecinos;
 - cada elemento es la capacidad de conexión de 1 salto de un enlace que asocia dos nodos (n1, n2, n3, ...) pares vecinos.
- 40
8. Una red según la reivindicación 6, **caracterizada porque** los medios para calcular la capacidad de conexión de 2 saltos entre los vecinos incluyen medios para calcular $c^{(2)} = (\sum_{i=1,2} 1/c^{(1)}_i + \zeta/M)^{-1}$, donde M es el tamaño de un paquete y ζ es el retraso de enrutamiento del paquete.
- 45
9. Una red según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** cada nodo (n1, n2, n3, ...) par nace de una plataforma marítima.
- 50

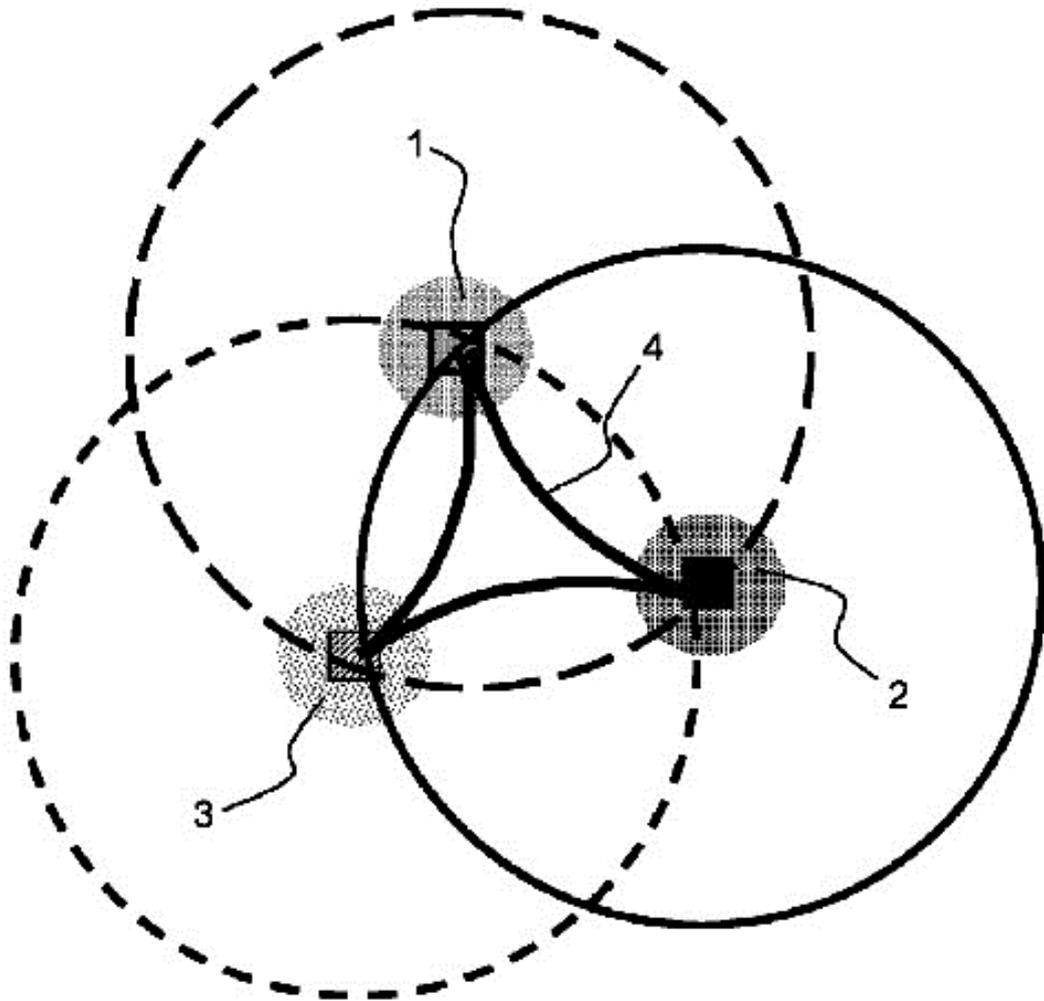


FIG.1
(TÉCNICA ANTERIOR)

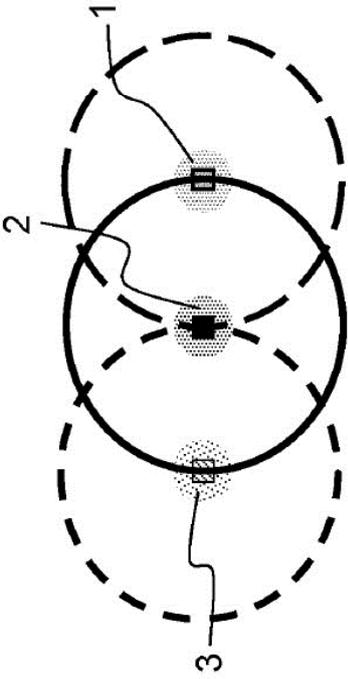


FIG. 2a
(TÉCNICA ANTERIOR)

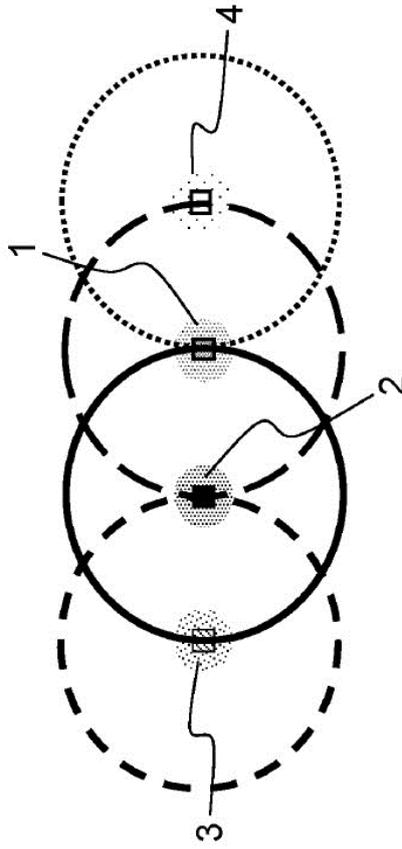


FIG. 2b
(TÉCNICA ANTERIOR)

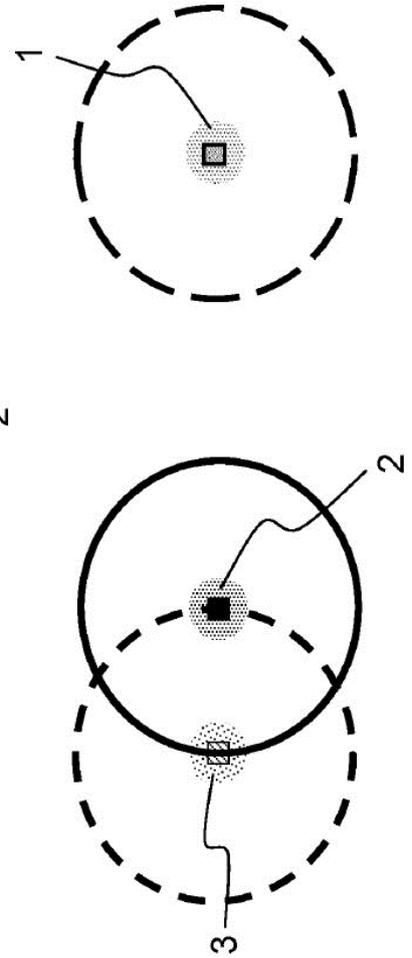


FIG. 2c
(TÉCNICA ANTERIOR)

transporte		middleware de distribución
red		IP (MANET, SSM, DiffServ)
DLL	LLC	basado en 802.11 a/n
	MAC	
PHY	TRX	
	Aire-IF	multihaz

FIG.3

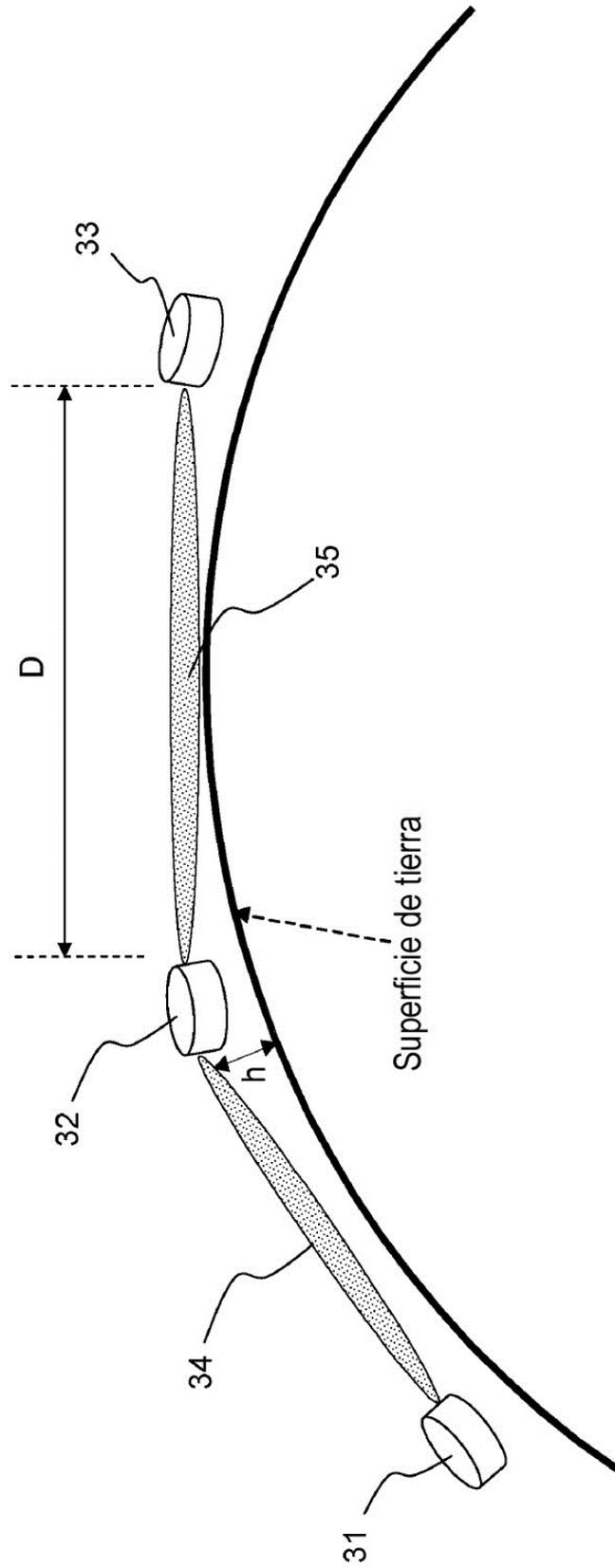


FIG.4

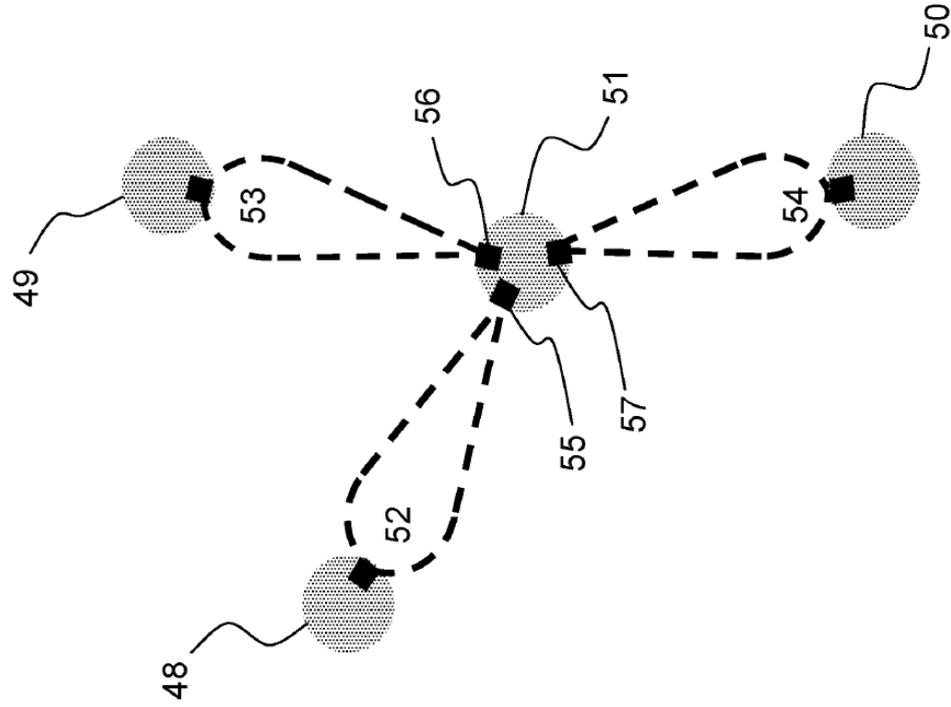


FIG. 5a

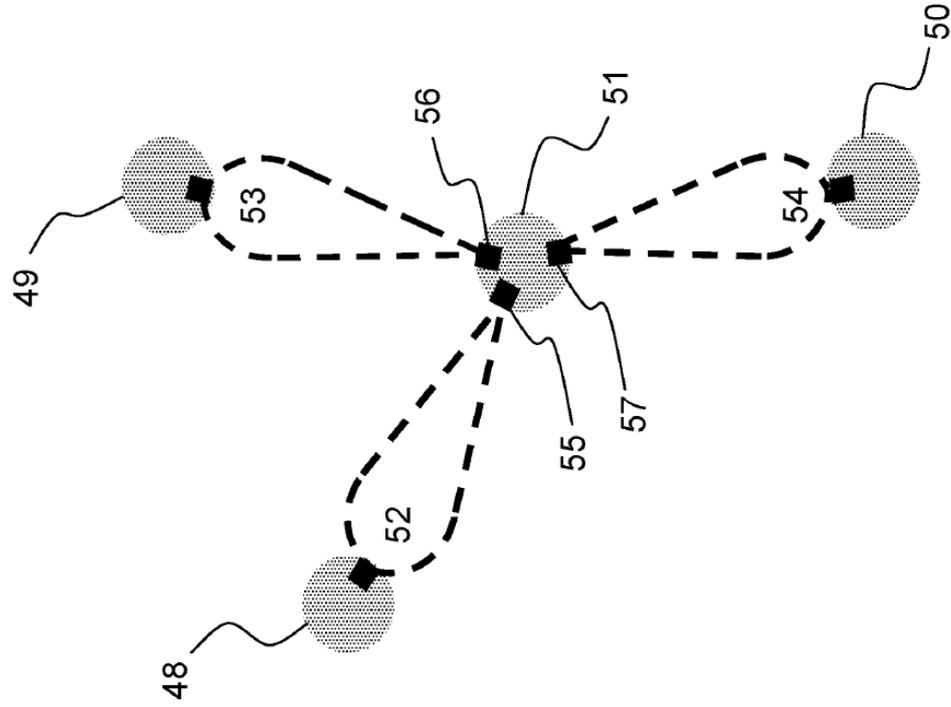


FIG. 5b

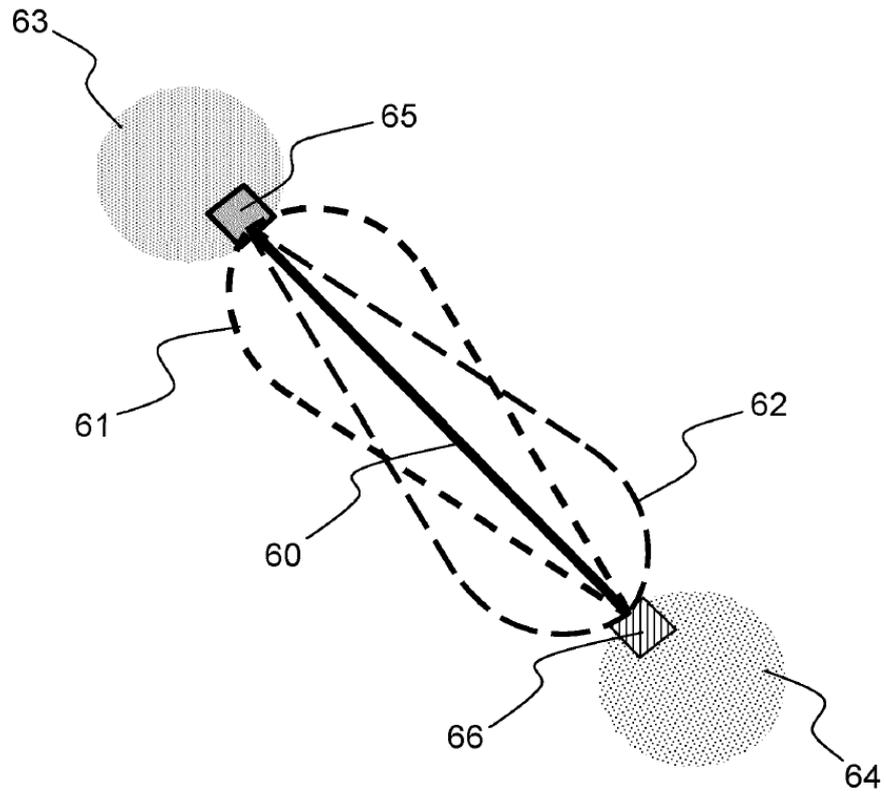


FIG.6

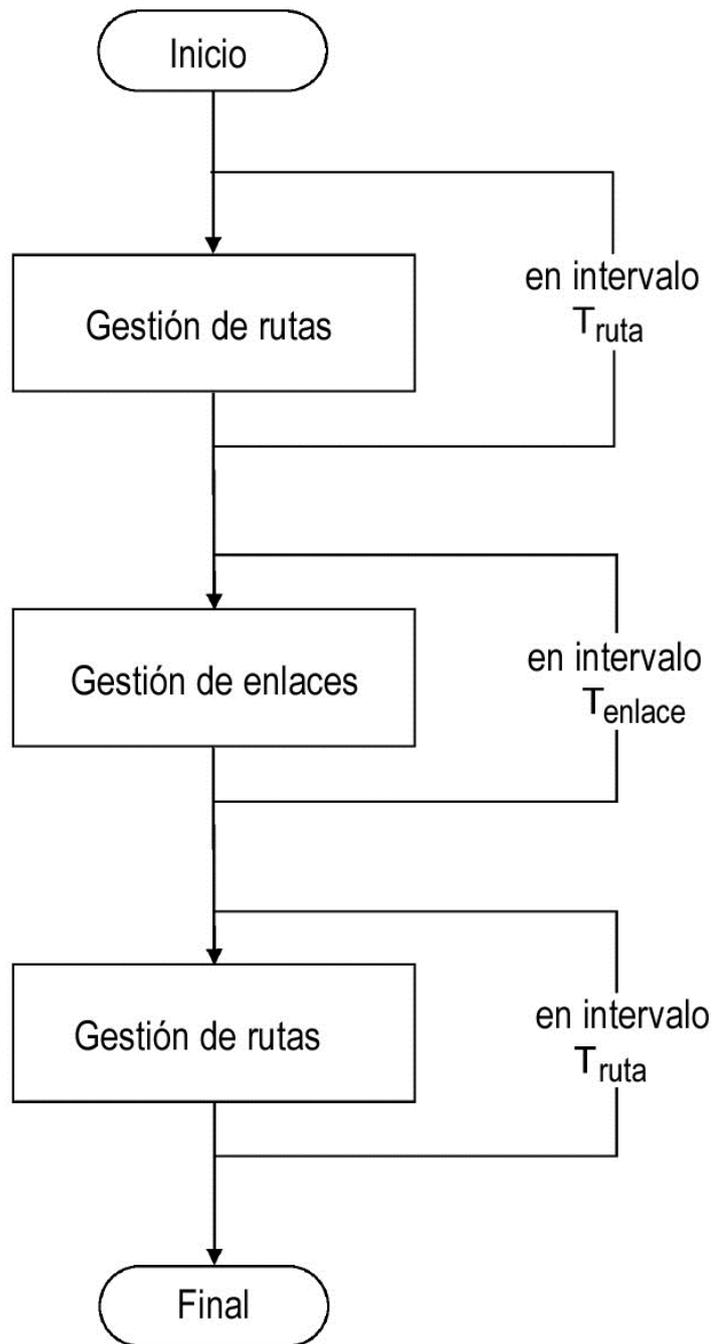


FIG.7

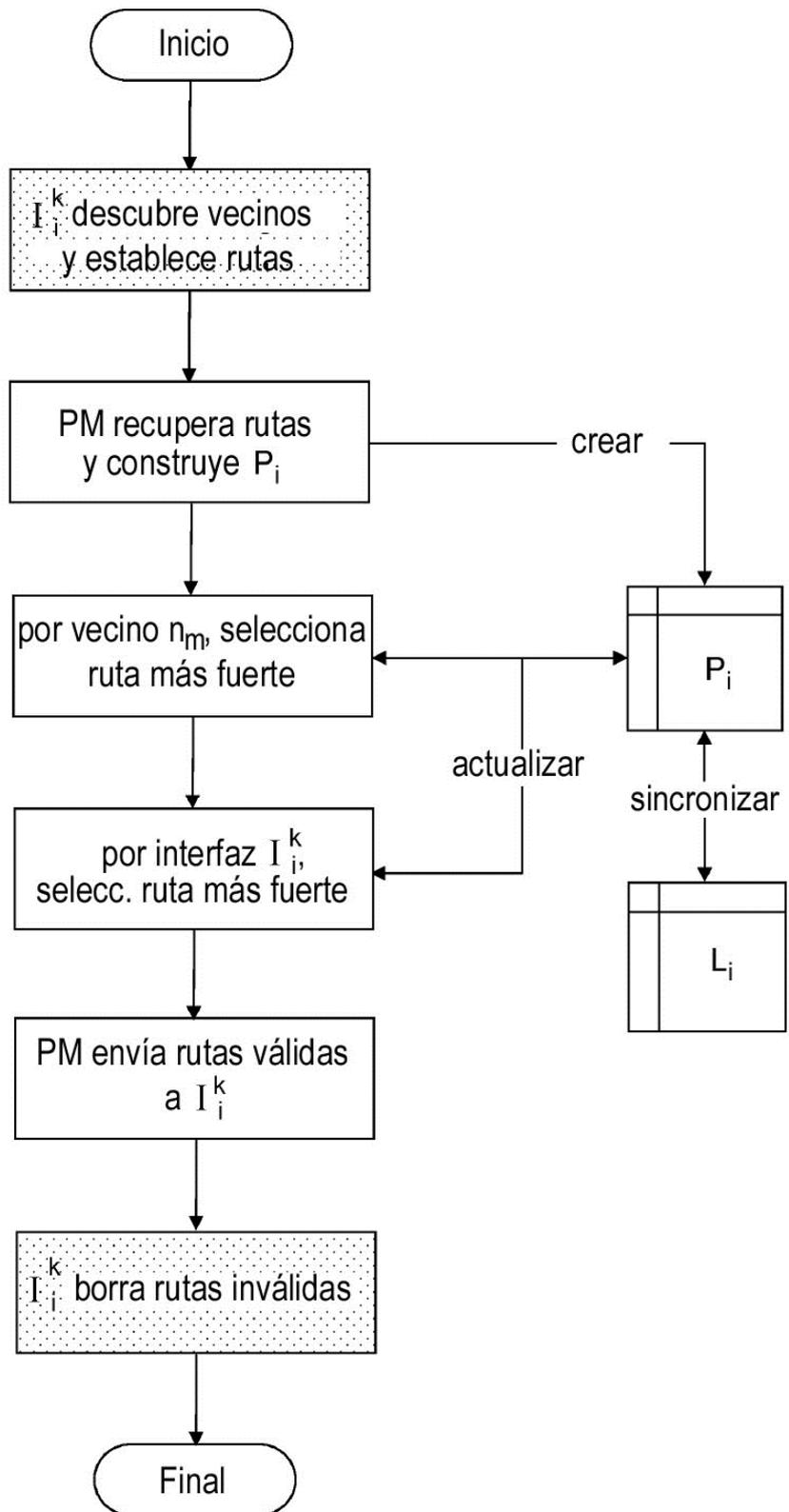


FIG.8

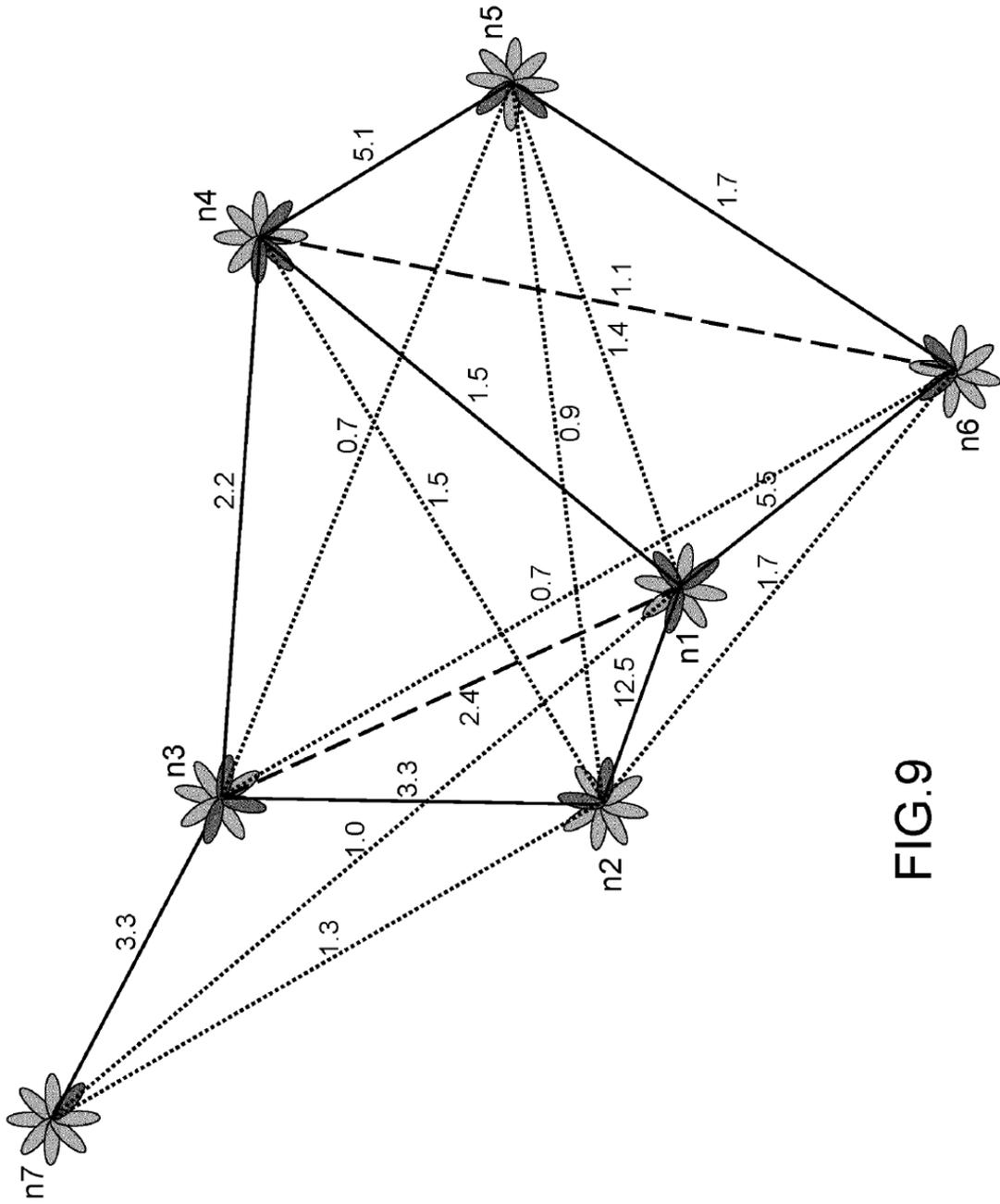


FIG.9

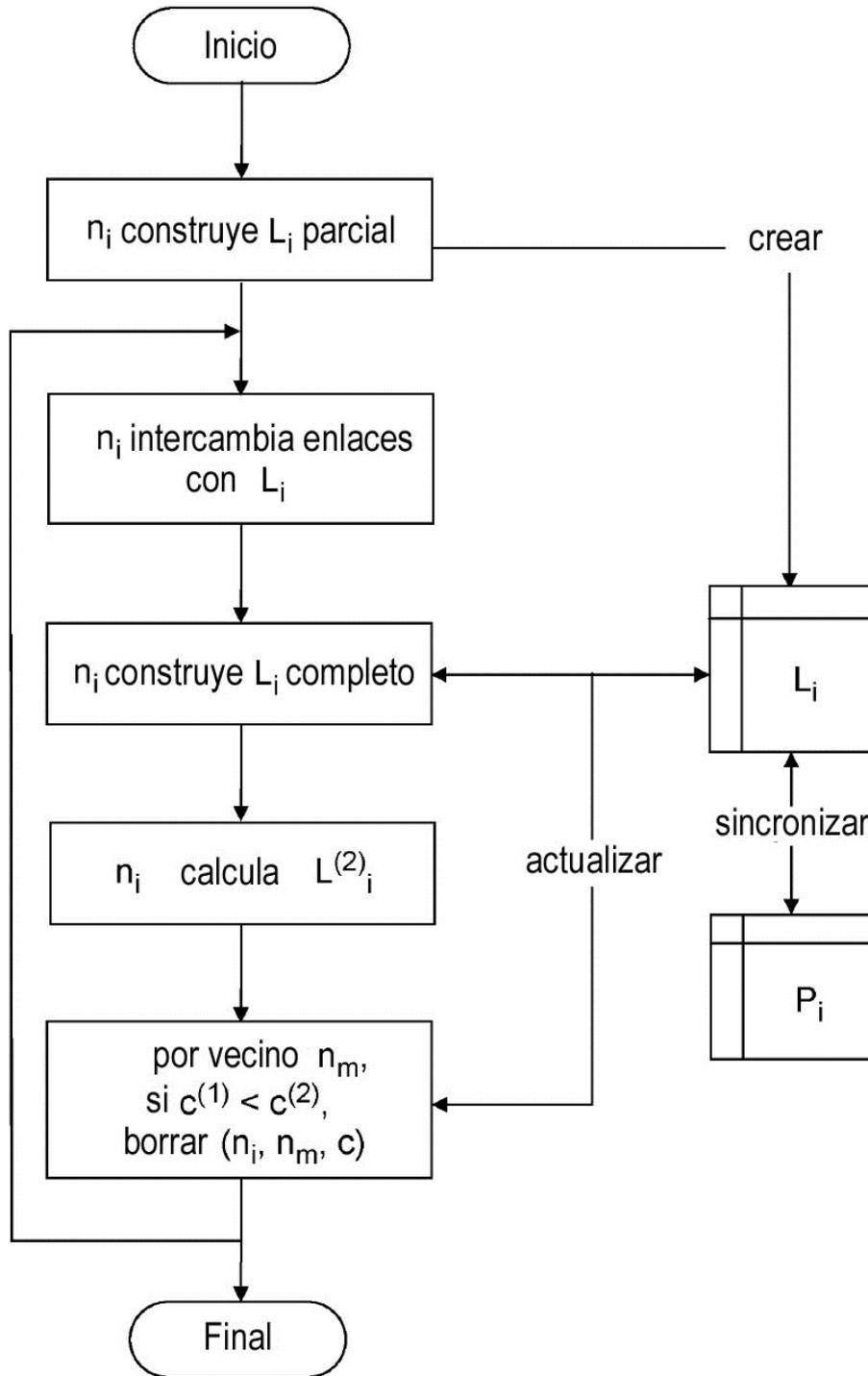


FIG.10

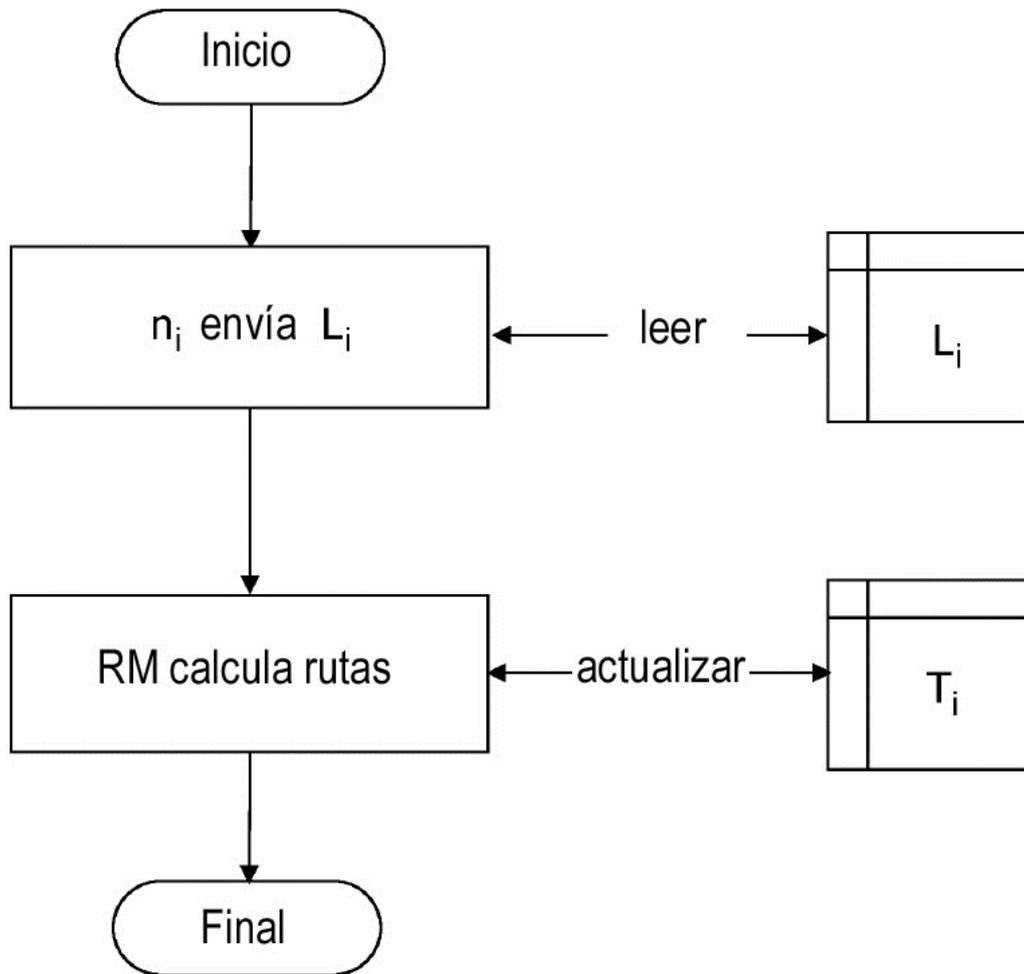


FIG.11