(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 491 669**

(51) Int. Cl.:

H04W 40/24 (2009.01)

H04W 74/08 (2009.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2011** **E 11188905 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.05.2014** **EP 2592871**

(54) Título: **Encaminamiento de comunicaciones en función de la calidad de enlaces**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.09.2014

(73) Titular/es:

ITRON, INC. (100.0%)
2111 N. Molter Road
Liberty Lake, WA 99019, US

(72) Inventor/es:

MAINAUD, BASTIEN y
NGUYEN, VIET HUNG

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 491 669 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

Encaminamiento de comunicaciones en función de la calidad de enlaces

Antecedentes

Las redes de comunicación, tales como redes en malla, se usan para conectar una variedad de dispositivos diferentes. Por ejemplo, se han utilizado redes en malla en los servicios públicos para conectar contadores de servicio público, transmisores celulares, transformadores, y/u otros nodos. Los nodos en la red en malla son típicamente capaces de recibir datos de nodos vecinos y de retransmitir o propagar mensajes a otros nodos vecinos.

En redes cableadas tradicionales, puede usarse una métrica de encaminamiento que encamina mensajes en función del menor número de saltos entre una fuente y un destino. En una red en malla inalámbrica, sin embargo, una velocidad de transmisión de datos entre nodos puede variar sustancialmente de un enlace a otro. Esta variación en la velocidad de transmisión de datos puede ser debida, al menos en parte, al hecho de que las redes en malla contienen a menudo múltiples generaciones diferentes de nodos que tienen diferentes características y capacidades. Por ejemplo, generaciones diferentes de nodos pueden emplear o ser capaces de emplear técnicas de modulación diferentes y/o velocidades de transmisión de datos diferentes. Esto puede ser particularmente verdadero para redes en malla de servicio público en las cuales los nodos son puestos en servicio gradualmente con el tiempo y se espera que permanezcan en activo durante ciclos de vida relativamente largos (por ejemplo, 20 años o más). Generalmente, las generaciones más nuevas de nodos son capaces de modulaciones adicionales y velocidades de transmisión de datos más altas que las generaciones más antiguas de nodos.

Adicionalmente, en el caso de redes multicanal en las cuales múltiples nodos diferentes pueden estar transmitiendo simultáneamente por canales diferentes, algunos nodos de destino pueden perder transmisiones destinadas a ellos debido a que están ocupados transmitiendo o recibiendo por un canal diferente. Tradicionalmente, un nodo que envía un mensaje a un dispositivo de destino que está ocupado comunicándose con otro dispositivo no recibirá ninguna respuesta del dispositivo de destino. En ese caso, el nodo que envía el mensaje no tiene ningún modo de conocer si la transmisión falló debido a una calidad pobre de enlace, debido a una colisión (es decir, múltiples transmisiones por el mismo canal al mismo tiempo), o debido a que el dispositivo de destino estaba simplemente ocupado comunicándose con otro dispositivo por otro canal.

Así, las métricas de encaminamiento existentes no proporcionan un modo efectivo de encaminar transmisiones dentro de una red en malla inalámbrica multicanal heterogénea que incluye múltiples generaciones diferentes de nodos o nodos que tienen de otro modo capacidades diferentes.

Jungmin So et al: "Multi-channel mac for ad hoc networks: handling multi-channel hidden terminals using a single transceiver", MOBIHOC 2004. PROCEEDINGS OF THE 5TH. ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE AD HOC NETWORKING AND COMPUTING, TOKIO, JAPÓN, 24-26 MAYO, 2004; [PROCEEDINGS OF THE ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE AD HOC], ACM, NUEVA YORK, NY, 24 de Mayo de 2004 (2004-05-24), páginas 222-233, XP007905658, ISBN: 978-1-58113-849-8, proponen un protocolo de control de acceso al medio (MAC, del inglés “Medium Access Control”) para redes inalámbricas ad hoc que utiliza múltiples canales dinámicamente para mejorar el rendimiento.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La descripción detallada se expone con referencia a las figuras adjuntas. En las figuras, el (los) dígito(s) más a la izquierda de un número de referencia identifica(n) la figura en la cual aparece primero el número de referencia. El uso de los mismos números de referencia en diferentes figuras indica elementos similares o idénticos.

La figura 1 es un diagrama esquemático de una arquitectura a modo de ejemplo de una red en malla inalámbrica multicanal en la cual las transmisiones pueden ser encaminadas efectivamente entre nodos que tienen múltiples capacidades diferentes.

La figura 2 es un diagrama esquemático que muestra detalles adicionales de un nodo a modo de ejemplo de la arquitectura de la figura 1.

La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método a modo de ejemplo para encaminar transmisiones en una red en malla inalámbrica multicanal de acuerdo con una calidad de enlaces entre nodos de la red.

La figura 4 es un diagrama de flujo de señales de un método a modo de ejemplo para determinar una calidad de enlaces de una red en malla inalámbrica multicanal.

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra el método a modo de ejemplo, que emplea una lista de dispositivos ocupados para encaminar transmisiones en una red en malla inalámbrica multicanal.

La figura 6 es un diagrama esquemático de una estructura de trama a modo de ejemplo de un mensaje de petición de envío (*request-to-send*) que puede usarse para indicar que un nodo desea enviar datos a otro nodo.

La figura 7 es un diagrama esquemático de una estructura de trama a modo de ejemplo de un mensaje de estado libre para envío (*clear-to-send*) que puede usarse para indicar que un nodo está disponible para recibir datos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Resumen

Como se ha discutido anteriormente, las métricas de encaminamiento existentes no proporcionan un modo efectivo para encaminar transmisiones dentro de una red en malla inalámbrica multicanal. Por ejemplo, las métricas de encaminamiento existentes no están bien adaptadas para encaminar comunicaciones en una red en malla inalámbrica heterogénea en la cual los nodos tienen diferentes capacidades de modo que una velocidad de transmisión de datos puede variar de enlace a enlace. Tal como se usa aquí, un “enlace” se refiere a un camino de transmisión directo entre dos nodos de una red (es decir, sin pasar a través de otro nodo), tal como por medio de señales de radiofrecuencia (RF). La velocidad de transmisión de datos a través de un enlace entre dos nodos es al menos parcialmente dependiente de las capacidades de transmisión (por ejemplo, técnicas de modulación y velocidad de transmisión de datos compatibles) de los dos nodos. Por ello, una velocidad de transmisión de datos máxima a través de un enlace está limitada por las capacidades del nodo más lento del enlace.

Esta solicitud describe técnicas para encaminar inteligentemente comunicaciones entre nodos de una red en malla inalámbrica heterogénea. Por ejemplo, esta solicitud describe la determinación de la calidad de enlaces entre nodos de la red, y el encaminamiento de comunicaciones en función al menos en parte de la calidad determinada de los enlaces.

Las métricas de encaminamiento convencionales tampoco tienen en cuenta típicamente el denominado “problema de destino ausente”, en el cual los nodos pueden perder transmisiones destinadas a ellos debido a que están ocupados transmitiendo o recibiendo por un canal diferente. Cuando se emplea una métrica de encaminamiento convencional, uno nodo que no recibe una respuesta de un nodo de destino planeado puede pensar que se ha producido una colisión e incrementar el tamaño de su ventana de contención (es decir, la cantidad media de tiempo que el nodo esperará antes de intentar retransmitir el mensaje). Este tiempo de espera incrementado puede provocar un retardo e ineficiencia innecesarios en la propagación de la transmisión a su destino planeado.

Esta solicitud también describe el mantenimiento de una lista de dispositivos ocupados para cada nodo, la cual incluye información de disponibilidad para uno o más nodos vecinos. Las comunicaciones puede ser encaminadas en función al menos en parte de la información de disponibilidad de nodos vecinos mantenidos en la lista de dispositivos ocupados.

De este modo, en diversas realizaciones descritas en esta solicitud, las transmisiones pueden ser encaminadas en una red de comunicación, tal como una red en malla multicanal, en función de la calidad de enlaces (por ejemplo, en función de una lista de enlaces cualificados), la disponibilidad de nodos vecinos (por ejemplo, en función de una lista de dispositivos ocupados), o ambas cosas.

Las técnicas de encaminamiento son descritas en el contexto de una red en malla de un servicio público que incluye una pluralidad de nodos. Los nodos de una red en malla de un servicio público pueden incluir, por ejemplo, contadores de servicio público inteligentes (por ejemplo, contadores eléctricos, de gas, y/o agua), sensores (por ejemplo, sensores de temperatura, estaciones meteorológicas, sensores de frecuencia, etc.), dispositivos de control, transformadores, encaminadores (*routers*), servidores, transmisores (por ejemplo, transmisores celulares), conmutadores, válvulas, y otros dispositivos de red. Aunque las técnicas de encaminamiento se describen en el contexto de una red en malla de un servicio público, las técnicas de encaminamiento pueden ser aplicables adicional o alternativamente a otras redes y/o a otras aplicaciones. De este modo, en otras implementaciones, los nodos pueden incluir cualquier dispositivo acoplado a una red de comunicación y capaz de enviar y/o recibir datos.

Se describen a continuación múltiples y variadas implementaciones y realizaciones, empezando con resúmenes de “Encaminamiento en función de la calidad de enlaces” y “Encaminamiento en función de la disponibilidad de nodos”. Estos resúmenes son seguidos por descripciones de una “Arquitectura a modo de ejemplo” y un “Nodo a modo de ejemplo” utilizables para implementar las técnicas de encaminamiento aquí descritas. Luego, la solicitud describe detalles adicionales de un “Proceso a modo de ejemplo de encaminamiento en función de la calidad de enlaces” y un “Proceso a modo de ejemplo de encaminamiento en función de la disponibilidad de nodos”. Después de la discusión detallada de los procesos de encaminamiento a modo de ejemplo, la solicitud incluye una descripción de

varias “Unidades de datos de protocolo (PDU, del inglés “Protocol Data Unit”) a modo de ejemplo” que pueden usarse para implementar métodos de encaminamiento tales como los descritos aquí. Finalmente, la solicitud concluye con una breve “Conclusión”. Este Resumen y las siguientes secciones, incluyendo los encabezamientos de sección, son meramente implementaciones y realizaciones ilustrativas y no debe considerarse que limitan el alcance de las reivindicaciones.

Resumen de encaminamiento en función de la calidad de enlaces

En una implementación a modo de ejemplo, esta solicitud describe la determinación de la calidad de enlaces entre nodos de una red de comunicación, tal como una red multicanal de servicio público, y el encaminamiento de comunicaciones en función al menos en parte de la calidad determinada de los enlaces. En este ejemplo, un nodo determina una calidad de enlaces entre el nodo y múltiples nodos vecinos. Para cada uno de los múltiples nodos vecinos, el nodo compara la calidad determinada de enlace entre el nodo y el respectivo nodo vecino con una calidad umbral predeterminada. Si la calidad de enlace cumple con la calidad umbral predeterminada, el nodo puede cualificar el enlace y añadir el enlace a una lista de enlaces cualificados que cumplen con la calidad umbral de enlace. El nodo puede encaminar entonces comunicaciones a nodos vecinos con los cuales el nodo tiene un enlace cualificado.

El nodo puede determinar una calidad de enlaces entre el nodo y uno o más de sus nodos vecinos. En un ejemplo, si un nodo tiene un número relativamente pequeño de nodos vecinos (por ejemplo, menos de 10), el nodo puede determinar la calidad de los enlaces entre él y todos sus nodos vecinos. Alternativamente, si el nodo tiene muchos nodos vecinos, el nodo puede determinar una calidad de enlace entre él mismo y un subconjunto de sus nodos vecinos. En un ejemplo, el nodo puede continuar determinando la calidad de enlaces con sus nodos vecinos hasta que determina un número predeterminado de enlaces (por ejemplo, 5, 10, 20, etc.) que cumplen con la calidad umbral de enlace, asegurando con ello un número suficiente de buenos caminos de comunicación para el nodo.

El nodo puede determinar la calidad de un enlace con un nodo vecino intercambiando una serie de comunicaciones con el nodo vecino sobre el enlace. Por ejemplo, en una implementación el nodo puede enviar un mensaje de petición de envío (RTS, del inglés “Request-To-Send”) al nodo vecino. El mensaje de petición de envío puede designar una secuencia de canales de comunicación a probar. Por ejemplo, la secuencia de canales de comunicación a probar puede ser designada por un número de canal inicial a probar, un intervalo de paso entre canales a probar, y un número de canales a probar. En respuesta, el nodo puede recibir un mensaje de estado libre para envío (CTS, del inglés “Clear-To-Send”) del nodo vecino indicando que el nodo vecino está disponible para recibir transmisiones. El nodo puede proceder entonces a probar la secuencia de canales de comunicación entre el nodo y el respectivo nodo vecino enviando paquetes de datos de prueba al nodo vecino de acuerdo con la secuencia de canales de comunicación a probar. Al recibir los paquetes de datos de prueba, el nodo vecino puede enviar de vuelta paquetes de datos de prueba de acuerdo con la misma secuencia de canales de comunicación. Cada uno de los paquetes de datos de prueba puede incluir una indicación de un coste en tiempo de la transmisión a través del enlace.

Al recibir de vuelta los paquetes de datos de prueba desde el nodo vecino, el nodo puede calcular al calidad de enlace entre el nodo y el nodo vecino en función de la prueba de la secuencia de canales de comunicación. El nodo puede enviar también un paquete de confirmación incluyendo un número de paquetes de datos de prueba que el nodo ha recibido desde el nodo vecino. El nodo vecino puede usar el paquete de confirmación para evaluar la calidad de enlace entre el nodo y el respectivo nodo vecino. Si la calidad del enlace cumple con la calidad umbral predeterminada, el nodo puede cualificar el enlace y añadir el enlace a la lista de enlaces cualificados que cumplen con la calidad umbral predeterminada. Un enlace puede ser cualificado para todos o para menos que todos los canales de comunicación. Por ejemplo, un enlace puede ser cualificado para menos que todos los canales con el fin de promover una diversidad de canales para reducir la probabilidad de interferencia y colisiones desde otros nodos vecinos. Igualmente, los nodos pueden ser cualificados para menos que todos los canales si, por ejemplo, se encontró que uno o más canales experimentaron interferencia o tuvieron de otro modo una calidad de transmisión pobre durante el intercambio de datos de prueba. En algunos ejemplos, la lista de enlaces cualificados puede incluir una clasificación de nodos vecinos de acuerdo con la calidad relativa de enlaces entre el nodo y el respectivo nodo vecino. En ese caso, el nodo puede encaminar comunicaciones a sus nodos vecinos en función al menos en parte de la calidad relativa de enlaces (por ejemplo, encaminar comunicaciones a un nodo vecino disponible conectado al nodo por un enlace que tiene la calidad más alta).

Pueden usarse diversas métricas diferentes para calcular la calidad de enlace entre nodos. En un ejemplo específico, la calidad de enlaces puede calcularse en función de un tiempo de transmisión esperado (ETT, del inglés “Expected Transmission Time”) de comunicaciones a través del enlace. El tiempo ETT puede calcularse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$ETT = \frac{S}{B} \times ETX \qquad (1)$$

donde

$$ETX = \frac{1}{1-P}\ ,\ P = 1-(1-Pf)\times(1-Pr)\ ,$$

P es una tasa de pérdidas en un enlace,

Pf es una probabilidad de que un paquete de datos llegue exitosamente hasta el nodo vecino,

Pr es una probabilidad de que una confirmación desde un nodo vecino sea recibida exitosamente,

S es un tamaño de paquete del paquete de datos (por ejemplo, en bits, u otras unidades), y

B es una anchura de banda del enlace entre los dos nodos (por ejemplo, en bits/segundo u otras unidades).

Por ejemplo, considerando 2 nodos x e y, la probabilidad *Pf* para el nodo x será el número de paquetes de datos de prueba recibidos por el nodo y desde el nodo x dividido por el número de paquetes de datos de prueba enviados por el nodo x. La probabilidad *Pr* para el nodo x será el número de paquetes de datos de prueba recibidos por el nodo x desde el nodo y dividido por el número de paquetes de datos de prueba enviados por el nodo y. Las probabilidades *Pf* y *Pr* para el nodo y serán calculadas del mismo modo. La ecuación (1) es sólo una métrica de encaminamiento a modo de ejemplo que puede usarse para medir la calidad de enlaces, y, en otros ejemplos, pueden usarse diversas otras métricas para medir calidad de enlaces.

Si tras recibir el mensaje RTS, el nodo vecino no está o no estará disponible para recibir comunicaciones (por ejemplo, el vecino ya ha programado una comunicación previamente), el nodo vecino puede enviar de vuelta un mensaje de estado no libre para envío (NCTS, del inglés “Not-Clear-To-Send”). Si el nodo vecino está ocupado comunicándose por otro canal, el nodo vecino puede no recibir el mensaje RTS y, por lo tanto, no responderá. Si el nodo recibe un mensaje NCTS o no recibe ninguna respuesta, el nodo puede esperar un periodo de tiempo y volver a probar y/o puede probar con otro nodo vecino.

Resumen de encaminamiento en función de la disponibilidad de nodos

En otra implementación a modo de ejemplo, esta solicitud describe mantener una lista de dispositivos ocupados para cada nodo, que incluye información de disponibilidad para uno o más nodos, y encaminar transmisiones en función de la disponibilidad de los nodos vecinos. En este ejemplo, un nodo recibe cierta información (por ejemplo, datos de consumo de recursos, un informe, un aviso, un mensaje de estado, una actualización de software/firmware, etc.) que debe ser transmitida a un destino. La información puede ser recibida desde un nodo vecino o desde un sistema o componente (por ejemplo, un sensor o módulo metrológico local) del propio nodo. Al recibir la información, el nodo puede consultar una lista de dispositivos ocupados para determinar una disponibilidad de uno o más nodos vecinos. El nodo puede identificar entonces un nodo vecino que, de acuerdo con la lista de dispositivos ocupados, está disponible para recibir transmisiones y es capaz de retransmitir la información hasta el destino. El nodo puede transmitir entonces la información al nodo vecino identificado.

La lista de dispositivos ocupados es mantenida en general en la memoria local del propio nodo (por ejemplo, en una subcapa de control de acceso al medio (MAC) del nodo). Sin embargo, en algunas implementaciones, la lista de dispositivos ocupados puede ser mantenida adicional o alternativamente en otra localización en la red (por ejemplo, un nodo padre, encaminador celular, transmisor, dispositivo de almacenamiento en red, o similares).

La lista de dispositivos ocupados puede ser generada, mantenida, y actualizada en función de información de reserva contenida en mensajes escuchados accesoriamente por el nodo por un canal de control de la red de comunicación multicanal. La información de reserva puede identificar nodos que están (o estarán) ocupados y una duración durante la que estarán ocupados. Esta información de reserva puede ser incluida en una variedad de mensajes incluyendo, por ejemplo, mensajes de petición de envío (RTS) dirigidos a otros nodos de la red de comunicación multicanal, y/o mensajes de estado libre para envío (CTS) dirigidos a otros nodos de la red de comunicación multicanal.

Arquitectura a modo de ejemplo

La figura 1 es un diagrama esquemático de una arquitectura 100 a modo de ejemplo de una red en malla inalámbrica multicanal en la cual las transmisiones pueden ser encaminadas de acuerdo con calidad de enlaces y/o disponibilidad de nodos. La arquitectura 100 incluye una pluralidad de nodos 102A, 102B, 102C, …, 102N (a los que se hace referencia colectivamente como nodos 102) acoplados comunicativamente uno a otro a través de caminos de comunicación directos o "enlaces". En este ejemplo, N representa un número de nodos en un área autónoma de encaminamiento (ARA, del inglés "Autonomous Routing Area"), tal como una red de área extensa (WAN, del inglés "Wide Area Network"), red de área metropolitana (MAN, del inglés "Metropolitan Area Network"), red de área local (LAN, del inglés "Local Area Network"), red de área de vecindad (NAN, del inglés "Neighborhood Area Network"), red de área personal (PAN, del inglés "Personal Area Network"), o similares.

Como se ha discutido anteriormente, el término "enlace" se refiere a un camino de comunicación directo entre dos nodos (sin pasar a través de o ser propagado por otro nodo). Cada enlace puede representar una pluralidad de canales por los cuales un nodo es capaz de transmitir o recibir datos. Cada uno de la pluralidad de canales puede ser definido por un rango de frecuencias que es el mismo o diferente para cada uno de la pluralidad de canales. En algunos casos, la pluralidad de canales comprende canales RF. La pluralidad de canales puede comprender un canal de control y múltiples canales de datos. En algunos casos, el canal de control es utilizado para comunicar uno más mensajes entre nodos para especificar uno de los canales de datos a utilizar para transferir datos. En general, las transmisiones por el canal de control son más cortas en comparación con las transmisiones por los canales de datos.

Cada uno de los nodos 102 puede ser implementado como cualquiera de una variedad de dispositivos de computación convencionales tales como, por ejemplo, contadores de servicio público inteligentes (por ejemplo, contadores eléctricos, de gas, y/o agua), sensores (por ejemplo, sensores de temperatura, estaciones meteorológicas, sensores de frecuencia, etc.), dispositivos de control, transformadores, encaminadores, servidores, transmisores (por ejemplo, transmisores celulares), conmutadores, válvulas, combinaciones de los anteriores, o cualquier dispositivo acoplable a una red de comunicación y capaz de enviar y/o recibir datos.

En este ejemplo, los nodos 102 están configurados también para comunicarse con una oficina central 104 a través de un dispositivo de frontera (por ejemplo, un transmisor celular, encaminador celular, encaminador de frontera, raíz de DODAG (del inglés "Destination Oriented Directed Acyclic Graph", gráfico acíclico dirigido orientado al destino), etc.) que sirve como punto de conexión del área ARA a red(es) de retorno (*backhaul*) 106, tales como Internet. En el ejemplo ilustrado, el nodo 102A sirve como un transmisor celular para retransmitir comunicaciones desde los otros nodos 102B-102N de la red ARA hacia y desde la oficina central 104 a través de la(s) red(es) 106.

El nodo 102C es representativo de cada uno de los nodos 102 e incluye un dispositivo de radio 108 y una unidad de procesamiento 110. El dispositivo de radio 108 comprende un transceptor de radiofrecuencia (RF) configurado para transmitir y/o recibir señales RF a través de uno o más de una pluralidad de canales/frecuencias. En algunas implementaciones, cada uno de los nodos 102 incluye un dispositivo de radio único 108 configurado para enviar y recibir datos por múltiples canales diferentes, tales como el canal de control y múltiples canales de datos de cada enlace de comunicación. El dispositivo de radio 108 puede estar configurado también para implementar una pluralidad de diferentes técnicas de modulación, velocidades de transmisión de datos, protocolos, intensidades de señal, y/o niveles de potencia. La arquitectura 100 puede representar una red heterogénea de nodos, en que los nodos 102 pueden incluir diferentes tipos de nodos (por ejemplo, contadores inteligentes, transmisores celulares, sensores, etc.), diferentes generaciones o modelos de nodos, y/o nodos que de otro modo son capaces de transmitir por diferentes canales y usar diferentes técnicas de modulación, velocidades de transmisión de datos, protocolos, intensidades de señal, y/o niveles de potencia.

La unidad de procesamiento 110 puede incluir uno o más procesador(es) 112 acoplado(s) comunicativamente a la memoria 114. La memoria 114 puede estar configurada para almacenar uno o más módulos de software y/o firmware, que son ejecutables en el (los) procesador(es) 112 para implementar diversas funciones. Aunque los módulos se han descrito aquí como siendo software y/o firmware ejecutable en un procesador, en otras realizaciones, cualquiera de o todos los módulos pueden ser implementados en su totalidad o en parte mediante hardware (por ejemplo, tal como un circuito integrado para aplicaciones específicas (ASIC, del inglés "Application Specific Integrated Circuit"), una unidad de procesamiento especializada, etc.) para ejecutar las funciones descritas.

En la realización de la figura 1, la memoria 114 incluye un módulo de encaminamiento 116, un módulo de cualificación 118, y un módulo de lista de dispositivos ocupados 120. El módulo de encaminamiento 116 está configurado para encaminar transmisiones entre nodos 102 de la red ARA en función de una calidad de enlaces entre los nodos 102 determinada por el módulo de cualificación 118, la disponibilidad de los nodos 102 determinada por el módulo de lista de dispositivos ocupados 120, y/o uno o más factores adicionales. Detalles adicionales de cómo el módulo de encaminamiento 116 puede encaminar comunicaciones en función de éstos y otros factores son proporcionados posteriormente en la discusión de las figuras 2-5.

El módulo de cualificación 118 está configurado para determinar la calidad de enlaces entre los nodos 102. En el ejemplo ilustrado, el módulo de cualificación 118 del nodo 102C ha determinado que los enlaces entre el nodo 102C y sus nodos vecinos 102A y 102N cumplen con un nivel umbral de calidad y son designados por lo tanto como "enlaces cualificados". Mientras tanto, el módulo de cualificación 118 o bien no ha determinado todavía una calidad del enlace entre el nodo 102C y su nodo vecino 102B, o bien el módulo de cualificación 118 ha determinado que el enlace entre el nodo 102C y su nodo vecino 102B no cumple con el nivel umbral de calidad (por ejemplo, el enlace experimenta interferencia, tiene una señal débil o atenuada, o es de otro modo inadecuado para transmisión). Por lo tanto, el enlace entre el nodo 102C y su nodo vecino 102B es designado como enlace no cualificado en la figura 1.

El módulo de lista de dispositivos ocupados 120 está configurado para determinar la disponibilidad de nodos 102 y para mantener el listado de los nodos que están (o estarán) ocupados y una duración durante la cual estarán ocupados. En el ejemplo ilustrado, el módulo de lista de dispositivos ocupados 120 indicaría que el nodo 102B está ocupado transmitiendo datos al nodo 102A y por lo tanto no está disponible para recibir transmisiones desde el nodo 102C.

La memoria 114 puede comprender medios legibles por ordenador y puede tomar la forma de memoria volátil, tal como memoria de acceso aleatorio (RAM, del inglés "Random Access Memory") y/o memoria no volátil, tal como memoria de sólo lectura (ROM, del inglés "Read Only Memory") o memoria RAM flash. Los medios legibles por ordenador incluyen medios volátiles y no volátiles, medios extraíbles y no extraíbles implementados con cualquier método o tecnología para almacenamiento de información tal como instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa, u otros datos para ejecución por uno o más procesadores de un dispositivo de computación. Ejemplos de medios legibles por ordenador incluyen, pero no están limitados a, memoria de cambio de fase (PRAM, del inglés "Phase change RAM"), memoria de acceso aleatorio estática (SRAM, del inglés "Static RAM"), memoria de acceso aleatorio dinámica (DRAM, del inglés "Dynamic RAM"), otros tipos de memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de sólo lectura (ROM), memoria de sólo lectura borrable y programable eléctricamente (EEPROM, del inglés "Electrically Erasable Programmable ROM"), memoria flash u otro tipo de tecnología de memoria, memoria de sólo lectura de disco compacto (CD-ROM, del inglés "Compact Disc ROM"), discos versátiles digitales (DVD, del inglés "Digital Versatile Disks") u otro almacenamiento óptico, casetes magnéticos, cinta magnética, almacenamiento de disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio sin transmisión que pueda ser usado para almacenar información para acceso por un dispositivo de computación. Tal como se definen aquí, los medios legibles por ordenador no incluyen medios de comunicación, tales como señales de datos moduladas y ondas portadoras.

La(s) red(es) 106, entretanto, representan una red de retorno, que puede comprender en sí misma una red inalámbrica o una red cableada, o una combinación de ellas. La(s) red(es) 106 pueden ser una colección de redes individuales interconectadas entre sí y que funcionan como una única gran red (por ejemplo, Internet o una intranet). Además, las redes individuales pueden ser redes inalámbricas o cableadas, o una combinación de ellas.

La oficina central 104 puede ser implementada mediante uno o más dispositivos de computación, tales como servidores, ordenadores personales, ordenadores portátiles, etc. El o los dispositivos de computación pueden estar equipados con uno o más procesador(es) acoplado(s) comunicativamente a memoria. En algunos ejemplos, la oficina central 104 incluye un sistema de gestión de datos de contadores centralizado que realiza procesamiento, análisis, almacenamiento y/o gestión de datos recibidos desde uno o más de los nodos 102. Por ejemplo, la oficina central 104 puede procesar, analizar, almacenar y/o gestionar datos obtenidos desde un contador inteligente de servicio público, sensor, dispositivo de control, encaminador, regulador, servidor, transmisor, conmutador, válvula y/u otros nodos. Aunque el ejemplo de la figura 1 ilustra la oficina central 104 en una única localización, en algunos ejemplos la oficina central puede estar distribuida entre múltiples localizaciones y/o puede ser eliminada completamente (por ejemplo, en el caso de una plataforma de computación distribuida altamente descentralizada).

Nodo a modo de ejemplo

La figura 2 es un diagrama esquemático que muestra detalles adicionales del nodo a modo de ejemplo 102C de la figura 1. En este ejemplo, el dispositivo de radio 108 incluye una antena 200 acoplada a un dispositivo frontal RF 202 y a un procesador de banda base 204. El dispositivo frontal RF 202 puede proporcionar funciones de transmisión y/o recepción. El dispositivo frontal RF 202 puede incluir componentes de alta frecuencia analógicos y/o de hardware que proporcionan funcionalidades, tales como sintonizar y/o atenuar señales proporcionadas por la antena y obtenidas desde uno o más de los nodos 102. El dispositivo frontal RF 202 puede proporcionar una señal al procesador de banda base 204.

En un ejemplo, todo o parte del procesador de banda base 204 puede estar configurado como un dispositivo de radio definido por software (SW). En un ejemplo, el procesador de banda base 204 proporciona una funcionalidad de selección de frecuencia y/o canal al dispositivo de radio 108. Por ejemplo, el dispositivo de radio definido por SW puede incluir mezcladores, filtros, amplificadores, moduladores y/o demoduladores, detectores, etc., implementados

en software ejecutado por un procesador o un circuito integrado para aplicaciones específicas (ASIC) u otro(s) dispositivo(s) de computación empotrados. El dispositivo de radio definido por SW puede utilizar procesador(es) 112 y software definido o almacenado en la memoria 114. Alternativamente, el dispositivo de radio 108 puede estar implementado al menos en parte usando componentes analógicos.

La unidad de procesamiento 110 puede incluir también un reloj 206 configurado para mantener un tiempo. El reloj 206 puede estar configurado también para proporcionar uno o más temporizadores de cuenta adelante o de cuenta atrás. Tales temporizadores pueden usarse en saltos de frecuencia entre múltiples canales de comunicación.

Un módulo de saltos de frecuencia 208 puede estar configurado para comunicarse con el procesador de banda base 204 y el reloj 206. En un ejemplo, el módulo de saltos de frecuencia 208 está configurado para obtener información de tiempo y/o ajustar temporizadores de salto de frecuencia en el reloj 206. Tal información de tiempo y/o tales temporizadores indicarán al módulo de saltos de frecuencia 208 cuando tiene que “saltar” o sintonizar un canal o frecuencia diferente. Adicionalmente, el módulo de saltos de frecuencia 208 puede estar configurado para dirigir el dispositivo de radio definido por SW u otro componente del dispositivo de radio 108 a realizar los cambios de frecuencia reales. De acuerdo con ello, el módulo de saltos de frecuencia 208 es capaz de realizar desplazamientos repetidos entre frecuencias acordadas, en instantes acordados y comunicarse con otro(s) nodo(s) durante periodos de tiempo acordados y en protocolos acordados.

En algunas implementaciones (por ejemplo, cuando el nodo es un contador de servicio público), la memoria 114 puede incluir también un módulo metrológico 210 configurado para recoger datos de consumo de uno o más recursos (por ejemplo, electricidad, agua, gas natural, etc.) que pueden ser transmitidos entonces a uno o más de otros nodos 102 para la eventual retransmisión a la oficina central 104 o a otro destino.

Como se ha discutido anteriormente, la memoria 114 también incluye el módulo de cualificación 118 y el módulo de lista de dispositivos ocupados 120. El módulo de cualificación 118 determina la calidad de enlaces entre nodos y almacena información relativa a la calidad de los enlaces en una lista de enlaces cualificados 212 u otro repositorio de información de calidad de enlaces. Igualmente, el módulo de lista de dispositivos ocupados 120 determina la disponibilidad de los nodos 102 y mantiene el listado de los nodos que están (o estarán) ocupados y una duración durante la que estarán ocupados en una lista de dispositivos ocupados 214 u otro repositorio de datos de disponibilidad de nodos. Aunque la lista de enlaces cualificados 212 y la lista de dispositivos ocupados 214 son mostradas como listas de datos almacenadas en la memoria local del nodo 102C, en otras realizaciones la información de calidad de enlaces y de disponibilidad de nodos puede ser almacenada en una lista única o sin forma de lista. Además, en algunas realizaciones, la información de calidad de enlaces y de disponibilidad de nodos puede ser mantenida adicional o alternativamente en una o más de otras localizaciones en la red (por ejemplo, un nodo padre, encaminador celular, transmisor, dispositivo de almacenamiento en red, o similar).

Como se ha discutido anteriormente, la lista de enlaces cualificados 212 y la lista de dispositivos ocupados 214 pueden ser mantenidas como listas separadas o como una lista compuesta. En el ejemplo ilustrado, la lista de enlaces cualificados 212 y la lista de dispositivos ocupados 214 son almacenadas como una lista compuesta 216 en la memoria 114. Como se ha ilustrado en esta figura, la lista de enlaces cualificados 212 y la lista de dispositivos ocupados 214 en este ejemplo incluyen algo de información solapada.

Las partes de la lista compuesta 216 que corresponden en general a la lista de enlaces cualificados 212 están limitadas por la región discontinua de rayas, y en este ejemplo incluyen una lista de nodos vecinos (bajo el encabezamiento “Vecinos”) con los cuales el nodo tiene un enlace de comunicación, una indicación sobre si el enlace con cada nodo vecino está cualificado (bajo el encabezamiento “Cualificado”), una lista de canales que están cualificados para cada enlace (bajo el encabezamiento “Canales”), y una clasificación de los enlaces por la calidad relativa de los enlaces (bajo el encabezamiento “Puesto”). Sin embargo, en otras realizaciones, la lista de enlaces cualificados 212 puede incluir información adicional o alternativa (por ejemplo, una valoración de calidad relativa de los enlaces, una calidad relativa de canales individuales de cada enlace, una velocidad de transmisión de datos máxima para cada enlace o cada canal de cada enlace, etc.).

Las partes de la lista compuesta 216 que corresponden en general a la lista de dispositivos ocupados 214 están limitadas por la región de puntos, y en este ejemplo incluyen una lista de nodos vecinos (bajo el encabezamiento “Vecinos”) con los cuales el nodo tiene un enlace de comunicación, una lista de canales que están cualificados para cada enlace (bajo el encabezamiento “Canales”), un estado de disponibilidad de cada nodo (bajo el encabezamiento “Disponibilidad”), y una duración correspondiente al estado de disponibilidad (bajo el encabezamiento “Duración”). Tal como se usa aquí, un nodo está “disponible” o “tiene disponibilidad” para recibir una transmisión si está apuntado afirmativamente en la lista de dispositivos ocupados como disponible (por ejemplo, si tiene tiempo planificado/reservado para recibir la comunicación) o si está implícitamente disponible (por ejemplo, nodos que no están apuntados como no disponibles y que por lo tanto se supone que están disponibles). En otras realizaciones, la lista de dispositivos ocupados 214 puede incluir información adicional o alternativa (por ejemplo, el tipo de operación

que está siendo realizada por nodos ocupados, el tamaño de datos que están siendo transmitidos/recibidos por nodos ocupados, etc.).

El módulo de encaminamiento 116 puede encaminar transmisiones en función de la calidad de enlaces como se indica en la lista de enlaces cualificados 212, la disponibilidad de nodos vecinos como se indica en la lista de dispositivos ocupados 214, o en función de ambos criterios usando una lista compuesta 216. Por ejemplo, de acuerdo con una métrica de encaminamiento ilustrativa, los nodos podrían intentar encaminar transmisiones a un nodo disponible que tiene el mejor puesto en la clasificación de calidad de enlaces. De este modo, en el ejemplo ilustrado, el nodo 102 podría encaminar transmisiones al nodo N por uno de los canales 1-7, excepto el canal 5 (dado que como se discute posteriormente el canal 5 está actualmente en uso por los nodos A y B), dado que el nodo N está disponible durante una duración indefinida y es el enlace cualificado con la máxima calidad (es decir, tiene el puesto más bajo) disponible (suponiendo que el nodo N sea capaz por otro lado de retransmitir una transmisión hasta su destino final). En este ejemplo, el nodo A no está inmediatamente disponible para recibir transmisiones dado que está ocupado transmitiendo datos al nodo B por el canal 5, de modo que el nodo C no encaminará la transmisión al nodo A a pesar del hecho de que el nodo A tiene un enlace de mayor calidad (es decir, tiene un puesto más bajo). Además, el nodo C no encaminará transmisiones al nodo N por el canal 5 con el fin de evitar transmisiones perturbadoras entre los nodos A y B por el canal 5.

De acuerdo con una métrica de encaminamiento alternativa, el módulo de encaminamiento 116 puede dar un peso más fuerte a la calidad de enlaces que a la disponibilidad. En ese caso, haciendo referencia nuevamente a la realización ilustrada, en vez de transmitir datos al nodo N que está disponible inmediatamente, el nodo C podría escoger esperar a transmitir datos al nodo A cuando el nodo A quede disponible debido a que el nodo A tiene mayor calidad de enlace (es decir, tiene un puesto más bajo). En otra alternativa más, el nodo C puede escoger esperar a encaminar la comunicación al nodo A, pero sólo si el nodo A va a quedar disponible en un periodo relativamente corto de tiempo. En otras palabras, la decisión de hacia donde encaminar la comunicación puede establecer un equilibrio entre calidad de enlaces y duración hasta disponibilidad.

Método a modo de ejemplo de encaminamiento en función de la calidad de enlaces

La figura 3 ilustra un método 300 a modo de ejemplo para determinar la calidad de enlaces entre nodos de una red en malla y encaminar comunicaciones en función al menos en parte de la calidad de enlaces. El método 300 está descrito con referencia a la arquitectura 100 a modo de ejemplo de la figura 1 por conveniencia. Sin embargo, el método 300 no está limitado al uso con la arquitectura 100 a modo de ejemplo de la figura 1 y puede ser implementado usando otras arquitecturas y dispositivos.

El método 300 empieza en el bloque 3023, con un nodo, tal como el nodo 102C, que determina una calidad de un enlace con un nodo vecino, tal como el nodo 102N. La determinación de la calidad de enlace puede ser realizada por un módulo de cualificación, tal como el módulo de cualificación 118 del nodo 102C. Detalles adicionales del proceso de cualificación de enlaces serán descritos posteriormente con referencia a la figura 4.

Una vez que el nodo 102C ha determinado una calidad del enlace con el nodo vecino 102N, en el bloque 304, el módulo de cualificación 118 del nodo 102C compara la calidad de enlace determinada con una calidad umbral de enlace. Si la calidad de enlace determinada cumple con (es decir, es mayor o igual que) la calidad umbral de enlace, el nodo 102C, en 306, cualificará el enlace entre el nodo 102C y el nodo vecino 102N y añadirá el enlace a la lista de enlaces cualificados 212.

En el bloque 308, el nodo 102C determina si existe un número predeterminado de enlaces cualificados. El número predeterminado de enlaces cualificados puede ser igual al número de enlaces que el nodo tiene con sus vecinos inmediatos, o el número predeterminado de enlaces cualificados puede ser menor que el número total de enlaces que el nodo tiene con sus vecinos inmediatos. Por ejemplo, el número predeterminado de enlaces cualificados puede comprender un número (por ejemplo, 3, 5, 10, etc.) suficiente para asegurar un buen camino de comunicación para el nodo incluso durante momentos de tráfico pesado en la red. Si, en el bloque 308, el nodo 102C determina que “No” existe el número predeterminado de enlaces cualificados, el nodo 102C puede repetir las operaciones de los bloques 302-306 hasta que se alcance el número predeterminado de enlaces cualificados. Si, por otro lado, el nodo 102C determina, en el bloque 308, que “Sí” existe el número predeterminado de enlaces cualificados, el nodo 102C puede proceder en algunas realizaciones a, en el bloque 310, clasificar los nodos vecinos de acuerdo con la calidad relativa de los enlaces entre el nodo 102C y los nodos vecinos 102A, 102B, y 102N. Sin embargo, en otras realizaciones, puede omitirse la operación de clasificación 310.

En el bloque 312, el módulo de encaminamiento 116 del nodo 102C puede empezar a encaminar comunicaciones hacia sus nodos vecinos con los que tiene un enlace cualificado. De este modo, en el ejemplo ilustrado, el nodo 102C puede empezar a encaminar comunicaciones hacia los nodos 102A y 102N, pero no hacia el nodo 102B, dado que el nodo 102C tiene enlaces cualificados con los nodos 102A y 102N, pero no con el nodo 102B. Adicionalmente a o en vez de encaminar comunicaciones en función simplemente de la existencia de un enlace cualificado, si el

nodo 102C ha clasificado los nodos vecinos en función de la calidad de enlace en el bloque 310, el nodo 102C puede encaminar comunicaciones en función de los puestos de clasificación de calidad de enlace (por ejemplo, dando preferencia a enviar comunicaciones a través de enlaces de mayor calidad).

La figura 4 es un diagrama de flujo de señales que ilustra detalles adicionales de un método 400 a modo de ejemplo para cualificar enlaces en función de la calidad de enlace. El método 400 se describe con referencia a los nodos 102C y 102N de la arquitectura 100 a modo de ejemplo de la figura 1 por conveniencia. Sin embargo, el método 400 no está limitado al uso con la arquitectura 100 a modo de ejemplo de la figura 1 y puede ser implementado usando otras arquitecturas y dispositivos.

En la figura 4, un nodo, tal como el nodo 102C, puede determinar la calidad de un enlace con un nodo vecino, tal como el nodo 102N, intercambiando una serie de comunicaciones con el nodo vecino a través del enlace. Por ejemplo, en la operación 402, el nodo 102C puede enviar un mensaje de petición de envío (RTS) al nodo vecino 102N. El mensaje de petición de envío puede designar una secuencia de canales de comunicación a probar. Por ejemplo, la secuencia de canales de comunicación a probar puede ser definida por un número de canal inicial a probar X, un intervalo de paso Y entre canales a probar, y un número M de canales a probar. La secuencia de canales puede expresarse matemáticamente de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$(X+Y(k-1)),\ k = 1, 2, \ldots M \qquad (2)$$

En esta ecuación, k es un número del canal en la secuencia (por ejemplo, el primer canal probado).

Subsiguientemente, el nodo 102C puede, en la operación 404, recibir un mensaje de estado libre para envío (CTS) desde el nodo vecino 102N indicando que el nodo vecino está disponible pare recibir transmisiones. El nodo 102C puede proceder entonces, en la operación 406, a probar la secuencia de canales de comunicación entre el nodo 102C y el respectivo nodo vecino 102N, enviando los paquetes de datos de prueba al nodo vecino de acuerdo con la secuencia de canales de comunicación a probar. Al recibir los paquetes de datos de prueba, el nodo vecino 102N puede, en la operación 408, enviar de vuelta paquetes de datos de prueba de acuerdo con la misma secuencia de canales de comunicación. Cada uno de los paquetes de datos de prueba devueltos en la operación 408 puede incluir una indicación de un coste en tiempo de transmisión a través del enlace, así como el número de paquetes de datos de prueba que el nodo 102N ha recibido desde el nodo 102C.

Al recibir de vuelta los paquetes de datos de prueba desde el nodo vecino, en la operación 410, el nodo 102C puede calcular la calidad de enlace entre el nodo 102C y el nodo vecino 102N en función de la prueba de la secuencia de canales de comunicación. Por ejemplo, el nodo 102C puede calcular la calidad de enlace de acuerdo con la ecuación (1) anterior. Alternativamente, pueden usarse diversas otras métricas para calcular la calidad de enlace. Si la calidad de enlace cumple con la calidad umbral predeterminada, el nodo 102C puede cualificar el enlace y añadir el enlace a su lista de enlaces cualificados que cumplen con la calidad umbral de enlace como se ha discutido anteriormente con referencia a la figura 3.

En la operación 412, el nodo 102C puede enviar también un paquete de confirmación que incluye un número de paquetes de datos de prueba que el nodo 102C ha recibido del nodo vecino 102N. En la operación 414, el nodo vecino 102N puede enviar un paquete de acuse de recibo al nodo 102C, indicando la recepción exitosa del paquete de confirmación enviado por 102C. En la operación 416, el nodo vecino 102N puede usar el paquete de confirmación para evaluar la calidad de enlace entre el nodo 102C y el nodo vecino 102N (por ejemplo usando la métrica de calidad de enlace de la ecuación 1 anterior). Si la calidad de enlace cumple con la calidad umbral predeterminada, el nodo vecino 102N puede cualificar el enlace y añadir el enlace a su lista de enlaces cualificados que cumplen con la calidad umbral de enlace como se ha discutido anteriormente con referencia a la figura 3. El método 400 puede realizarse tantas veces como sea necesario para cualificar un número predeterminado de enlaces para cada nodo.

Método a modo de ejemplo de encaminamiento en función de la disponibilidad de nodos

La figura 5 ilustra un método 500 a modo de ejemplo para cualificar enlaces entre nodos de una red en malla. El método 500 es descrito con referencia a la arquitectura 100 a modo de ejemplo de la figura 1 por conveniencia. Sin embargo, el método 500 no está limitado al uso con la arquitectura 100 a modo de ejemplo de la figura 1 y puede implementarse usando otras arquitecturas y dispositivos.

De acuerdo con el método 500, en el bloque 502, un nodo, tal como el nodo 102C, mantiene y actualiza una lista de dispositivos ocupados, que incluye información de disponibilidad (es decir, ocupado, disponible, no disponible, etc.) de nodos vecinos, tales como los nodos 102A, 102B y 102N. La lista de dispositivos ocupados puede implementarse en la subcapa MAC y puede almacenarse en una memoria del nodo 102C, por ejemplo.

En particular, el nodo 102C puede mantener/actualizar la lista de dispositivos ocupados atendiendo, en el bloque 504, a un canal de control (es decir, sintonizando el dispositivo de radio 108 al canal de control para recibir cualquier comunicación transmitida por el canal de control). En el bloque 506, el nodo 102C puede escuchar accesoriamente uno o más mensajes, tales como mensajes RTS o mensajes CTS, transmitidos por otros nodos en la red. Los mensajes escuchados accesoriamente pueden contener información de reserva incluyendo información de disponibilidad (por ejemplo, que nodos particulares pretenden transmitir o recibir datos por uno o más canales de datos especificados) e información de duración (por ejemplo, un tamaño de datos a transmitir, un tiempo de transmisión, y/o un tiempo de inicio para la transmisión). En el bloque 508, el nodo 102C puede actualizar su lista de dispositivos ocupados para incluir la disponibilidad y la duración de disponibilidad de los otros nodos en función de los mensajes escuchados accesoriamente.

En el bloque 510, el nodo 102C puede recibir información (por ejemplo, información retransmitida desde un nodo vecino, información de consumo desde el módulo metrológico 210 propio del nodo, etc.) a transmitir a un destino. En el bloque 512, el nodo 102C consulta la lista de dispositivos ocupados y, en el bloque 514, identifica uno o más nodos vecinos que, de acuerdo con la lista de dispositivos ocupados, tanto están disponibles como son capaces de retransmitir la información hacia el destino. Si más de un nodo vecino cumple este criterio, el nodo 102C puede seleccionar a qué nodo vecino enviar la información en función de uno o más de otros criterios (por ejemplo, calidad de enlace, tráfico de red, selección aleatoria, etc.).

Tras identificar a qué nodo vecino hay que enviar la información, en el bloque 516, el nodo 102C transmite la información al nodo vecino identificado. En particular, en un proceso de transmisión a modo de ejemplo, en el bloque 518, el nodo 102C puede enviar un mensaje RTS al nodo vecino identificado por el canal de control. El mensaje RTS puede incluir, por ejemplo, un tamaño de la información a transmitir, un canal de datos por el que el nodo 102C prefiere enviar la información, un instante en el que comenzará la transmisión, y/o cualquier otra información útil para negociar la transmisión. Si el nodo vecino ha recibido el mensaje RTS y está disponible, en el bloque 520, el nodo 102C recibirá un mensaje CTS desde el nodo vecino. El mensaje CTS puede incluir una indicación de que el nodo vecino identificado está disponible, la confirmación del canal de datos especificado en el mensaje RTS o la designación de un canal de datos alternativo para la transmisión, una duración anticipada de la transmisión (en función del tamaño de los datos y de la velocidad de transmisión de datos máxima a través del enlace), y/o cualquier otra información útil para negociar la transmisión. Finalmente, en la operación 522, el nodo 102C envía la información al nodo vecino identificado por el canal de datos confirmado o el canal de datos alternativo.

Los métodos 300, 400, y 500 se ilustran como colecciones de bloques y/o flechas en diagramas lógicos de flujo que representan una secuencia de operaciones que pueden implementarse en hardware, software, firmware, o en una combinación de ellos. No se pretende que el orden en el que los bloques están descritos sea considerado como una limitación, y cualquier número de las operaciones descritas pueden ser combinadas en cualquier orden para implementar el método, o métodos alternativos. Adicionalmente, pueden omitirse operaciones individuales del método sin apartarse del espíritu y alcance de la materia aquí descrita. En el contexto de software, los bloques representan instrucciones de ordenador que, cuando son ejecutadas por uno o más procesadores, realizan las operaciones expuestas. En el contexto de hardware, los bloques pueden representar uno o más circuitos (por ejemplo, circuitos integrados para aplicaciones específicas – ASIC) configurados para ejecutar las operaciones expuestas.

Unidades de datos de protocolo (PDU) a modo de ejemplo

Las figuras 6 y 7 ilustran varias unidades de datos de protocolo (PDU) a modo de ejemplo que pueden ser transferidas a través de un canal de control y/o un canal de datos. El término PDU se usa aquí para referirse en general a cualquier comunicación, mensaje o transmisión dentro de una red de comunicación, tal como la mostrada en la figura 1. El término PDU está basado, al menos en concepto, en el Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, del inglés “Open Systems Interconnection”) y puede comprender, por ejemplo, un bit, una trama, un paquete, un segmento, etc. En algunos casos, una o más capas del modelo OSI pueden ser utilizadas para transferir una o más unidades PDU entre nodos. Por ejemplo, la capa de enlace de datos del modelo OSI puede ser utilizada para transferir unidades PDU entre dos o más de los nodos 102 en la arquitectura 100. En implementaciones particulares, la subcapa de control de acceso al medio (MAC) de la capa de enlace de datos puede ser utilizada para transferir unidades PDU entre dos o más de los nodos 102. Además, en algunas implementaciones, puede utilizarse un método de acceso para transferir unidades PDU, tal como el método de acceso múltiple por detección de portadora con evitación de colisiones (CSMA/CA, del inglés “Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance).

La figura 6 ilustra una trama de petición de envío (RTS) 600 a modo de ejemplo que puede ser usada para indicar que un nodo desea enviar datos a otro nodo, mientras que la figura 7 ilustra una trama de estado libre para envío (CTS) 700 a modo de ejemplo que puede ser usada para indicar que un nodo está disponible para recibir datos. En algunos ejemplo, al recibir un mensaje RTS, un nodo puede responder (si está disponible) enviando un mensaje CTS. En este ejemplo, las estructuras de trama RTS y CTS están definidas en parte por el estándar IEEE 802.15.4(e). Sin embargo, en otros ejemplos pueden ser usadas otras estructuras PDU para los mensajes RTS, los

mensajes CTS, u otras comunicaciones que transportan información de reserva asociada a la red de comunicación multicanal.

Como se ha discutido anteriormente, la trama RTS 600 y la trama CTS 700 (a las que se hace referencia colectivamente como tramas de datos 600 y 700) contienen información que es utilizable para cualificar enlaces entre nodos de una red de comunicación multicanal y para encaminar comunicaciones entre nodos de la red de comunicación multicanal. Las tramas 600 y 700 son descritas con referencia a la red a modo de ejemplo de la arquitectura 100 de la figura 1 y los métodos 300, 400 y 500 a modo de ejemplo por conveniencia. Sin embargo, las tramas 600 y 700 a modo de ejemplo no están limitadas al uso con la arquitectura 100 a modo de ejemplo o con los métodos 300, 400 y 500, y pueden ser implementadas usando otras arquitecturas y dispositivos y/o para realizar otros métodos.

Con referencia a la figura 6, la trama RTS a modo de ejemplo puede ser usada para informar a nodos vecinos de que un nodo desea enviar datos y no estará disponible para otra transmisión, y para negociar un canal de datos particular y uno o más parámetros físicos (PHY, del inglés “PHYsical”) (por ejemplo, velocidad de transmisión de datos y/o técnica de modulación) con un nodo receptor buscado. Como se muestra en la figura 6, la trama RTS incluye los siguientes campos: control de trama (FC, del inglés “Frame Control”), número de secuencia, identificador de red de área personal (PAN) de destino, dirección de destino, identificador PAN de origen, dirección de origen, encabezamiento de seguridad auxiliar, carga útil, y secuencia de verificación de trama (FCS, del inglés “Frame Check Sequence”). Los detalles de los campos precedentes de la trama RTS distintos a la carga útil son bien conocidos para aquellas personas con experiencia en la técnica y no serán descritos en detalle aquí. La carga útil de la trama RTS, sin embargo, está adaptada para implementar las técnicas de encaminamiento anteriormente descritas, así como otras funcionalidades. La carga útil puede ser de tamaño variable y puede incluir, por ejemplo, uno o más de los siguientes campos:

- Tipo: este campo indica un tipo de la trama, por ejemplo, RTS, CTS, no libre para envío (NCTS), etc. En el ejemplo de la figura 6, este campo indica que la trama es una trama RTS.

- HW (hardware): este campo indica un tipo de hardware de un nodo que envía la trama RTS. El tipo puede incluir, por ejemplo, una versión o generación del dispositivo, y/o cualquier otra información utilizable para determinar capacidades del nodo (por ejemplo, si funciona por batería, las técnicas de modulación y/o las velocidades de transmisión de datos que están soportadas por el nodo).

- Puesto: este campo indica un puesto de clasificación (si es conocido) de protocolo de encaminamiento para redes de baja potencia y con pérdidas (RPL, del inglés “Routing Protocol for Low power and Lossy networks”) del nodo que está enviando la trama RTS. El puesto de clasificación representa el coste del camino desde el vecino al encaminador celular y puede ser calculado usando, por ejemplo, la métrica de la ecuación (1) para calcular el tiempo ETT. Cuanto más alto sea el puesto de clasificación, tanto más lejos está el nodo respecto al encaminador celular. Este campo puede ser utilizado por un nodo receptor para detección de consistencia de encaminamiento en la subcapa MAC.

- DODAG_ID: este campo es un identificador (ID) de gráfico acíclico dirigido orientado al destino (DODAG), que identifica una raíz DODAG (por ejemplo, un encaminador de frontera de red, encaminador celular, transmisor, etc.) a través de la cual el nodo que envía el mensaje RTS está conectado a una red de retorno, tal como Internet, para comunicación con una oficina central u otro dispositivo de computación de red. En el contexto de la arquitectura 100 de la figura 1, el nodo A es un ejemplo de una raíz DODAG de la arquitectura 100 que está en comunicación con la red 106, que es un ejemplo de una red de retorno. El identificador DODAG_ID permite a un nodo que recibe la trama RTS aceptar o rechazar la trama RTS verificando las condiciones de consistencia de encaminamiento en la subcapa MAC.

- Duración: este campo indica un tiempo esperado total para intercambiar trama(s) de datos especificada(s) en el mensaje RTS. La duración puede incluir un tiempo para transmitir las tramas de datos especificadas, tiempos de espera tales como espaciado inter-tramas (IFS, del inglés “Inter-Frame Spacing”; por ejemplo, SIFS, GIFS, etc.) entre tramas, y respuestas de acuse de recibo (ACK, del inglés “ACKnowledgment”) o de no acuse de recibo (NACK, del inglés “Non-ACKnowledgment”). El campo de duración puede ser utilizado para determinar un tiempo durante el que un nodo estará ocupado comunicándose con otro nodo y por lo tanto no estará disponible para recibir. El campo de duración puede ser utilizado para llenar la columna “Duración” de una lista de dispositivos ocupados, tal como la lista de dispositivos ocupados 214 mostrada en la figura 2.

- Ch. On: este campo incluye una etiqueta que indica si el mensaje RTS incluye una lista de canales.

- Lista de Canales: este campo incluye una lista de canales incluyendo una lista de canales que están disponibles para el nodo que envía la trama RTS. Un nodo que recibe la trama RTS puede seleccionar un canal entre los canales disponibles y especificar este canal escogido dentro de una trama CTS. En algunos ejemplos, la

lista de canales puede incluir menos que todos los canales que están disponibles para un nodo. Por ejemplo, si se emplea una modulación de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS, del inglés “Direct-Sequence Spread Spectrum”), la lista de canales puede estar limitada a 13 canales en la banda ISM (del inglés “Industrial, Scientific and Medical”, industrial, científica y médica) de 915 MHz. La lista de canales puede comprender, por ejemplo, una lista de canales cualificados entre el nodo que ha enviado el mensaje RTS y el nodo que ha recibido el mensaje RTS. La lista de canales cualificados puede ser mantenida en una memoria del nodo que ha enviado el mensaje RTS y/o del nodo que ha recibido el mensaje RTS, tal como en la lista de enlaces cualificados 212 mantenida en la memoria 114 del nodo 102C descrita con referencia a la figura 2.

- Parámetros de velocidad de transmisión de datos (DR, del inglés “Data Rate”): este campo indica una velocidad de transmisión de datos máxima soportada y/o propuesta por un nodo que envía la trama RTS. Un nodo que recibe la trama RTS puede utilizar este campo para determinar una velocidad de transmisión de datos de la que sean capaces tanto el nodo emisor como el nodo receptor. La velocidad de transmisión de datos determinada puede ser enviada al nodo emisor usando una trama CTS. La velocidad de transmisión de datos determinada será establecida en como mucho la velocidad de transmisión de datos máxima del más lento de los dos nodos. De este modo, si el mensaje RTS propone una velocidad de transmisión de datos más alta de la que es capaz el nodo receptor, el nodo receptor establecerá una velocidad de transmisión de datos más baja (como mucho la velocidad de transmisión de datos máxima del nodo receptor) al enviar la trama CTS.

- Data_ID (identificador de datos, del inglés “Data ID”): este campo incluye un identificador ID de un paquete de datos. Este identificador ID puede estar presente dentro de la trama RTS. Este campo puede ser utilizado si, por ejemplo, el paquete de datos ha sido recibido por un nodo particular pero no ha sido recibido un acuse de recibo en un nodo que ha enviado el paquete de datos. En este caso, el nodo que ha enviado el paquete de datos con identificador Data_ID puede suponer que el paquete de datos no ha sido recibido y puede reenviar una trama RTS para el mismo identificador Data_ID. En algunos casos, cuando el nodo particular mantiene el seguimiento de un número de últimos identificadores Data_ID recibidos, el nodo particular puede responder con una trama ACK en vez de una trama CTS, evitando de este modo una retransmisión de la trama de datos.

- F_ID (identificador de trama, del inglés “Frame ID”): este campo incluye un identificador ID de trama MAC de la trama RTS. El destino pretendido de la trama RTS copiará este identificador F_ID en la trama CTS que responde a esta trama RTS. Cuando el nodo que envía la trama RTS recibe una trama CTS, puede usar el identificador F_ID en la trama CTS para determinar si la trama CTS es la esperada (es decir, si ha sido enviada en respuesta a la trama RTS que el nodo ha enviado previamente).

- NP (número de paquetes, del inglés “Number of packets”): este campo indica un número de paquetes a intercambiar con un nodo que recibe la trama RTS. Este campo indica al nodo receptor cuántos paquetes hay que escuchar por un canal de datos especificado antes de conmutar de vuelta a escuchar por el canal de control. Este campo puede ser también útil para determinar la disponibilidad de canales particulares.

- Pre_Ch (canal preferido, del inglés “Preferred Channel): este campo indica un canal que un nodo prefiere utilizar para intercambiar tramas de datos, tal como las tramas de datos de prueba mostradas en la figura 4. Nodos que no están implicados en este intercambio, pero que escuchan accesoriamente el mensaje RTS, pueden actualizar su lista de dispositivos ocupados (por ejemplo como se describe con referencia a la figura 3) en función de este campo. Por defecto, el receptor de la trama RTS puede seleccionar este canal para intercambio de datos, si es posible. Sin embargo, si este canal está ocupado o no es un canal cualificado del enlace, el nodo receptor puede designar un canal diferente en el mensaje CTS.

- DIR (dirección): este campo indica si el tráfico viene de una raíz o debe ser enviado a la raíz. El tráfico enviado de una raíz hacia una hoja se dice que es “corriente abajo”, mientras que todas las comunicaciones enviadas hacia la raíz se dice que son “corriente arriba”. El campo puede ser establecido en 1 para tráfico corriente arriba y en 0 para tráfico corriente abajo, por ejemplo.

La figura 7, entretanto, ilustra un mensaje CTS 700 a modo de ejemplo en la forma de una trama que puede ser comunicada para indicar que un nodo está disponible para recibir datos. La trama CTS 700 puede incluir, por ejemplo, parámetros PHY y un canal de datos seleccionado por el primer nodo. En algunos casos, la trama CTS es utilizada para informar a nodos vecinos que el nodo que envía el mensaje RTS y el nodo que recibe el mensaje CTS no estarán disponibles y que el canal de datos seleccionado estará ocupado durante un periodo de tiempo especificado. En el ejemplo de la figura 7, la trama CTS incluye los siguientes campos: FC, número de secuencia, identificador PAN de destino, dirección de destino, identificador PAN de origen, dirección de origen, encabezamiento de seguridad auxiliar, carga útil y FCS. Detalles de los campos precedentes de la trama CTS distintos a la carga útil son bien conocidos para aquellas personas con experiencia en la técnica y no serán descritos en detalle aquí. La carga útil de la trama CTS, sin embargo, está adaptada para implementar las técnicas de encaminamiento anteriormente descritas, así como otras funcionalidades. La carga útil de la trama CTS puede ser variable en tamaño y puede incluir, por ejemplo, uno o más de los siguientes campos:

- Tipo: este campo puede indicar información similar a la descrita anteriormente con referencia a la figura 6. En el ejemplo de la figura 7, este campo indica que la trama es una trama CTS.

- HW: este campo incluye parámetros de hardware (por ejemplo, tipo del dispositivo, versión o generación del dispositivo, etc.) de un nodo que ha recibido la trama RTS (es decir, el nodo que enviará la trama CTS).

- Puesto: este campo es análogo al campo correspondiente de la trama RTS, pero aplicado a la trama CTS. Este campo puede ser utilizado en la clasificación de enlaces de acuerdo con su calidad relativa en, por ejemplo, la lista de enlaces cualificados 212 mostrada en la figura 2.

- DODAG_ID: este campo es análogo al campo correspondiente de la trama RTS, pero aplicado a la trama CTS. Específicamente, este campo es un identificador DODAG que proporciona una elección para un nodo que recibe la trama CTS para aceptar o rechazar mediante verificación de las condiciones de consistencia de encaminamiento en una subcapa MAC.

- Duración: este campo es análogo al campo correspondiente de la trama RTS, pero aplicado a la trama CTS, y puede ser utilizado en la determinación de disponibilidad y duración de disponibilidad, tal como para mantener la lista de dispositivos ocupados 214 de la figura 2.

- Canal: este campo indica un canal de datos seleccionado por el nodo que ha recibido la trama RTS.

- DR: este campo indica una velocidad de transmisión de datos seleccionada por el nodo que ha recibido la trama RTS. La velocidad de transmisión de datos puede ser la misma (si el nodo receptor tiene capacidad para la velocidad de transmisión de datos) o diferente a la velocidad de transmisión de datos especificada en la trama RTS (si el nodo receptor no tiene capacidad para la velocidad de transmisión de datos especificada en la trama RTS). Esta velocidad de transmisión de datos puede ser implementada para transferir datos por un canal de datos, tales como los paquetes de datos de prueba descritos con referencia a la figura 4.

- F_ID: este campo incluye un identificador ID de trama MAC de la trama CTS, que puede ser idéntico al valor F_ID de la trama RTS.

Como se ha discutido anteriormente, las tramas RTS y CTS 600 y 700 son meramente ejemplos de algunas unidades PDU que pueden ser utilizadas para implementar las técnicas de encaminamiento aquí descritas. En otras realizaciones pueden emplearse diversas otras unidades PDU para implementar las técnicas de encaminamiento descritas.

Conclusión

Aunque la solicitud describe realizaciones que tienen propiedades estructurales y/o acciones metodológicas específicas, debe entenderse que las reivindicaciones no están necesariamente limitadas a las propiedades o acciones específicas descritas. En vez de ello, las propiedades y acciones específicas son meramente ilustrativas de algunas realizaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones de la solicitud.

REIVINDICACIONES

1. Un método que comprende:

bajo el control de un nodo (102) de una red multicanal configurada con instrucciones ejecutables por ordenador:

enviar, por parte del nodo (102), un mensaje de petición de envío (RTS) a un nodo vecino (102), en que el mensaje de petición de envío designa una secuencia de canales a probar;

recibir, en el nodo (102), un mensaje de estado libre para envío (CTS) desde el nodo vecino (102), que indica que el nodo vecino (102) está disponible para recibir transmisiones;

enviar, por parte del nodo (102), paquetes de datos de prueba al nodo vecino (102) de acuerdo con la secuencia de canales a probar, en que los paquetes de datos de prueba son enviados por diferentes canales;

recibir, en el nodo (102), paquetes de datos de prueba desde el nodo vecino (102) de acuerdo con la secuencia de canales a probar;

calcular una calidad de enlace de un enlace entre el nodo (102) y el nodo vecino (102) en función de los paquetes de datos de prueba recibidos desde el nodo vecino.

2. El método según la reivindicación 1, que comprende además:

comparar la calidad de enlace calculada entre el nodo y el nodo vecino con una calidad umbral predeterminada; y

cualificar el enlace entre el nodo y el nodo vecino en respuesta a la determinación de que la calidad de enlace del enlace entre el nodo y el nodo vecino cumple con la calidad umbral predeterminada.

3. El método según la reivindicación 1, en que la secuencia de canales a probar es designada por un número de canal inicial a probar, un intervalo de paso entre canales a probar, y un número de canales a probar.

4. El método según la reivindicación 1, que comprende además enviar, por parte del nodo (102), un paquete de confirmación que incluye un número de paquetes de datos de prueba que el nodo (102) ha recibido desde el nodo vecino (102), en que el paquete de confirmación es utilizable por el nodo vecino (102) para evaluar la calidad de enlace entre el nodo (102) y el nodo vecino (102).

5. El método según la reivindicación 1, en que cada paquete de datos de prueba incluye una indicación de un coste en tiempo de transmisión a través del enlace.

6. El método según la reivindicación 1, en que calcular la calidad de enlace comprende evaluar una calidad de transmisión de múltiples canales entre el nodo (102) y el nodo vecino (102).

7. El método según la reivindicación 1, en que calcular la calidad de enlace comprende calcular un tiempo esperado de transmisión (ETT) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$ETT = \frac{S}{B} \times ETX ,$$

donde

$$ETX = \frac{1}{1 - P} ,$$

$$P = 1 - (1 - Pf) \times (1 - Pr) ,$$

P es una tasa de pérdidas en un enlace,

Pf es una probabilidad de que un paquete de datos llegue exitosamente hasta el nodo vecino (102),

Pr es una probabilidad de que una confirmación desde el nodo vecino (102) sea recibida exitosamente,

S es un tamaño de paquete del paquete de datos respectivo, y

B es una anchura de banda del enlace entre el nodo (102) y el nodo vecino (102).

8. El método según la reivindicación 1, que comprende además:

enviar, por parte del nodo (102), un mensaje RTS a otro nodo vecino (102), en que el mensaje de petición de envío designa una secuencia de canales a probar;

recibir, en el nodo (102), un mensaje CTS desde el otro nodo vecino (102), que indica que el otro nodo vecino (102) está disponible para recibir transmisiones;

enviar, por parte del nodo (102), paquetes de datos de prueba al otro nodo vecino (102) de acuerdo con la secuencia de canales a probar;

recibir, en el nodo (102), paquetes de datos de prueba desde el otro nodo vecino (102) de acuerdo con la secuencia de canales a probar; y

calcular una calidad de enlace entre el nodo (102) y el otro nodo vecino (102) en función de los paquetes de datos de prueba recibidos desde el otro nodo vecino (102).

9. El método según la reivindicación 8, que comprende además repetir las acciones de la reivindicación 8 hasta que el nodo (102) ha identificado un número predeterminado de enlaces que cumplen con un umbral de calidad de enlace predeterminado.

10. El método según la reivindicación 9, que comprende además clasificar nodos vecinos (102) de acuerdo con la calidad de enlace relativa de enlaces entre el nodo (102) y los nodos vecinos (102).

11. El método según la reivindicación 10, que comprende además encaminar comunicaciones desde el nodo (102) a uno o más de los nodos vecinos (102) en función de la clasificación.

12. El método según la reivindicación 1, en el que:

el mensaje RTS comprende además una indicación de que el nodo (102) desea transmitir un paquete y no estará disponible para otras transmisiones durante un periodo de tiempo, y

el mensaje CTS comprende además una indicación de que el nodo vecino (102) no estará disponible para transmisión durante un periodo de tiempo y que un canal de transmisión designado estará ocupado durante el periodo de tiempo.

13. Uno o más medios legibles por ordenador que almacenan instrucciones que, cuando son ejecutadas por uno o más procesadores (112) de un nodo (102), configuran el nodo (102) para realizar el método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

14. Un dispositivo de computación de red de una red de comunicación multicanal que comprende:

uno o más procesadores (112);

una memoria (114) acoplada comunicativamente al o a los procesadores (112);

un módulo de cualificación (118) almacenado en la memoria (114) y ejecutable en el o los procesadores (112) para:

determinar una calidad de enlace de enlaces entre el dispositivo de computación de red y cada uno de entre uno o más otros dispositivos de computación de red, en que la calidad de enlace de los enlaces está determinada en función de paquetes de datos de prueba enviados por diferentes canales;

cualificar uno o más de los enlaces entre el dispositivo de computación de red y los respectivos dispositivos de computación de red en respuesta a la determinación de que la calidad de enlace del o de los enlaces cumple con la calidad umbral predeterminada; y

almacenar una lista de enlaces cualificados en la memoria (114) del dispositivo de computación de red; y

un módulo de encaminamiento (116) almacenado en la memoria (114) y ejecutable en el o los procesadores (112) para encaminar transmisiones a través de uno o más de los enlaces cualificados.

15. El dispositivo de computación de red según la reivindicación 14, que comprende además:

un dispositivo de radio multicanal (108) capaz de enviar y recibir comunicaciones por múltiples canales diferentes;

un módulo de salto de frecuencia (208) configurado para conmutar entre los múltiples canales diferentes de acuerdo con un patrón de salto de frecuencia predefinido de la red de comunicación multicanal; y

un módulo metrológico (210) almacenado en la memoria (114) y ejecutable por el o los procesadores (112) para recoger datos de consumo de recursos, en que los datos de consumo de recursos comprenden datos de consumo eléctrico, datos de consumo de agua, y/o datos de consumo de gas natural.

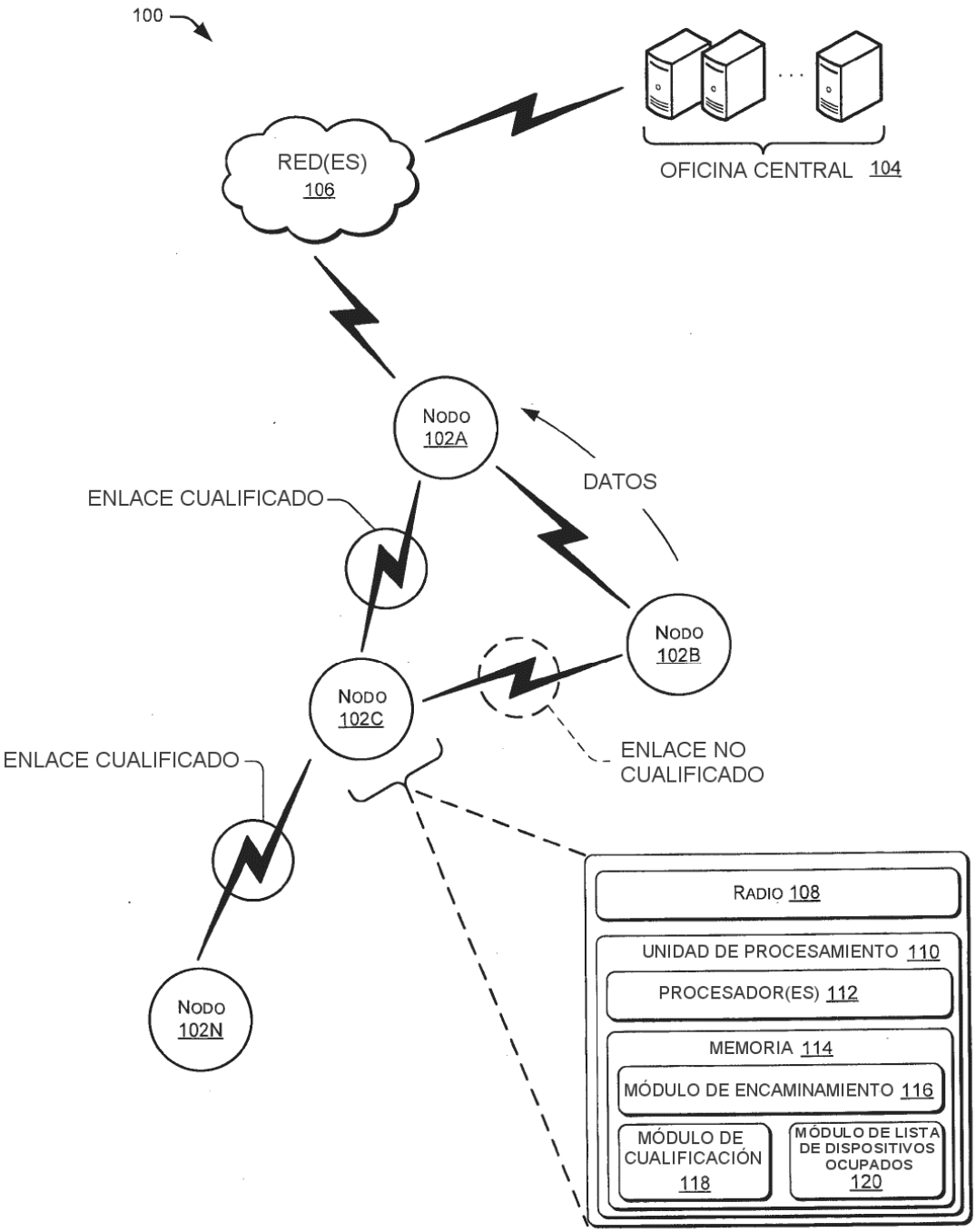
100
RED(ES)
106
OFICINA CENTRAL 104
NODO
102A
DATOS
ENLACE CUALIFICADO
NODO
102B
NODO
102C
ENLACE NO
CUALIFICADO
ENLACE CUALIFICADO
NODO
102N
RADIO 108
UNIDAD DE PROCESAMIENTO 110
PROCESADOR(ES) 112
MEMORIA 114
MÓDULO DE ENCAMINAMIENTO 116
MÓDULO DE
CUALIFICACIÓN
118
MÓDULO DE LISTA
DE DISPOSITIVOS
OCUPADOS
120

FIG. 1

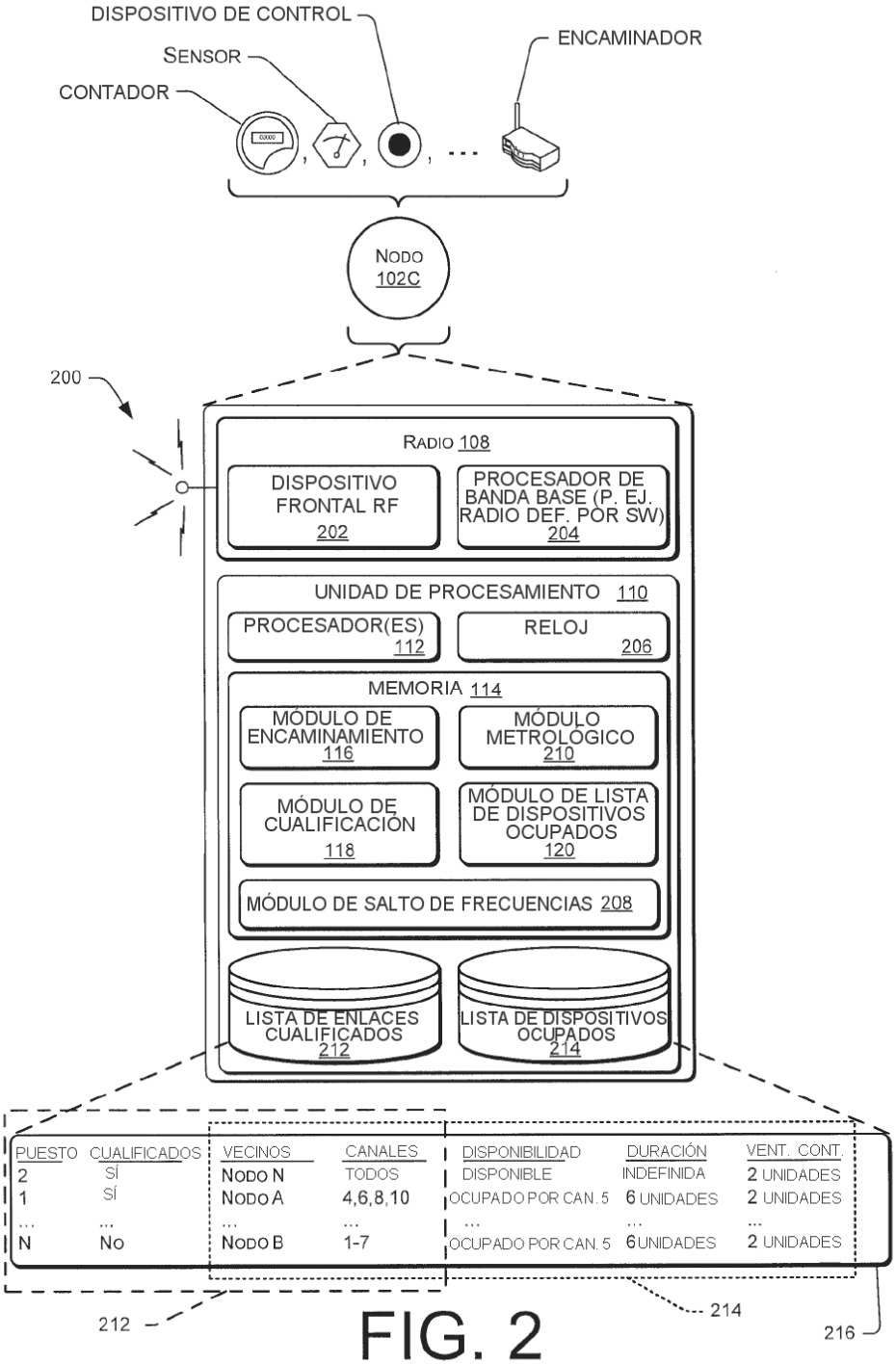
DISPOSITIVO DE CONTROL
SENSOR
CONTADOR
ENCAMINADOR
NODO 102C
200
RADIO 108
DISPOSITIVO FRONTAL RF 202
PROCESADOR DE BANDA BASE (P. EJ. RADIO DEF. POR SW) 204
UNIDAD DE PROCESAMIENTO 110
PROCESADOR(ES) 112
RELOJ 206
MEMORIA 114
MÓDULO DE ENCAMINAMIENTO 116
MÓDULO METROLÓGICO 210
MÓDULO DE CUALIFICACIÓN 118
MÓDULO DE LISTA DE DISPOSITIVOS OCUPADOS 120
MÓDULO DE SALTO DE FRECUENCIAS 208
LISTA DE ENLACES CUALIFICADOS 212
LISTA DE DISPOSITIVOS OCUPADOS 214
PUESTO CUALIFICADOS VECINOS CANALES DISPONIBILIDAD DURACIÓN VENT. CONT.
2 SÍ NODO N TODOS DISPONIBLE INDEFINIDA 2 UNIDADES
1 SÍ NODO A 4,6,8,10 OCUPADO POR CAN. 5 6 UNIDADES 2 UNIDADES
... ...
N No NODO B 1-7 OCUPADO POR CAN. 5 6 UNIDADES 2 UNIDADES
212
214
216

FIG. 2

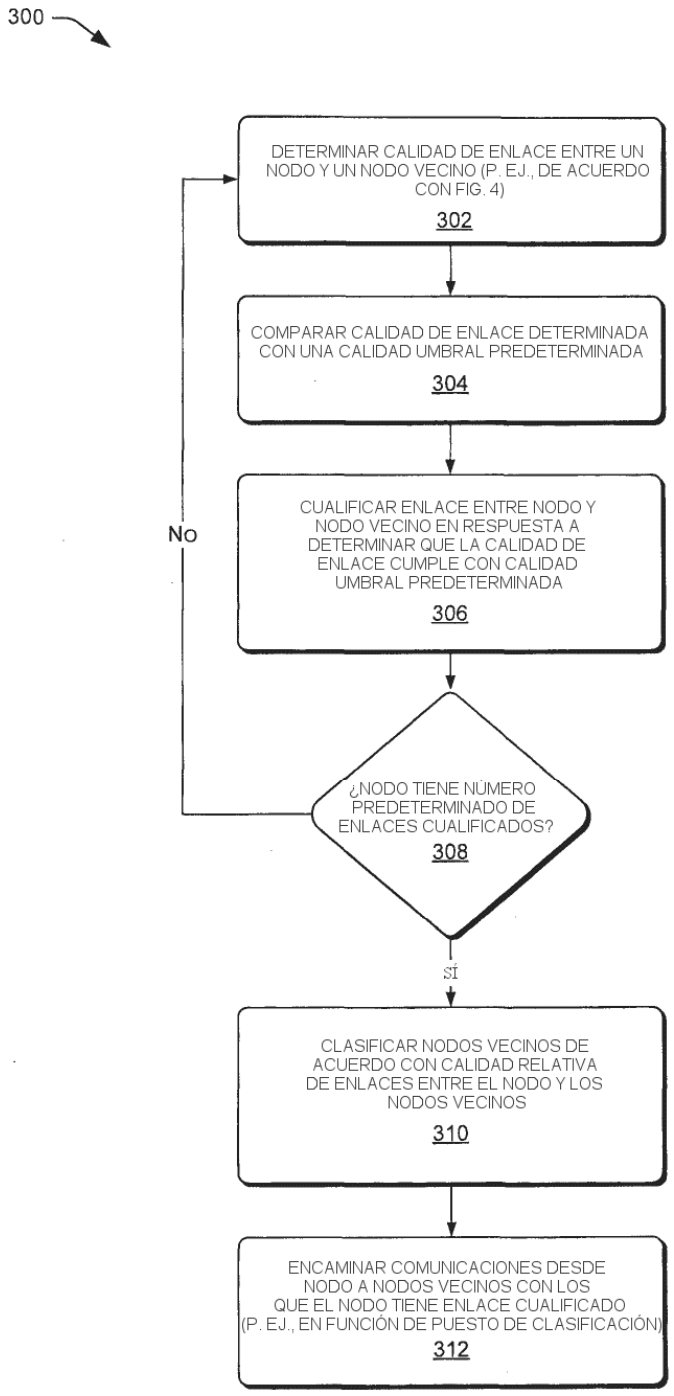
300
DETERMINAR CALIDAD DE ENLACE ENTRE UN NODO Y UN NODO VECINO (P. EJ., DE ACUERDO CON FIG. 4)
302
COMPARAR CALIDAD DE ENLACE DETERMINADA CON UNA CALIDAD UMBRAL PREDETERMINADA
304
CUALIFICAR ENLACE ENTRE NODO Y NODO VECINO EN RESPUESTA A DETERMINAR QUE LA CALIDAD DE ENLACE CUMPLE CON CALIDAD UMBRAL PREDETERMINADA
306
¿NODO TIENE NÚMERO PREDETERMINADO DE ENLACES CUALIFICADOS?
308
No
SÍ
CLASIFICAR NODOS VECINOS DE ACUERDO CON CALIDAD RELATIVA DE ENLACES ENTRE EL NODO Y LOS NODOS VECINOS
310
ENCAMINAR COMUNICACIONES DESDE NODO A NODOS VECINOS CON LOS QUE EL NODO TIENE ENLACE CUALIFICADO (P. EJ., EN FUNCIÓN DE PUESTO DE CLASIFICACIÓN)
312

FIG. 3

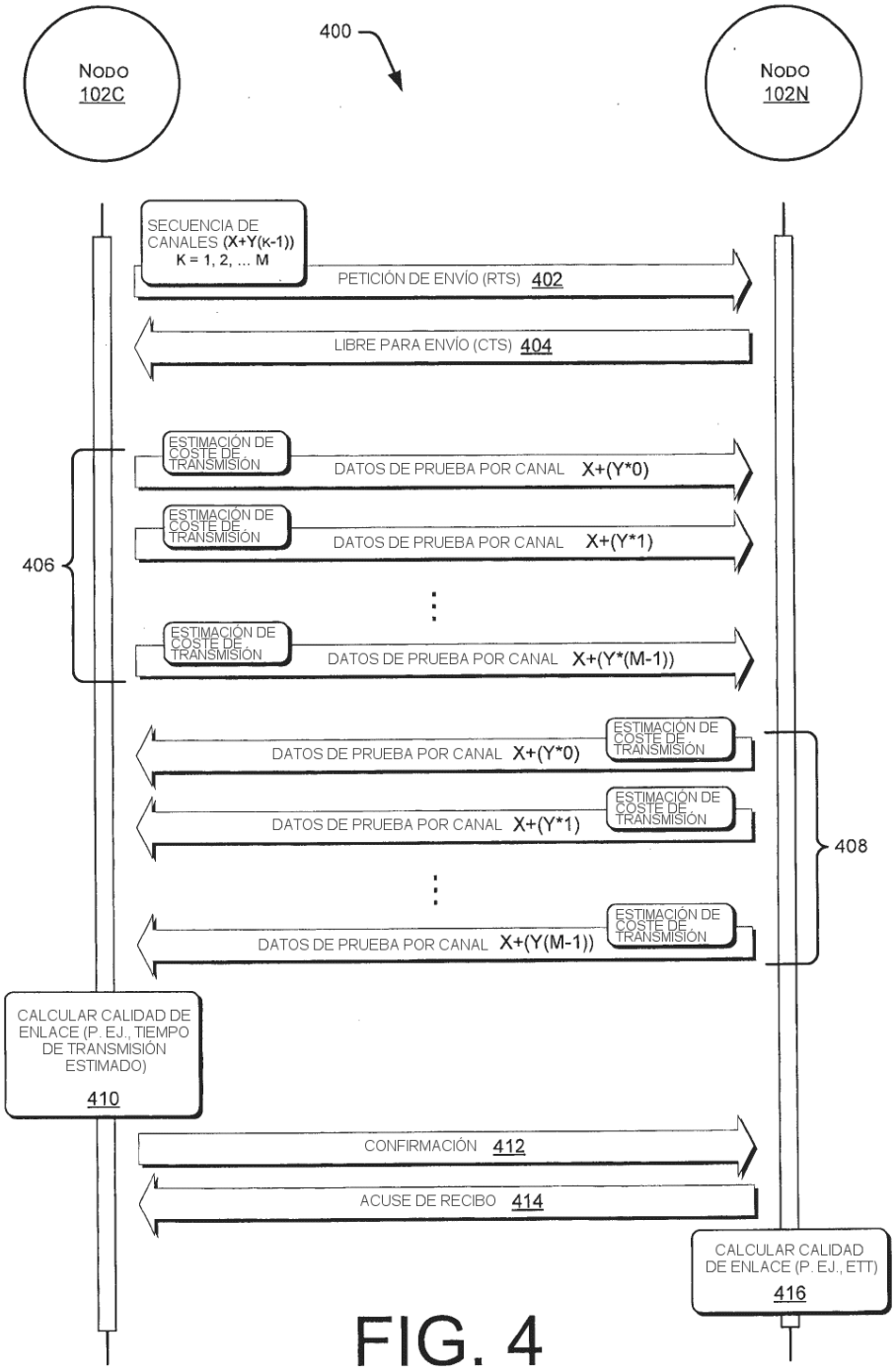
400
NODO 102C
NODO 102N
SECUENCIA DE CANALES (X+Y(K-1)) K = 1, 2, ... M
PETICIÓN DE ENVÍO (RTS) 402
LIBRE PARA ENVÍO (CTS) 404
ESTIMACIÓN DE COSTE DE TRANSMISIÓN
DATOS DE PRUEBA POR CANAL X+(Y*0)
ESTIMACIÓN DE COSTE DE TRANSMISIÓN
DATOS DE PRUEBA POR CANAL X+(Y*1)
406
ESTIMACIÓN DE COSTE DE TRANSMISIÓN
DATOS DE PRUEBA POR CANAL X+(Y*(M-1))
ESTIMACIÓN DE COSTE DE TRANSMISIÓN
DATOS DE PRUEBA POR CANAL X+(Y*0)
ESTIMACIÓN DE COSTE DE TRANSMISIÓN
DATOS DE PRUEBA POR CANAL X+(Y*1)
408
ESTIMACIÓN DE COSTE DE TRANSMISIÓN
DATOS DE PRUEBA POR CANAL X+(Y(M-1))
CALCULAR CALIDAD DE ENLACE (P. EJ., TIEMPO DE TRANSMISIÓN ESTIMADO) 410
CONFIRMACIÓN 412
ACUSE DE RECIBO 414
CALCULAR CALIDAD DE ENLACE (P. EJ., ETT) 416

FIG. 4

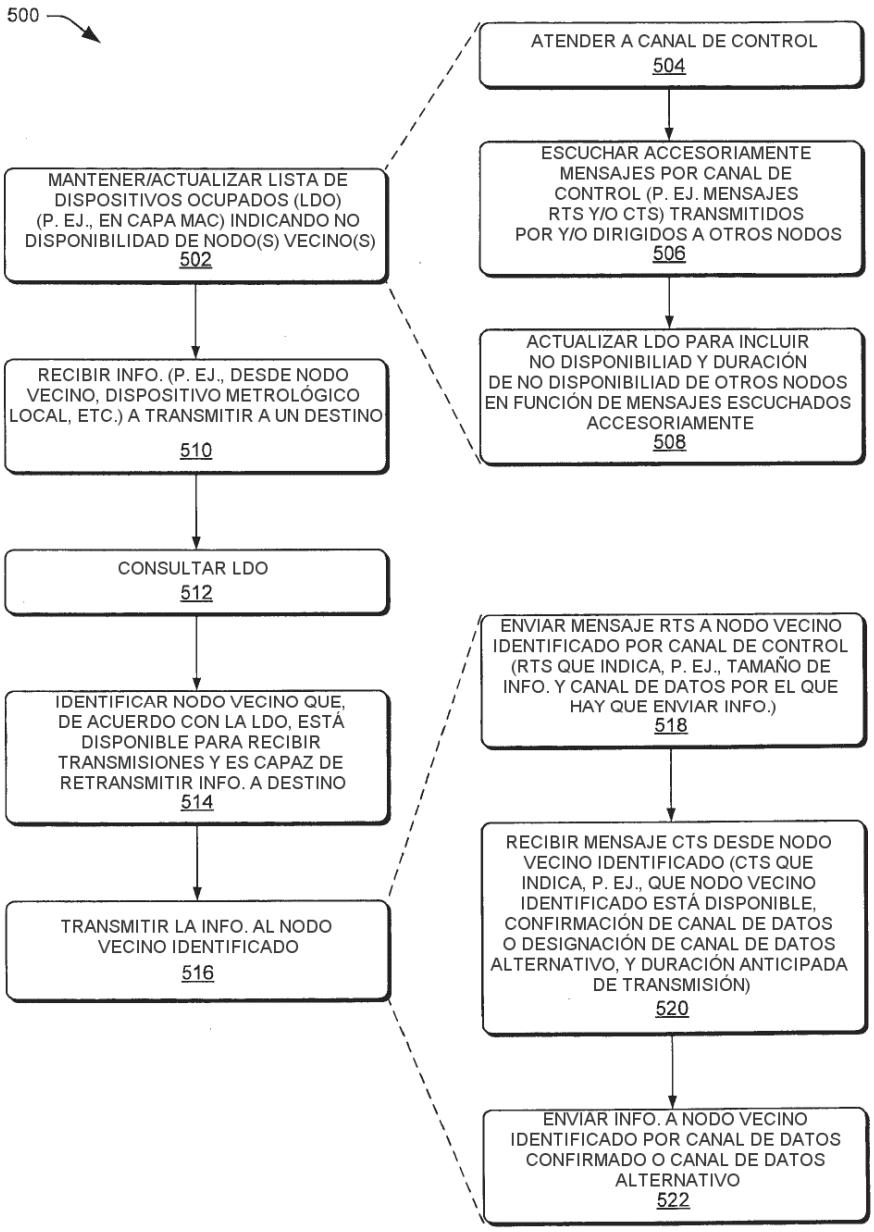
500
MANTENER/ACTUALIZAR LISTA DE DISPOSITIVOS OCUPADOS (LDO) (P. EJ., EN CAPA MAC) INDICANDO NO DISPONIBILIDAD DE NODO(S) VECINO(S)
502
RECIBIR INFO. (P. EJ., DESDE NODO VECINO, DISPOSITIVO METROLÓGICO LOCAL, ETC.) A TRANSMITIR A UN DESTINO
510
CONSULTAR LDO
512
IDENTIFICAR NODO VECINO QUE, DE ACUERDO CON LA LDO, ESTÁ DISPONIBLE PARA RECIBIR TRANSMISIONES Y ES CAPAZ DE RETRANSMITIR INFO. A DESTINO
514
TRANSMITIR LA INFO. AL NODO VECINO IDENTIFICADO
516
ATENDER A CANAL DE CONTROL
504
ESCUCHAR ACCESORIAMENTE MENSAJES POR CANAL DE CONTROL (P. EJ. MENSAJES RTS Y/O CTS) TRANSMITIDOS POR Y/O DIRIGIDOS A OTROS NODOS
506
ACTUALIZAR LDO PARA INCLUIR NO DISPONIBILIAD Y DURACIÓN DE NO DISPONIBILIAD DE OTROS NODOS EN FUNCIÓN DE MENSAJES ESCUCHADOS ACCESORIAMENTE
508
ENVIAR MENSAJE RTS A NODO VECINO IDENTIFICADO POR CANAL DE CONTROL (RTS QUE INDICA, P. EJ., TAMAÑO DE INFO. Y CANAL DE DATOS POR EL QUE HAY QUE ENVIAR INFO.)
518
RECIBIR MENSAJE CTS DESDE NODO VECINO IDENTIFICADO (CTS QUE INDICA, P. EJ., QUE NODO VECINO IDENTIFICADO ESTÁ DISPONIBLE, CONFIRMACIÓN DE CANAL DE DATOS O DESIGNACIÓN DE CANAL DE DATOS ALTERNATIVO, Y DURACIÓN ANTICIPADA DE TRANSMISIÓN)
520
ENVIAR INFO. A NODO VECINO IDENTIFICADO POR CANAL DE DATOS CONFIRMADO O CANAL DE DATOS ALTERNATIVO
522

FIG. 5

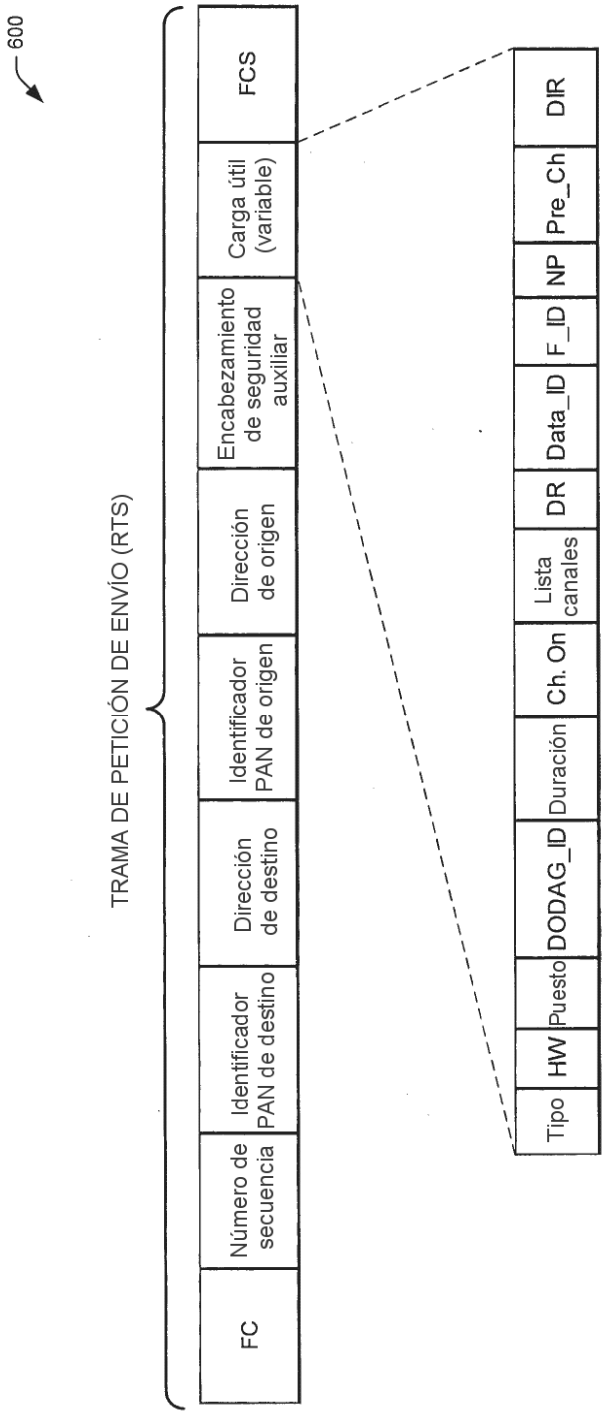
600
TRAMA DE PETICIÓN DE ENVÍO (RTS)
FC
Número de secuencia
Identificador PAN de destino
Dirección de destino
Identificador PAN de origen
Dirección de origen
Encabezamiento de seguridad auxiliar
Carga útil (variable)
FCS
Tipo
HW
Puesto
DODAG_ID
Duración
Ch. On
Lista canales
DR
Data_ID
F_ID
NP
Pre_Ch
DIR

FIG. 6

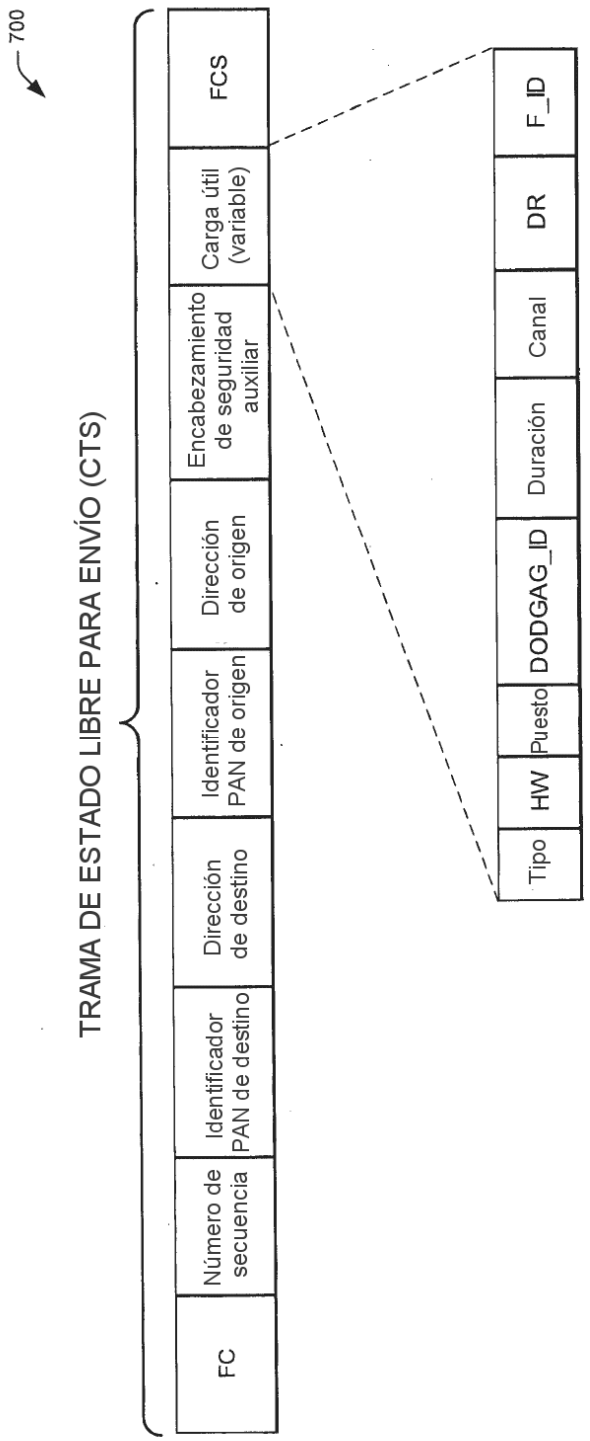
700
TRAMA DE ESTADO LIBRE PARA ENVÍO (CTS)
FC
Número de secuencia
Identificador PAN de destino
Dirección de destino
Identificador PAN de origen
Dirección de origen
Encabezamiento de seguridad auxiliar
Carga útil (variable)
FCS
Tipo
HW
Puesto
DODGAG_ID
Duración
Canal
DR
F_ID

FIG. 7