

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 697 511**

51 Int. Cl.:

**H04W 40/24** (2009.01)

**G01D 4/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2011** **E 11188904 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2018** **EP 2592870**

54 Título: **Encaminamiento de comunicaciones basándose en disponibilidad de nodo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**24.01.2019**

73 Titular/es:

**ITRON GLOBAL SARL (100.0%)**  
**2111 North Molter Road**  
**Liberty Lake WA 99019, US**

72 Inventor/es:

**NGUYEN, VIET HUNG;**  
**MAINAUD, BASTIEN;**  
**MONIER, FABRICE y**  
**BARTIER, JÉROME**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 697 511 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 basándose en disponibilidad de nodo

## 5 Antecedentes

Redes de comunicación, tal como redes de malla, se usan para conectar una diversidad de diferentes dispositivos. Por ejemplo, redes de malla se han empleado en la industria de los servicios públicos para conectar contadores de servicios, retransmisores celulares, transformadores y/o otros nodos. Los nodos en la red de malla habitualmente son capaces de recibir datos desde nodos vecinos y retransmitir o propagar mensajes a otros nodos vecinos.

En redes por cable tradicionales, puede usarse una métrica de encaminamiento que encamina mensajes basándose en un número menor de saltos entre una fuente y un destino. En una red de malla inalámbrica, sin embargo, una tasa de datos entre nodos puede variar sustancialmente de un enlace a otro. Esta variación en tasa de datos puede deberse, al menos en parte, al hecho de que redes de malla a menudo contienen múltiples generaciones diferentes de nodos que tienen diferentes características y capacidades. Por ejemplo, diferentes generaciones de nodos pueden emplear o ser capaces de emplear diferentes técnicas de modulación y/o tasas de datos. Esto puede ser particularmente cierto para redes de malla de servicios públicos en las que nodos se sitúan en servicio gradualmente con el paso del tiempo y se esperan que permanezcan en el campo para ciclos de vida relativamente largos (por ejemplo, 20 años o más). En general, las nuevas generaciones de nodos son capaces de modulaciones adicionales y mayores tasas de datos que generaciones de nodos más antiguas.

Además, en el caso de redes de múltiples canales en las que múltiples nodos diferentes pueden transmitirse simultáneamente en diferentes canales, algunos nodos de destino pueden perder transmisiones concebidas para ellos porque están ocupados transmitiendo o recibiendo en 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 desde el dispositivo de destino. En ese caso, el nodo que envía el mensaje no tiene forma de saber si la transmisión falló debido a una pobre calidad de enlace, debido a una colisión (es decir, múltiples transmisiones en el mismo canal al mismo tiempo) o porque el dispositivo de destino estaba simplemente ocupado comunicándose con otro dispositivo en otro canal.

El documento US 2006/0256737A1 describe un método y sistema para establecer múltiples canales entre nodos teniendo cada uno una única interfaz de radio en una red de malla soportando múltiples canales.

Por lo tanto, métricas de encaminamiento existentes no proporcionan una forma efectiva de encaminamiento de transmisiones dentro de una red de malla inalámbrica de múltiples canales heterogénea que incluye múltiples diferentes generaciones de nodos o nodos que tienen de otra manera capacidades distintas.

## Sumario

En un aspecto se proporciona un método como se define en la reivindicación 1.

En otro aspecto se proporciona un dispositivo informático de red como se define en la reivindicación 14.

## Breve descripción de los dibujos

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

La Figura 1 es un diagrama esquemático de una arquitectura de ejemplo de una red de malla inalámbrica de múltiples canales en la que pueden encaminarse de forma efectiva transmisiones entre nodos que tienen múltiples capacidades diferentes.

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

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método de ejemplo de encaminamiento de transmisiones en una red de malla inalámbrica de múltiples canales 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 de ejemplo de determinación de una calidad de enlaces de una red de malla inalámbrica de múltiples canales.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un método de ejemplo, que emplea una lista de dispositivos ocupados para encaminar transmisiones en una red de malla inalámbrica de múltiples canales.

La Figura 6 es un diagrama esquemático de una estructura de trama de ejemplo de un mensaje de petición para enviar 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 de ejemplo de un mensaje de listo para enviar que puede usarse para indicar que un nodo está disponible para recibir datos.

Descripción detallada

Descripción general

5 Como se ha analizado anteriormente, métricas de encaminamiento existentes no proporcionan una forma efectiva de encaminamiento de transmisiones dentro de una red de malla inalámbrica de múltiples canales. Por ejemplo, métricas de encaminamiento existentes no se ajustan bien a encaminamiento de comunicaciones en una red de malla inalámbrica heterogénea en la que nodos tienen capacidades distintas de tal forma que una tasa de datos de transmisión puede variar de enlace a enlace. Como se usa en este documento, un "enlace" se refiere a una  
10 trayectoria de transmisión directa entre dos nodos de una red (es decir, sin pasar a través de otro nodo), tal como mediante señales de frecuencia de radio (RF). Tasa de datos a través de un enlace entre dos nodos depende al menos parcialmente de las capacidades de transmisión (por ejemplo, compatible técnicas de modulación y tasas de datos) de los dos nodos. Como tal, una tasa de datos máxima a través de un enlace se limita por las capacidades del nodo más lento del enlace.

15 Esta solicitud describe técnicas para encaminamiento de comunicaciones inteligente entre y/o con nodos de una red de malla inalámbrica heterogénea. Por ejemplo, esta solicitud describe determinar calidad de enlaces entre nodos de la red y encaminamiento de comunicaciones basándose al menos en parte en la calidad determinada de los enlaces.

20 Métricas de encaminamiento convencionales también habitualmente no tienen en cuenta el así llamado "problema de destino perdido," en el que nodos de destino pueden perder transmisiones concebidas para ellos porque están ocupados transmitiendo o recibiendo en un canal diferente. Cuando se emplea una métrica de encaminamiento convencional, un nodo que no recibe una respuesta desde un nodo de destino previsto puede pensar que se ha producido una colisión y aumenta el tamaño de su ventana de contención (es decir, la cantidad media de tiempo que  
25 el nodo esperará antes de intentar retransmitir el mensaje). Este tiempo de espera aumentado puede provocar un retardo innecesario e ineficiencia en la propagación de la transmisión a su destino previsto.

Esta solicitud también describe el mantenimiento de una lista de dispositivos ocupados para cada nodo, que incluye información de disponibilidad para uno o más nodos vecinos. Comunicaciones pueden encaminarse basándose al  
30 menos en parte en la información de disponibilidad de nodos vecinos mantenidos en la lista de dispositivos ocupados.

Por lo tanto, en diversas realizaciones descritas en esta solicitud, transmisiones pueden encaminarse en una red de comunicación, tal como una red de malla de múltiples canales, basándose en calidad de enlace (por ejemplo, basándose en una lista de enlaces cualificados), disponibilidad de nodos vecinos (por ejemplo, basándose en una  
35 lista de dispositivos ocupados) o ambas.

Las técnicas de encaminamiento se describen en el contexto de una red de malla de servicios públicos que incluye una pluralidad de nodos. Nodos de la red de malla de servicios públicos pueden incluir, por ejemplo, contadores de  
40 servicios inteligentes (por ejemplo, contadores de electricidad, gas y/o agua), sensores (por ejemplo, sensores de temperatura, estaciones meteorológicas, sensores de frecuencia, etc.), dispositivos de control, transformadores, encaminadores, servidores, retransmisores (por ejemplo, retransmisores celulares), conmutadores, válvulas y otros dispositivos de red. Mientras las técnicas de encaminamiento se describen en el contexto de una red de malla de servicios públicos, las técnicas de encaminamiento pueden aplicarse adicionalmente o como alternativa a otras  
45 redes y/o otras aplicaciones. Como tal, en otras implementaciones, nodos pueden incluir cualquier dispositivo acoplado a una red de comunicación y capaz de enviar y/o recibir datos.

A continuación, se describen múltiples y variadas implementaciones y realizaciones, comenzando con descripciones generales de "Encaminamiento Basándose en Calidad de Enlace" y "Encaminamiento Basándose en Disponibilidad de  
50 de Nodo." Estas descripciones generales se siguen por descripciones de una "Arquitectura de Ejemplo" y un "Nodo de Ejemplo" usables para implementar las técnicas de encaminamiento descritas en este documento. A continuación, la solicitud describe detalles adicionales de un "Proceso de Ejemplo de Encaminamiento Basándose en Calidad de Enlace" y un "Proceso de Ejemplo de Encaminamiento Basándose en Disponibilidad de Nodo." A continuación de la descripción detallada los procesos de encaminamiento de ejemplo, la solicitud incluye una  
55 descripción de varias " Unidades de datos de protocolo (PDU) de Ejemplo" que pueden usarse para implementar métodos de encaminamiento tal como los descritos en este documento. Finalmente, la solicitud concluye con una breve "Conclusión." Esta descripción general y las siguientes secciones, incluyendo los encabezamientos de secciones, son meramente implementaciones y realizaciones ilustrativas y no deberían interpretarse para limitar el alcance de las reivindicaciones.

60 Descripción general de encaminamiento basándose en calidad de enlace

En una implementación de ejemplo, esta solicitud describe determinar calidad de enlaces entre nodos de una red de comunicación, tal como una red de servicios públicos de múltiples canales y encaminamiento de comunicaciones basándose al menos en parte en la calidad determinada de los enlaces. En este ejemplo, un nodo determina una  
65 calidad de enlace 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 un umbral de calidad predeterminado. Si la calidad de enlace cumple con el umbral de calidad predeterminado, el nodo puede calificar el enlace y añadir el enlace a una lista de enlaces cualificados que cumplen con el umbral de calidad de enlace. El nodo puede a continuación encaminar comunicaciones a nodos vecinos con los que 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 calidad de los enlaces entre el mismo y todos sus nodos vecinos. Como alternativa, si el nodo tiene muchos nodos vecinos, el nodo puede determinar una calidad de enlace entre el mismo y un subconjunto de sus nodos vecinos. En un ejemplo, el nodo puede continuar para determinar calidad de enlaces con sus nodos vecinos hasta que determina un número predeterminado de enlaces (por ejemplo, 5, 10, 20, etc.) que cumplen con el umbral de calidad de enlace, asegurando de este modo un número suficiente de buenas trayectorias 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 a través del enlace. Por ejemplo, en una implementación el nodo puede enviar un mensaje de petición para enviar (RTS) al nodo vecino. El mensaje de petición para enviar puede designar una secuencia de canales de comunicación a probar. Por ejemplo, la secuencia de canales de comunicación a probar puede designarse por un número de canales de comienzo para probar, un intervalo de etapa entre canales para probar y un número de canales a probar. En respuesta, el nodo puede recibir un mensaje de listo para enviar (CTS) desde el nodo vecino que indica que el nodo vecino está disponible para recibir transmisiones. El nodo puede proceder a continuación 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. Tras la recepción de 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 transmisión a través del enlace.

Tras la recibir de vuelta los paquetes de datos de prueba desde el nodo vecino, el nodo puede calcular la calidad de enlace entre el nodo y el nodo vecino basándose en las pruebas de la secuencia de canales de comunicación. El nodo también puede enviar una confirmación de paquete que incluye un número de paquetes de datos de prueba que el nodo recibió 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 de enlace cumple con el umbral de calidad predeterminado, el nodo puede calificar el enlace y añadir el enlace a la lista de enlaces cualificados que cumplen con el umbral de calidad de enlace. Un enlace puede calificarse para todos o menos de todos los canales de comunicación. Por ejemplo, un enlace puede calificarse para menos de todos los canales para promocionar que la diversidad de canales reduzca la probabilidad de interferencia y colisiones desde otros nodos vecinos. También, pueden calificarse nodos para menos de todos los canales si, por ejemplo, uno o más canales se encontraron durante el intercambio de datos de prueba que experimentaban interferencia o de otra manera tenían pobre calidad transmisión. En algunos ejemplos, lista de enlaces cualificados pueden 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 basándose al menos en parte en la calidad relativa de enlaces (por ejemplo, encaminamiento de comunicaciones a un nodo vecino disponible conectado al nodo mediante un enlace que tiene la mayor calidad).

Pueden usarse diversas métricas diferentes para calcular la calidad de enlace entre nodos. En un ejemplo específico, calidad de enlace puede calcularse basándose en un tiempo de transmisión esperado (ETT) de comunicaciones a través del enlace. ETT puede calcularse de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

en la que

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

P es una tasa de pérdida en un enlace,

Pf es una probabilidad de que un paquete de datos llegue satisfactoriamente al nodo vecino,

Pr es una probabilidad de que una confirmación de desde el nodo vecino se reciba satisfactoriamente,

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

B es un ancho de banda del enlace entre los dos nodos (por ejemplo, en Bits/segundo u otras unidades).

Por ejemplo, considerando 2 nodos  $x$  y  $y$ , la  $Pf$  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  $Pr$  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  $y$ .  $Pf$  y  $Pr$  para el nodo  $y$  se calcularán de la misma forma. La ecuación (1) es solo una métrica de encaminamiento de ejemplo que puede usarse para medir la calidad de enlace y, en otros ejemplos, pueden usarse diversas otras métricas para medir la calidad de enlace.

Si después de la recepción de la RTS, el nodo vecino no está o estará disponible para recibir comunicaciones (por ejemplo, el vecino ya tiene una comunicación anteriormente planificada), el nodo vecino puede enviar de vuelta un mensaje de no listo para enviar (NCTS). Si el nodo vecino está ocupado comunicando en otro canal, el nodo vecino puede no recibir la RTS y, por lo tanto, no responderá. Si el nodo recibe un NCTS o no recibe ninguna respuesta, el nodo puede esperar un periodo de tiempo e intentar de nuevo y/o puede intentar un nodo vecino diferente.

Descripción general de encaminamiento basándose en disponibilidad de nodo

En otra implementación de ejemplo, esta solicitud describe mantener una lista de dispositivos ocupados para cada nodo, que incluye información de disponibilidad para uno o más nodos vecinos y encaminamiento de transmisiones basándose en disponibilidad de los nodos vecinos. En este ejemplo, un nodo recibe alguna información (por ejemplo, datos de consumo de recursos, un informe, una alerta, un mensaje de estado, una actualización de software/firmware, etc.) que debe transmitirse a un destino. La información puede recibirse desde un nodo vecino o desde un sistema o componente (por ejemplo, un sensor local o módulo de metrología) del propio nodo. Tras la recepción de 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 a continuación un nodo vecino que, de acuerdo con la lista de dispositivos ocupados, está disponible para recibir transmisiones y es capaz de propagar la información al destino. El nodo puede transmitir a continuación la información al nodo vecino identificado.

La lista de dispositivos ocupados se mantiene generalmente en 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 mantenerse adicionalmente o como alternativa en otra ubicación en la red (por ejemplo, un nodo padre, encaminador celular, retransmisor, dispositivo de almacenamiento de red o similar).

La lista de dispositivos ocupados puede generarse, mantenerse y actualizarse basándose en información de reserva contenida en mensajes interceptados por el nodo en un canal de control de la red de comunicación de múltiples canales. La información de reserva puede identificar nodos que están (o estarán) ocupados y una duración que estarán ocupados. Esta información de reserva puede incluirse en una diversidad de mensajes que incluyen, por ejemplo, mensajes de petición para enviar (RTS) direccionados a otros nodos de la red de comunicación de múltiples canales y/o mensajes de listo para enviar (CTS) direccionados a otros nodos de la red de comunicación de múltiples canales.

Arquitectura de ejemplo

La Figura 1 es un diagrama esquemático de una arquitectura 100 de ejemplo de una red de malla inalámbrica de múltiples canales en los que pueden encaminarse transmisiones de acuerdo con la calidad de enlace y/o disponibilidad de nodos. La arquitectura 100 incluye una pluralidad de nodos 102A, 102B, 102C,... 102N (colectivamente denominados como nodos 102) acoplados comunicativamente entre sí a través de trayectorias de comunicación directas o "enlaces." En este ejemplo,  $N$  representa un número de nodos en un área de encaminamiento autónoma (ARA), tal como una red de área extensa (WAN), red de área metropolitana (MAN), red de área local (LAN), red de área vecina (NAN), red de área personal (PAN) o similar.

Como se ha analizado anteriormente, el término "enlace" se refiere a una trayectoria de comunicación directa entre dos nodos (sin pasar a través de o ser propagada por otro nodo). Cada enlace puede representar una pluralidad de canales por los que un nodo es capaz de transmitir o recibir datos. Cada uno de la pluralidad de canales puede definirse mediante un intervalo de frecuencia que es el mismo o diferente para cada uno de la pluralidad de canales. En algunos casos, la pluralidad de canales comprende canales de RF. La pluralidad de canales puede comprender un canal de control y múltiples canales de datos. En algunos casos, el canal de control se utiliza para comunicar uno o más mensajes entre nodos para especificar uno de los canales de datos a utilizar para transferir datos. En general, transmisiones en el canal de control son más cortas en relación con transmisiones en los canales de datos.

Cada uno de los nodos 102 puede implementarse como cualquiera de una diversidad de dispositivos informáticos convencionales tal como, por ejemplo, contadores de servicios inteligentes (por ejemplo, contadores de electricidad, gas y/o agua), sensores (por ejemplo, sensores de temperatura, estaciones meteorológicas, sensores de frecuencia, etc.), dispositivos de control, transformadores, encaminadores, servidores, retransmisores (por ejemplo, retransmisores celulares), conmutadores, válvulas, combinaciones de lo anterior o cualquier dispositivo acoplable a una red de comunicación y capaz de enviar y/o recibir datos.

En este ejemplo, los nodos 102 también se configuran para comunicar con una oficina central 104 a través de un dispositivo de borde (por ejemplo, retransmisor celular, encaminador celular, encaminador de borde, raíz de DODAG, etc.) que sirve como un punto de conexión de la ARA a una red o redes de retroceso 106, tal como internet. En el ejemplo ilustrado, el nodo 102A sirve como un retransmisor celular para retransmitir comunicaciones desde los otros nodos 102B-102N de la ARA y desde la oficina central 104 a través de la red o redes 106.

El nodo 102C es representativo de cada uno de los nodos 102 e incluye una radio 108 y una unidad de procesamiento 110. La radio 108 comprende un transceptor de frecuencia de radio (RF) configurado para transmitir y/o recibir señales de RF a través de uno o más de una pluralidad de canales/frecuencias. En algunas implementaciones, cada uno de los nodos 102 incluye una única radio 108 configurada para enviar y recibir datos en múltiples canales diferentes, tal como el canal de control y múltiples canales de datos de cada enlace de comunicación. La radio 108 también puede configurarse para implementar una pluralidad de diferentes técnicas de modulación, tasas 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, retransmisores celulares, sensores, etc.), diferentes generaciones o modelos de nodos y/o nodos que de otra manera con capaces de transmitir en diferentes canales y usar diferentes técnicas de modulación, tasas de datos, protocolos, intensidades de señal y/o niveles de potencia.

La unidad de procesamiento 110 puede incluir uno o más procesador o procesadores 112 acoplados comunicativamente a la memoria 114. La memoria 114 puede configurarse para almacenar uno o más módulos de software y/o firmware, que son ejecutables en el procesador o procesadores 112 para implementar diversas funciones. Mientras los módulos se describen en este documento como que son software y/o firmware ejecutable en un procesador, en otras realizaciones, cualquiera o todos los módulos pueden implementarse en su totalidad o en parte por hardware (por ejemplo, como un ASIC, 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 calificación 118 y un módulo de lista de dispositivos ocupados 120. El módulo de encaminamiento 116 se configura para encaminar transmisiones entre y con nodos 102 de la ARA basándose en una calidad de enlaces entre los nodos 102 determinada por el módulo de calificación 118, disponibilidad de los nodos 102 determinada por el módulo de lista de dispositivos ocupados 120, y/o uno o más otros factores. Detalles adicionales de cómo el módulo de encaminamiento 116 puede encaminar comunicaciones basándose en estos y otros factores se proporciona a continuación en la descripción de las Figuras 2-5.

El módulo de calificación 118 se configura para determinar la calidad de enlaces entre los nodos 102. En el ejemplo ilustrado, el módulo de calificación 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 se designan por lo tanto como "enlaces cualificados." Mientras tanto, el módulo de calificación 118 o bien aún no ha determinado una calidad del enlace entre el nodo 102C y su nodo vecino 102B, o bien el módulo de calificación 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 no es de otra manera adecuado para transmisión). Por lo tanto, el enlace entre el nodo 102C y su nodo vecino 102B se designa como un enlace no cualificado en la Figura 1.

El módulo de lista de dispositivos ocupados 120 se configura para determinar disponibilidad de nodos 102 y para mantener listado de los nodos que están (o estarán) ocupados y una duración que 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 no está, por lo tanto, disponible para recibir transmisiones desde el nodo 102C.

La memoria 114 puede comprender medio legible por ordenador y puede tomar la forma de memoria volátil, tal como memoria de acceso aleatorio (RAM) y/o memoria no volátil, tal como memoria de sólo lectura (ROM) o RAM flash. Medio legibles por ordenador incluye medio volátil y no volátil extraíble y no extraíble implementado en 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 informático. Ejemplos de medio legible por ordenador incluyen, pero sin limitación, memoria de cambio de fase (PRAM), memoria de acceso aleatorio estática (SRAM), memoria de acceso aleatorio dinámica (DRAM), otros tipos de memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de sólo lectura (ROM), memoria de sólo lectura eléctricamente programable borrrable (EEPROM), memoria flash u otra tecnología de memoria, memoria de sólo lectura de disco compacto (CD-ROM), discos versátiles digitales (DVD) u otro almacenamiento óptico, cintas magnéticas, cinta magnética, almacenamiento de disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético o cualquier otro medio de no transmisión que puede usarse para almacenar información para acceso por un dispositivo informático. Como se define en este documento, medio legible por ordenador no incluye medio de comunicación, tal como señales de datos moduladas y ondas portadoras.

La red o redes 106, mientras tanto, representan una red de retroceso, que puede comprender en sí misma una red inalámbrica o una por cable o una combinación de las mismas. La red o redes 106 pueden ser una colección de redes individuales interconectadas entre sí y que funcionan una única gran red (por ejemplo, la Internet o una

intranet). Además, las redes individuales pueden ser redes inalámbricas o por cable o una combinación de las mismas.

La oficina central 104 puede implementarse mediante uno o más dispositivos informáticos, tal como servidores, ordenadores personales, ordenadores portátiles, etc. El uno o más dispositivos informáticos pueden equiparse con uno o más procesador o procesadores acoplados comunicativamente una 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 de servicios inteligente, sensor, dispositivo de control, encaminador, regulador, servidor, retransmisor, conmutación, válvula, y/o otros nodos. Aunque el ejemplo de la Figura 1 ilustra la oficina central 104 en una única ubicación, en algunos ejemplos la oficina central puede distribuirse entre múltiples ubicaciones y/o puede eliminarse en su totalidad (por ejemplo, en el caso de una plataforma informática distribuida altamente descentralizada).

Nodo de ejemplo

La Figura 2 es un diagrama esquemático que muestra detalles adicionales del nodo 102C de ejemplo de la Figura 1. En este ejemplo, la radio 108 incluye una antena 200 acoplada a un extremo frontal de RF 202 y un procesador de banda base 204. El extremo frontal de RF 202 puede proporcionar funciones de transmisión y/o recepción. El extremo frontal de RF 202 pueden incluir componentes analógicos de alta frecuencia y/o de hardware que proporcionan funcionalidad, tal como sintonización y/o atenuación de señales proporcionadas por la antena y obtenidas desde uno o más de los nodos 102. El extremo frontal de 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 configurarse como una radio definida por software (SW). En un ejemplo, el procesador de banda base 204 proporciona funcionalidad de selección de frecuencia y/o canal a la radio 108. Por ejemplo, la radio definida por SW pueden incluir mezcladores, filtros, amplificadores, moduladores y/o demoduladores, detectores, etc., implementados en software ejecutado por un procesador o circuito integrado de aplicación específica (ASIC) u otro dispositivo o dispositivos informáticos embebidos. La radio definida por SW puede utilizar procesador o procesadores 112 y software definidos o almacenados en la memoria 114. Como alternativa, la radio 108 puede implementarse al menos en parte usando componentes analógicos.

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

Un módulo de salto de frecuencia 208 puede configurarse para comunicar con el procesador de banda base 204 y el reloj 206. En un ejemplo, el módulo de salto de frecuencia 208 se configura para obtener información de tiempo y/o establecer temporizadores de saltos de frecuencia en el reloj 206. Tal información de tiempo y/o temporizadores indicarán al módulo de salto de frecuencia 208 cuándo "saltar" o sintonizar un canal o frecuencia diferentes. Adicionalmente, el módulo de salto de frecuencia 208 puede configurarse para dirigir la radio definida por SW u otro componente de la radio 108 para realizar los cambios de frecuencia reales. Por consiguiente, el módulo de salto de frecuencia 208 es capaz de cambiar repetidamente entre frecuencias acordadas, en momentos acordados y comunicar con otro nodo o nodos para periodos de tiempo acordados y en protocolos acordados.

En algunas implementaciones (por ejemplo, cuando el nodo es un contador de servicios), la memoria 114 también puede incluir un módulo de metrología 210 configurado para recopilar datos de consumo de uno o más recursos (por ejemplo, electricidad, agua, gas natural, etc.), que pueden transmitirse a continuación a uno o más otros nodos 102 para propagación final a la oficina central 104 u otro destino.

Como se ha analizado anteriormente, la memoria 114 también incluye el módulo de calificación 118 y el módulo de lista de dispositivos ocupados 120. El módulo de calificación 118 determina la calidad de enlaces entre nodos y almacena información con respecto a la calidad de los enlaces en una lista de enlaces cualificados 212 u otro repositorio de información de calidad de enlace. Análogamente, el módulo de lista de dispositivos ocupados 120 determina disponibilidad de nodos 102 y mantiene listado de los nodos que están (o estarán) ocupados y una duración que estarán ocupados en una lista de dispositivos ocupados 214 u otro repositorio de datos de disponibilidad de nodos. Mientras la lista de enlaces cualificados 212 y la lista de dispositivos ocupados 214 se muestran como que son listas de datos almacenados en memoria local del nodo 102C, en otras realizaciones la calidad de enlace e información de disponibilidad de nodos pueden almacenarse en una única lista o en una forma distinta de una lista. Adicionalmente, en algunas realizaciones, la calidad de enlace e información de disponibilidad de nodos pueden mantenerse adicionalmente o como alternativa en una o más otras ubicaciones en la red (por ejemplo, un nodo padre, encaminador celular, retransmisor, dispositivo de almacenamiento de red o similar).

Como se ha analizado anteriormente, la lista de enlaces cualificados 212 y la lista de dispositivos ocupados 214 puede mantenerse 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 se almacenan como una lista compuesta 216 en la memoria 114. Como se ilustra en esta figura, la lista de enlaces cualificados 212 y la lista de dispositivos ocupados 214 en este ejemplo incluyen alguna información que se solapa.

Las porciones de la lista compuesta 216 que generalmente corresponden a la lista de enlaces cualificados 212 están limitadas por la región de línea discontinua y en este ejemplo incluyen una lista de nodos vecinos (bajo en encabezamiento "Vecinos") con los que el nodo tiene un enlace de comunicación, una indicación de si el enlace con cada nodo vecino está cualificado (bajo en encabezamiento "Cualificado"), una lista de canales que se califican para cada enlace (bajo en encabezamiento "Canales") y una clasificación de los enlaces por calidad relativa de los enlaces (bajo en encabezamiento "Clasificación"). Sin embargo, en otras realizaciones, la lista de enlaces cualificados 212 pueden incluir información adicional o alternativa (por ejemplo, una puntuación de calidad relativa de los enlaces, una calidad relativa de individual canales de cada enlace, una tasa de datos máxima para cada enlace o cada canal de cada enlace, etc.).

Las porciones de la lista compuesta 216 que generalmente corresponden a la lista de dispositivos ocupados 214 están limitadas por la región de línea de puntos y en este ejemplo incluyen a lista de nodos vecinos (bajo en encabezamiento "Vecinos") con los que el nodo tiene un enlace de comunicación, una lista de canales que se califican para cada enlace (bajo en encabezamiento "Canales"), un estado de disponibilidad de cada nodo (bajo en encabezamiento "Disponibilidad") y una duración que corresponde al estado de disponibilidad (bajo en encabezamiento "Duración"). Como se usa en este documento un nodo está "disponible" o "tiene disponibilidad" para recibir una transmisión si está anotado afirmativamente en la lista de dispositivos ocupados como que están disponibles (por ejemplo, tiene tiempo planificado/reservado para recibir la comunicación) o si está implícitamente disponible (por ejemplo, nodos que no están anotados como que no están disponibles y por lo tanto se suponen que están disponibles). En otras realizaciones, la lista de dispositivos ocupados 214 pueden incluir información adicional o alternativa (por ejemplo, tipo de operación que se realiza por nodos ocupados, tamaño de datos que se están transmitiendo/recibiendo por nodos ocupados, etc.).

El módulo de encaminamiento 116 puede encaminar transmisiones basándose en calidad de enlace como se indica en la lista de enlaces cualificados 212, disponibilidad de nodos vecinos como se indica en la lista de dispositivos ocupados 214 o basándose en ambos usando una lista compuesta 216. Por ejemplo, de acuerdo con una métrica de encaminamiento ilustrativa, nodos podrían intentar encaminar transmisiones a un nodo disponible que tiene la mejor calidad de enlace clasificación. Por lo tanto, En el ejemplo ilustrado, el nodo 102C podría encaminar transmisiones al nodo N en uno de canales 1-7, excepto el canal 5 (ya que como se analiza a continuación canal 5 está en uso en la actualidad por los nodos A y B), ya que el nodo N está tanto disponible durante una duración indefinida como es el enlace cualificado de mayor calidad (es decir, la menor clasificación) disponible (suponiendo que el nodo N es de otra manera capaz de propagar una transmisión hacia su destino definitivo). En este ejemplo, el nodo A no está inmediatamente disponible para recibir transmisiones ya que está ocupado transmitiendo datos al nodo B en el canal 5, así que el nodo C no encaminará la transmisión al nodo A a pesar del hecho de que el nodo A tiene una mayor calidad enlace (es decir, menor clasificación). También, el nodo C no encaminará transmisiones al nodo N en el canal 5 para evitar la perturbación de transmisiones entre nodos A y B en el canal 5.

De acuerdo con una métrica de encaminamiento alternativa, el módulo de encaminamiento 116 puede ponderar mucho más la calidad de enlace que la disponibilidad. En ese caso, de nuevo haciendo referencia a la realización ilustrada, en lugar de transmitir datos al nodo N que está disponible inmediatamente, el nodo C podría elegir esperar para transmitir datos al nodo A cuando el nodo A se vuelva disponible porque el nodo A tiene una mayor calidad (es decir, menor clasificación) de calidad de enlace. En aún otra alternativa, el nodo C puede elegir esperar para encaminar la comunicación al nodo A, pero únicamente si el nodo A se vuelve disponible en un periodo de tiempo relativamente corto. En otras palabras, la decisión de dónde encaminar la comunicación puede afectar a un equilibrio entre calidad de enlace y duración hasta disponibilidad.

Método de encaminamiento de ejemplo basándose en calidad de enlace

La Figura 3 ilustra un método 300 de ejemplo de determinación de calidad de enlaces entre nodos de una red de malla y encaminamiento de comunicaciones basándose al menos en parte en la calidad de enlace. El método 300 se describe con referencia a la arquitectura 100 de ejemplo de la Figura 1 por comodidad. Sin embargo, el método 300 no se limita al uso con la arquitectura 100 de ejemplo de la Figura 1 y puede implementarse usando otras arquitecturas y dispositivos.

El método 300 comienza en el bloque 302, con un nodo, tal como el nodo 102C, determinando una calidad de un enlace con un nodo vecino, tal como el nodo 102N. La determinación de calidad de enlace puede realizarse mediante un módulo de calificación, tal como módulo de calificación 118 del nodo 102C. A continuación, se describirán detalles adicionales del proceso de calificación de enlace 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 calificación 118 del nodo 102C compara la calidad determinada de enlace con un umbral de calidad de enlace. Si la calidad determinada de enlace cumple con (es decir, es mayor que o igual a) el umbral de calidad de



enlace, el nodo 102C calificará, en 306, 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 igualar el número de enlaces que el nodo tiene con sus vecinos inmediatos, o el número predeterminado de enlaces cualificados puede ser menor que todo el número 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 garantizar una buena trayectoria de comunicación para el nodo incluso durante momentos de gran tráfico de red. Si, en el bloque 308, el nodo 102C determina que "No" no existe el número predeterminado de enlaces cualificados, el nodo 102C puede repetir las operaciones de los bloques 302-306 hasta que se consigue el número predeterminado de enlaces cualificados. Si, por otra parte, 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 comenzar el encaminamiento de comunicaciones a sus nodos vecinos con los que tiene un enlace cualificado. Por lo tanto, en el ejemplo ilustrado, el nodo 102C puede comenzar el encaminamiento de comunicaciones a los nodos 102A y 102N, pero no el nodo 102B, ya que el nodo 102C tiene enlaces cualificados con nodos 102A y 102N, pero no con el nodo 102B. Además de o en lugar de encaminamiento de comunicaciones basándose simplemente en la existencia de un enlace cualificado, si el nodo 102C calificó los nodos vecinos basándose en calidad de enlace en el bloque 310, el nodo 102C puede encaminar comunicaciones basándose en las clasificaciones de calidad de enlace (por ejemplo, dando preferencia para 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 de ejemplo 400 de calificación de enlaces basándose en calidad de enlace. El método 400 se describe con referencia a nodos 102C y 102N de la arquitectura 100 de ejemplo de la Figura 1 por comodidad. Sin embargo, el método 400 no se limita al uso con la arquitectura 100 de ejemplo de la Figura 1 y puede implementarse usando otras arquitecturas y dispositivos.

En la Figura 4, un nodo, tal como el nodo 102C, puede determinar 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 para enviar (RTS) al nodo vecino 102N. El mensaje de petición para enviar puede designar una secuencia de canales de comunicación para probar. Por ejemplo, la secuencia de canales de comunicación a probar puede designarse por un número de canales de comienzo para probar X, un intervalo de etapa Y entre canales para probar y un número M de canales para probar. La secuencia de canales puede expresarse matemáticamente de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$(X+Y(k-1)), k = 1, 2, \dots M \quad (2)$$

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

Posteriormente, el nodo 102C puede recibir, en la operación 404, un mensaje de listo para enviar (CTS) desde el nodo vecino 102N que indica que el nodo vecino está disponible para recibir transmisiones. El nodo 102C puede proceder a continuación, en la operación 406, para probar la secuencia de canales de comunicación entre el nodo 102C y el respectivo nodo vecino 102N enviando paquetes de datos de prueba al nodo vecino de acuerdo con la secuencia de canales de comunicación para probar. Tras la recepción de los paquetes de datos de prueba, el nodo vecino 102N puede enviar de vuelta, en la operación 408, 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 pueden 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 recibió desde el nodo 102C.

Tras 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 basándose en las pruebas 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. Como alternativa, pueden usarse diversas otras métricas para calcular la calidad de enlace. Si la calidad de enlace cumple con el umbral de calidad predeterminado, el nodo 102C puede calificar el enlace y añadir el enlace a su lista de enlaces cualificados que cumplen con el umbral de calidad de enlace como se ha analizado anteriormente con referencia a la Figura 3.

En la operación 412, el nodo 102C también puede enviar una confirmación de paquete que incluye un número de paquetes de datos de prueba que el nodo 102C recibió desde el nodo vecino 102N. En la operación 414, nodo vecino 102N puede enviar un paquete de acuse de recibo al nodo 102C, que indica la recepción satisfactoria del paquete de confirmación enviado por 102C. En la operación 416, 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 el umbral de calidad predeterminado, el nodo vecino 102N puede calificar el enlace y añadir el enlace a su lista de enlaces cualificados que cumplen con el umbral de calidad de enlace como se ha analizado anteriormente con referencia a la Figura 3. El método 400 puede realizarse tantas veces como sea necesario para calificar un número predeterminado de enlaces para cada nodo.

Método de encaminamiento de ejemplo basándose en disponibilidad de nodo

La Figura 5 ilustra un método 500 de ejemplo de calificación de enlaces entre nodos de una red de malla. El método 500 se describe con referencia a la arquitectura 100 de ejemplo de la Figura 1 por comodidad. Sin embargo, el método 500 no se limita al uso con la arquitectura 100 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, tal como nodos 102A, 102B y 102N. La lista de dispositivos ocupados puede implementarse en la subcapa MAC y puede almacenarse en memoria del nodo 102C, por ejemplo.

En particular, el nodo 102C puede mantener/actualizar la lista de dispositivos ocupados escuchando, en el bloque 504, en un canal de control (es decir, sintonización de la radio 108 al canal de control para recibir cualquier comunicación transmitida en el canal de control). En el bloque 506, el nodo 102C puede interceptar uno o más mensajes, tal como mensajes de RTS o mensajes de CTS, transmitidos por otros nodos en la red. Los mensajes interceptados pueden contener información de reserva que incluye información de disponibilidad (por ejemplo, que nodos particulares tienen por objetivo transmitir o recibir datos en uno o más canales de datos especificados) y duración información (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 duración de disponibilidad de los otros nodos asociados con los mensajes interceptados.

En el bloque 510, el nodo 102C puede recibir información (por ejemplo, información propagada desde un nodo vecino, información de consumo desde el propio módulo de metrología 210 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, están ambos disponibles y capaces de propagar la información hacia el destino. Si más de un nodo vecinos cumple con estos criterios, el nodo 102C puede seleccionar a qué nodo vecino enviar la información basándose en uno o más otros criterios (por ejemplo, calidad de enlace, tráfico de red, selección aleatoria, etc.).

Después de identificar a qué nodo vecino enviar la información, en el bloque 516, el nodo 102C transmite la información al nodo vecino identificado. En particular, en un proceso de transmisión de ejemplo, en el bloque 518, el nodo 102C puede enviar un mensaje de RTS al nodo vecino identificado en el canal de control. La RTS mensaje pueden incluir, por ejemplo, un tamaño de la información a transmitir, un canal de datos en el que el nodo 102C prefiere enviar la información, un momento en el que comenzará la transmisión y/o cualquier otra información útil en la negociación de la transmisión. Si el nodo vecino recibió la RTS y está disponible, en el bloque 520, el nodo 102C recibirá un mensaje de CTS desde el nodo vecino. El mensaje de CTS pueden incluir una indicación de que el nodo vecino identificado está disponible, confirmación del canal de datos especificado en la RTS o designación de un canal de datos alternativo para la transmisión, una duración anticipada de la transmisión (basándose en el tamaño de los datos y la tasa de datos máxima a través del enlace) y/o cualquier otra información útil en la negociación de la transmisión. Finalmente, en la operación 522, el nodo 102C envía la información al nodo vecino identificado en 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 gráficos de flujo lógicos que representan una secuencia de operaciones que pueden implementarse en hardware, software, firmware o una combinación de los mismos. El orden en el que se describen los bloques no se concibe para interpretarse como una limitación y cualquier número de las operaciones descritas puede combinarse en cualquier orden para implementar el método o métodos alternativos. Adicionalmente, pueden omitirse operaciones individuales del método sin alejarse del espíritu y alcance de la materia objeto descrita en este documento. En el contexto de software, los bloques representan instrucciones informáticas que, cuando se ejecutan por uno o más procesadores, realizan las operaciones indicadas. En el contexto de hardware, los bloques pueden representar uno o más circuitos (por ejemplo, circuitos integrados específicos de la aplicación - ASICS) configurados para ejecutar las operaciones indicadas.

Unidades de datos de protocolo (PDU) de ejemplo

Las Figuras 6 y 7 ilustran varias unidades de datos de protocolo (PDU) de ejemplo que pueden transferirse a través de un canal de control y/o canal de datos. El término PDU se usa en este documento 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 se basa, al menos en concepto, en el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI) y puede comprender, por ejemplo, un bit, una trama, un paquete, un segmento, etc. En algunos casos, puede utilizarse una o más capas del modelo OSI para transferir una o más PDU entre nodos. Por ejemplo, la capa de enlace de datos del modelo OSI puede utilizarse para transferir 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 utilizarse para transferir PDU entre dos o más de los nodos 102. Además, en algunas implementaciones, puede utilizarse un método de acceso para transferir PDU, tal como el método de acceso múltiple por detección de portadora con evitación de colisión (CSMA/CA).

La Figura 6 ilustra una trama de petición para enviar (RTS) 600 de ejemplo que puede usarse para indicar que un nodo desea enviar datos a otro nodo, mientras la Figura 7 ilustra un ejemplo una trama de listo para enviar (CTS) 700 que puede usarse para indicar que un nodo está disponible para recibir datos. En algunos ejemplos, tras la recepción de un mensaje de RTS, un nodo puede responder (si está disponible) enviando un mensaje de CTS. En este ejemplo, las estructuras de trama de RTS y CTS se definen en parte por la norma 802.15.4(e) de IEEE. Sin embargo, en otros ejemplos pueden usarse otras estructuras de PDU para los mensajes de RTS, mensajes de CTS, u otras comunicaciones que transportan información de reserva asociada con la red de comunicación de múltiples canales.

Como se ha analizado anteriormente, la trama de RTS 600 y la trama de CTS 700 (colectivamente denominadas como tramas de datos 600 y 700) contienen información que es usable para calificar enlaces entre nodos de una red de comunicación de múltiples canales y para encaminar comunicaciones entre y entre nodos de la red de comunicación de múltiples canales. Las tramas 600 y 700 se describen con referencia a la red de ejemplo de la arquitectura 100 de la Figura 1 y los métodos 300, 400 y 500 de ejemplo por comodidad. Sin embargo, las tramas 600 y 700 de ejemplo no se limitan al uso con la arquitectura 100 de ejemplo o los métodos 300, 400 y 500 y pueden implementarse usando otras arquitecturas y dispositivos y/o para realizar otros métodos.

Haciendo referencia a la Figura 6, la trama de RTS de ejemplo puede usarse para informar a nodos vecinos 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) (por ejemplo, tasa de datos y/o técnica de modulación) con un nodo receptor previsto. Como se muestra en la Figura 6, la trama de RTS incluye los siguientes campos: control de trama (FC), número de secuencia, identificador de red de área personal (PAN) de destino, dirección de destino, identificador de PAN de fuente, dirección de fuente, encabezamiento de seguridad auxiliar, carga útil y secuencia de verificación de trama (FCS). Detalles de los campos anteriores de la trama de RTS distintos de la carga útil se conocen bien por los expertos en la materia y no se describen en detalle en este documento. La carga útil de la trama de RTS, sin embargo, se personaliza para implementar las técnicas de encaminamiento descritas anteriormente, así como otras funcionalidades. La carga útil puede tener tamaño variable y pueden incluir, por ejemplo, uno o más de los siguientes campos:

- Tipo: este campo indica un tipo de la trama, por ejemplo, RTS, CTS, no listo para enviar (NCTS), etc. En el ejemplo de la Figura 6, este campo indica que la trama es una trama de RTS.
- HW: este campo indica un tipo de hardware de un nodo que envía la trama de RTS. El tipo pueden incluir, por ejemplo, una versión o generación de dispositivo y/o cualquier otra información usable para determinar capacidades del nodo (por ejemplo, alimentado por batería, técnicas de modulación y/o tasas de datos que se soportan por el nodo).
- Clasificación: este campo indica un protocolo de encaminamiento para clasificación de redes de baja potencia y con pérdidas (RPL) (si se conocen) del nodo que tiene que enviar la trama de RTS. La clasificación representa el coste de la trayectoria desde el vecino hasta el encaminador de célula y puede calcularse usando, por ejemplo, la métrica de la Ecuación (1) para calcular el ETT. Cuanto mayor sea la clasificación, más lejos estará el nodo del encaminador de célula. Este campo puede utilizarse por un nodo de recepción para detección de consistencia de encaminamiento en la subcapa de MAC.
- DODAG\_ID: este campo es un identificador (ID) de Gráfico Acíclico Dirigido Orientado a Destino (DODAG), que identifica una raíz de DODAG (por ejemplo, un encaminador de borde de red, encaminador celular, retransmisor, etc.), a través del cual el nodo que envía la RTS se conecta a una red de retroceso, tal como internet, para comunicación con oficina central u otro dispositivo informático de red. En el contexto de la arquitectura 100 de la Figura 1, el nodo A es un ejemplo de una raíz de DODAG de la arquitectura 100 que está en comunicación con la red 106, que es un ejemplo de una red de retroceso. El ID de DODAG permite que un nodo que recibe la trama de RTS acepte o rechace la trama de RTS verificando condiciones de consistencia de encaminamiento en la subcapa de MAC.
- Duración: este campo indica un tiempo esperado total para intercambiar trama o tramas de datos especificadas en la RTS. La duración pueden incluir tiempo para transmitir las tramas de datos especificadas, tiempos de espera tal como espacio entre tramas (IFS) (por ejemplo, SIFS, GIFS, etc.) entre tramas y respuestas de acuse de recibo (ACK) o acuse de recibo negativo (NACK). El campo de duración puede usarse para determinar una duración que un nodo estará ocupado comunicando con otro nodo y por lo tanto no disponible para recibir. El campo de duración puede usarse para rellenar la columna de "Duración" de una lista de dispositivos ocupados, tal como lista de dispositivos ocupados 214 mostrada en la Figura 2.

- Ch. On: este campo incluye una bandera que indica si la RTS incluye una lista de canales.
- Lista de canales: este campo incluye una lista de canales que incluye una lista de canales que están disponible para un nodo que envía la trama de RTS. Un nodo que recibe la trama de RTS puede seleccionar un canal de los canales disponibles y especificar este canal elegido dentro de una trama de CTS. En algunos ejemplos, la lista de canales puede incluir menos de todos los canales que están disponible para un nodo. Por ejemplo, si se emplea una modulación de ensanchamiento de espectro de secuencia directa (DSSS), la lista de canales puede limitarse a 13 canales en la banda ISM de 915 MHz. La lista de canales puede comprender, por ejemplo, una lista de canales cualificados entre el nodo que envió la RTS y el nodo que recibió la RTS. La lista de canales cualificados puede mantenerse en memoria del nodo que envió la RTS y/o el nodo que recibió la RTS, tal como en la lista de enlaces cualificados 212 mantenida en memoria 114 del nodo 102C descrito con referencia a la Figura 2.
- Parámetros de tasa de datos (DR): este campo indica una tasa de datos máxima soportada y/o propuesta por un nodo que envía la trama de RTS. Un nodo que recibe la trama de RTS puede utilizar este campo para determinar una tasa de datos de la que ambos modos de envío y recepción son capaces. La tasa de datos determinada puede enviarse al nodo de envío usando una trama de CTS. La tasa de datos determinada se establecerá a casi la tasa de datos máxima de uno más lento de los dos nodos. Por lo tanto, si la RTS propone una tasa de datos mayor de la que es capaz el nodo de recepción, el nodo de recepción establecerá una tasa de datos menor (casi la tasa de datos máxima del nodo de recepción) cuando envía la trama de CTS.
- Datos\_ID: este campo incluye un ID de un paquete de datos. Este ID puede estar presente dentro de la trama de RTS. Este campo puede utilizarse si, por ejemplo, el paquete de datos se recibió por un nodo particular pero no se recibió un acuse de recibo en un nodo que envió el paquete de datos. En este caso, el nodo que envió el paquete de datos con Datos\_ID puede suponer que el paquete de datos no se recibió y puede reenviar una trama de RTS para el mismo Datos\_ID. En algunos casos, cuando el nodo particular realizan seguimiento de un número de últimos Datos\_ID recibidos, el nodo particular puede responder con una trama de ACK en lugar de una trama de CTS, evitando por lo tanto una retransmisión de la trama de datos.
- F ID: este campo incluye una ID de trama de MAC de la trama de RTS. El destino previsto de la trama de RTS copiará este F ID en la trama de CTS contestando a esta trama de RTS. Cuando el nodo que envía trama de RTS recibe una trama de CTS, puede usar el F ID en la trama de CTS para determinar si la trama de CTS es la esperada (es decir, se envió en contestación a la trama de RTS que el nodo ha enviado anteriormente).
- NP: este campo indica un número de paquetes a intercambiar con un nodo que recibe la trama de RTS. Este campo indica al nodo de recepción cuántos paquetes escuchar para un canal de datos especificado antes de conmutar de nuevo para escuchar en el canal de control. Este campo también puede ser útil en la determinación de disponibilidad de canales particulares.
- Pre\_Ch: 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 se implican en este intercambio, pero que interceptan la RTS, puede actualizar sus listas de dispositivos ocupados (por ejemplo, como se describe con referencia a la Figura 3) basándose en este campo. Por defecto, el receptor de la trama de RTS puede seleccionar este canal para intercambio de datos, si es posible. Sin embargo, si este canal está ocupado o no es un canal del enlace cualificado, el nodo receptor puede designar un canal diferente en la CTS.
- DIR: este campo indica si el tráfico es de una raíz o tiene que enviarse a la raíz. El tráfico enviado desde una raíz hacia una hoja se dice que es "aguas abajo," mientras que todas las comunicaciones enviadas hacia la raíz se dicen que son "aguas arriba." El campo puede establecerse a 1 para tráfico aguas arriba y 0 para tráfico aguas abajo, por ejemplo.

La Figura 7, mientras tanto, ilustra un mensaje de CTS 700 de ejemplo en forma de una trama que puede comunicarse para indicar que un nodo está disponible para recibir datos. La trama de CTS 700 pueden incluir, por ejemplo, parámetros PHY y un canal de datos seleccionado por el primer nodo. En algunos casos, la trama de CTS se utiliza para informar a nodos vecinos que el nodo que envía la RTS y el nodo que envía la CTS no estará disponible y que el canal de datos seleccionado estará ocupado durante un periodo de tiempo especificado. En el ejemplo de la Figura 7, la trama de CTS incluye los siguientes campos: FC, número de secuencia, identificador PAN de destino, dirección de destino, identificador de PAN de fuente, dirección de fuente, encabezamiento de seguridad auxiliar, carga útil y FCS. Detalles de los campos anteriores de la trama de CTS distintos de la carga útil se conocen bien por los expertos en la materia y no se describen en detalle en este documento. La carga útil de la trama de CTS, sin embargo, se personaliza para implementar las técnicas de encaminamiento descritas anteriormente, así como otras funcionalidades. La carga útil de la trama de CTS puede tener tamaño variable y pueden incluir, por ejemplo, uno o más de los siguientes campos:

- Tipo: este campo puede indicar información similar a la descrita anteriormente en referencia con la Figura 6. En el ejemplo de la Figura 7, este campo indica que la trama es una trama de CTS.
- HW: este campo incluye parámetros de hardware (por ejemplo, tipo de dispositivo, versión o generación de dispositivo, etc.) de un nodo que recibió la trama de RTS (es decir, el nodo que enviará la trama de CTS).
- Clasificación: este campo es análogo al campo correspondiente de la trama de RTS, pero como se aplica a la trama de CTS. Este campo puede usarse en enlaces de clasificación 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 de RTS, pero como se aplica a la trama de CTS. Específicamente, este campo es un identificador de DODAG que proporciona una elección para un nodo que recibe la trama de CTS para aceptar o rechazar verificando condiciones de consistencia de encaminamiento en una subcapa de MAC.
- 5 • Duración: este campo es análogo al campo correspondiente de la trama de RTS, pero como se aplica a la trama de CTS y pueden usarse en determinar 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 recibió la trama de RTS.
- 10 • DR: este campo indica una tasa de seleccionada por el nodo que recibió la trama de RTS. La tasa de datos puede ser la misma (si el nodo de recepción es capaz de la tasa de datos) o diferente de la tasa de datos especificada en la RTS (si el nodo de recepción no es capaz de la tasa de datos especificada en la RTS). Esta tasa de datos puede implementarse para transferir datos en un canal de datos, tal como los paquetes de datos de prueba descritos con referencia a la Figura 4.
- 15 • F ID: este campo incluye una ID de trama de MAC de la trama de CTS, que puede ser idéntica al valor de F\_ID de la trama de RTS.

Como se ha analizado anteriormente, las tramas de RTS y CTS 600 y 700 son meramente ejemplos de algunas PDU que pueden usarse para implementar las técnicas de encaminamiento descritas en este documento. En otras realizaciones pueden emplearse diversas otras PDU para implementar las técnicas de encaminamiento descritas.

## Conclusión

Aunque la solicitud describe realizaciones que tienen características estructurales específicas y/o actos metodológicos, debe apreciarse que las reivindicaciones no se limitan necesariamente a las características específicas o actos descritos. En su lugar, las características específicas y actos son meramente ilustrativos de algunas realizaciones que pertenecen al alcance de las reivindicaciones de la aplicación.

## REIVINDICACIONES

1. Un método que comprende:

5      bajo el control de un nodo de una red de comunicación de múltiples canales:

recibir información a transmitir a un destino;  
consultar una lista de dispositivos ocupados (214) mantenida en memoria (114) del nodo, incluyendo la lista de dispositivos ocupados (214) información con respecto a la disponibilidad de uno o más nodos vecinos;  
10      consultar una lista de calidad de enlaces (212) mantenida en memoria (114) del nodo, incluyendo la lista de calidad de enlaces (212) información con respecto a una calidad de enlace de un enlace entre el nodo y uno o más nodos vecinos;  
identificar un nodo vecino que, de acuerdo con la lista de dispositivos ocupados (214) y la lista de calidad de enlaces (212), está disponible para recibir transmisiones y es capaz de propagar la información al destino, en el  
15      que la calidad de enlace está mucho más ponderada que la disponibilidad de uno o más nodos vecinos; y  
transmitir la información al nodo vecino identificado.

2. El método de la reivindicación 1, en el que recibir la información comprende recibir la información desde un nodo vecino junto con una indicación de que la información debe transmitirse al destino.

3. El método de la reivindicación 1, en el que recibir la información comprende recibir la información desde un módulo de metrología local (210) del nodo, incluyendo la información datos de consumo de recursos a transmitir al destino.

4. El método de la reivindicación 1, en el que la lista de dispositivos ocupados (214) se mantiene en una subcapa de control de acceso al medio (MAC) del nodo.

5. El método de la reivindicación 1, comprendiendo además actualizar la lista de dispositivos ocupados (214) basándose en información de reserva contenida en mensajes interceptados por el nodo en un canal de control de la red de comunicación de múltiples canales, incluyendo la información de reserva una indicación de nodos que están ocupados y una duración que estarán ocupados.

6. El método de la reivindicación 5, en el que los mensajes interceptados por el nodo incluyen:

mensajes de petición para enviar (RTS) direccionados a otros nodos de la red de comunicación de múltiples canales; y/o  
mensajes de listo para enviar (CTS) direccionados a otros nodos de la red de comunicación de múltiples canales.

7. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente:

escuchar en un canal de control de la red de comunicación de múltiples canales;  
interceptar mensajes transmitidos por y/o dirigidos a otros nodos en el canal de control, indicando los mensajes interceptados no disponibilidad y duración de no disponibilidad de los otros nodos; y  
actualizar la lista de dispositivos ocupados (214) para incluir la no disponibilidad y duración de no disponibilidad de los otros nodos basándose en los mensajes de sobrecarga.

8. El método de la reivindicación 1, en el que transmitir la información al nodo vecino identificado comprende:

enviar un mensaje de petición para enviar (RTS) al nodo vecino identificado en un canal de control, indicando la RTS un tamaño de información a enviar y un canal de datos en el que debe enviarse la información;  
recibir un mensaje de listo para enviar (CTS) desde el nodo vecino identificado, indicando el mensaje de CTS que:

el nodo vecino identificado está disponible para recibir la información;  
una confirmación de que el canal de datos en el que debe enviarse la información es aceptable o designación de un canal de datos alternativo en el que enviar la información; y  
una duración anticipada de transmisión de la información, basándose la duración anticipada de transmisión en el tamaño de la información y una tasa de datos máxima de transmisión entre el nodo y el nodo vecino identificado; y

enviar la información al nodo vecino identificado en el canal de datos conformado en la CTS o el canal de datos alternativo especificado en la CTS.

9. El método de la reivindicación 1, en el que el nodo comprende un contador de servicios.

10. El método de la reivindicación 1, en el que la lista de dispositivos ocupados (214) incluye adicionalmente un tipo de operación que se realiza por uno de los nodos vecinos o un tamaño de datos que se transmiten o reciben por uno de los nodos vecinos

5 11. El método de la reivindicación 1, comprendiendo además si la calidad de enlace cumple con un umbral de calidad predeterminado, calificando el enlace y añadiendo el enlace a la lista de calidad de enlaces (212).

10 12. El método de la reivindicación 11, en el que menos de todos los canales de la red de comunicación de múltiples canales están cualificados; o incluir una clasificación del uno o más nodos vecinos de acuerdo con una calidad relativa de enlaces entre nodos

13. Uno o más medios legibles por ordenador de un nodo de una red de comunicación de múltiples canales que almacenan instrucciones que, cuando se ejecutan por uno o más procesadores (112) del nodo, configuran el nodo para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

15 14. Un dispositivo informático de red que comprende:

uno o más procesadores (112);  
 memoria (114) acoplada comunicativamente al uno o más procesadores (112);  
 20 una lista de dispositivos ocupados (214) mantenida en la memoria (114) del dispositivo informático de red, indicando la lista de dispositivos ocupados (214) una no disponibilidad y duración de no disponibilidad de otros dispositivos informáticos de red de una red de comunicación de múltiples canales;  
 una lista de calidad de enlaces (212) mantenida en la memoria (114) del dispositivo de red, indicando la lista de  
 25 calidad de enlaces (212) una calidad de enlace de enlaces entre el dispositivo informático de red y uno o más otros dispositivos informáticos de red; y  
 un módulo de encaminamiento (116) almacenado en la memoria (114) y ejecutable por el uno o más procesadores (112) para encaminar comunicaciones desde el dispositivo informático de red basándose al menos en parte en la lista de dispositivos ocupados (214) y la lista de calidad de enlaces (212), en el que la calidad de enlace está mucho más ponderada que la disponibilidad de uno o más otros dispositivos informáticos de red.

30 15. El dispositivo informático de red de la reivindicación 14, que comprende adicionalmente:

una radio de múltiples canales capaz de enviar y recibir comunicaciones en múltiples canales diferentes; y  
 35 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 de múltiples canales.

16. El dispositivo informático de red de la reivindicación 14, en el que el módulo de encaminamiento (116) se configura adicionalmente para actualizar la lista de dispositivos ocupados (214) basándose en información de  
 40 reserva contenida en mensajes interceptados por el dispositivo informático de red en un canal de control de la red de comunicación de múltiples canales, incluyendo la información de reserva una indicación de dispositivos informáticos de red que están ocupados y una duración que estarán ocupados.

17. El dispositivo informático de red de la reivindicación 14, comprendiendo además un módulo de calificación (118) almacenado en la memoria (114) y ejecutable en el uno o más procesadores (112) para:

45 determinar una calidad de enlace de enlaces entre el dispositivo informático de red y uno o más otros dispositivos informáticos de red;  
 calificar uno o más de los enlaces entre el dispositivo informático de red y los respectivos dispositivos  
 50 informáticos de red en respuesta a la determinación de que la calidad de enlace del uno o más enlaces cumple con el umbral de calidad predeterminado; y  
 almacenar una lista de enlaces cualificados en la memoria (114) del dispositivo informático de red.

18. El dispositivo informático de red de la reivindicación 14, que comprende adicionalmente: un módulo de  
 55 metrología (210) almacenado en la memoria (114) y ejecutable por el uno o más procesadores (112) para recopilar datos de consumo de recursos de una ubicación física del dispositivo informático de red, en el que los datos de consumo de recursos comprenden datos de consumo de electricidad, datos de consumo de agua y/o datos de consumo de gas natural.

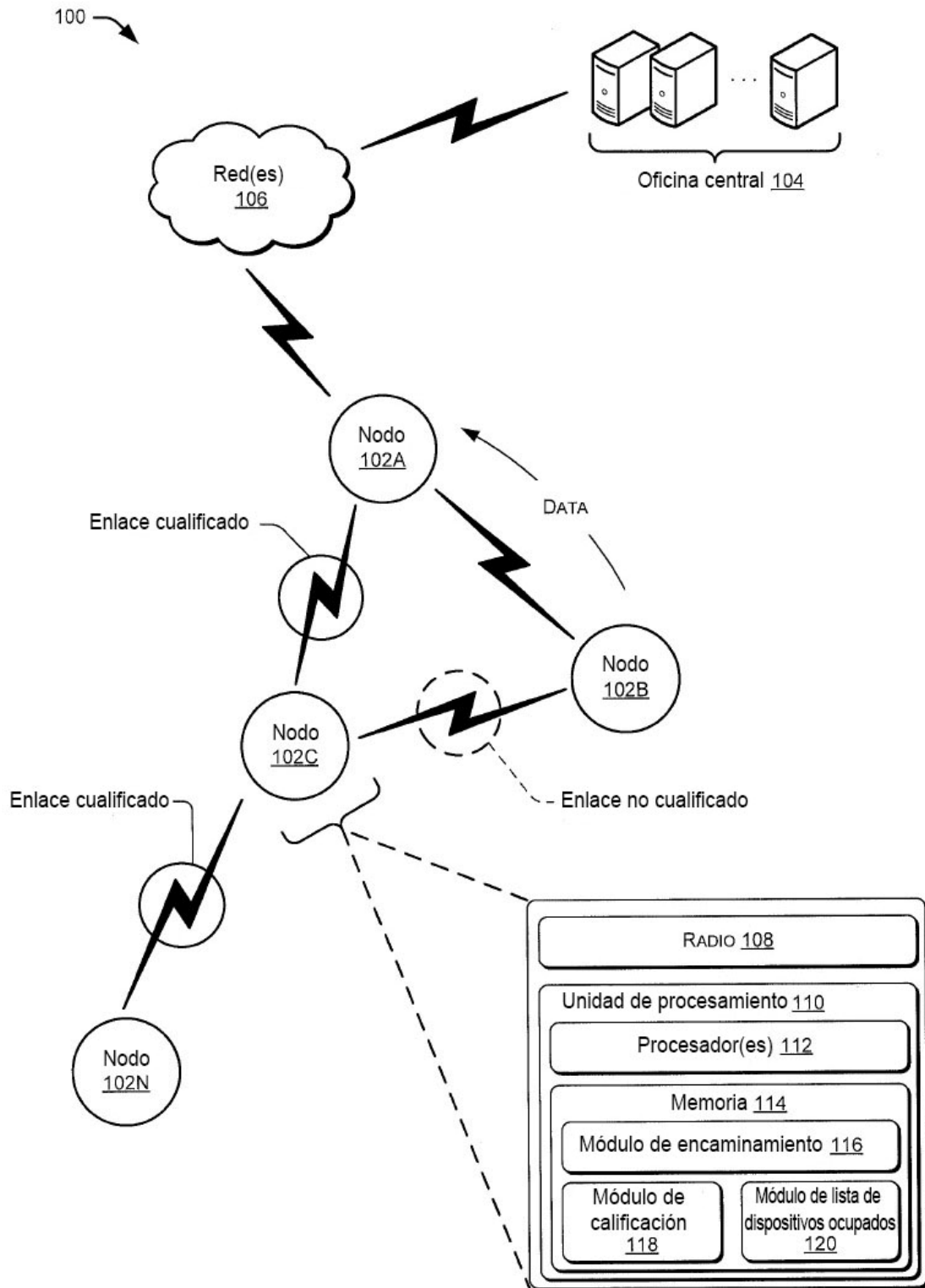


FIG. 1



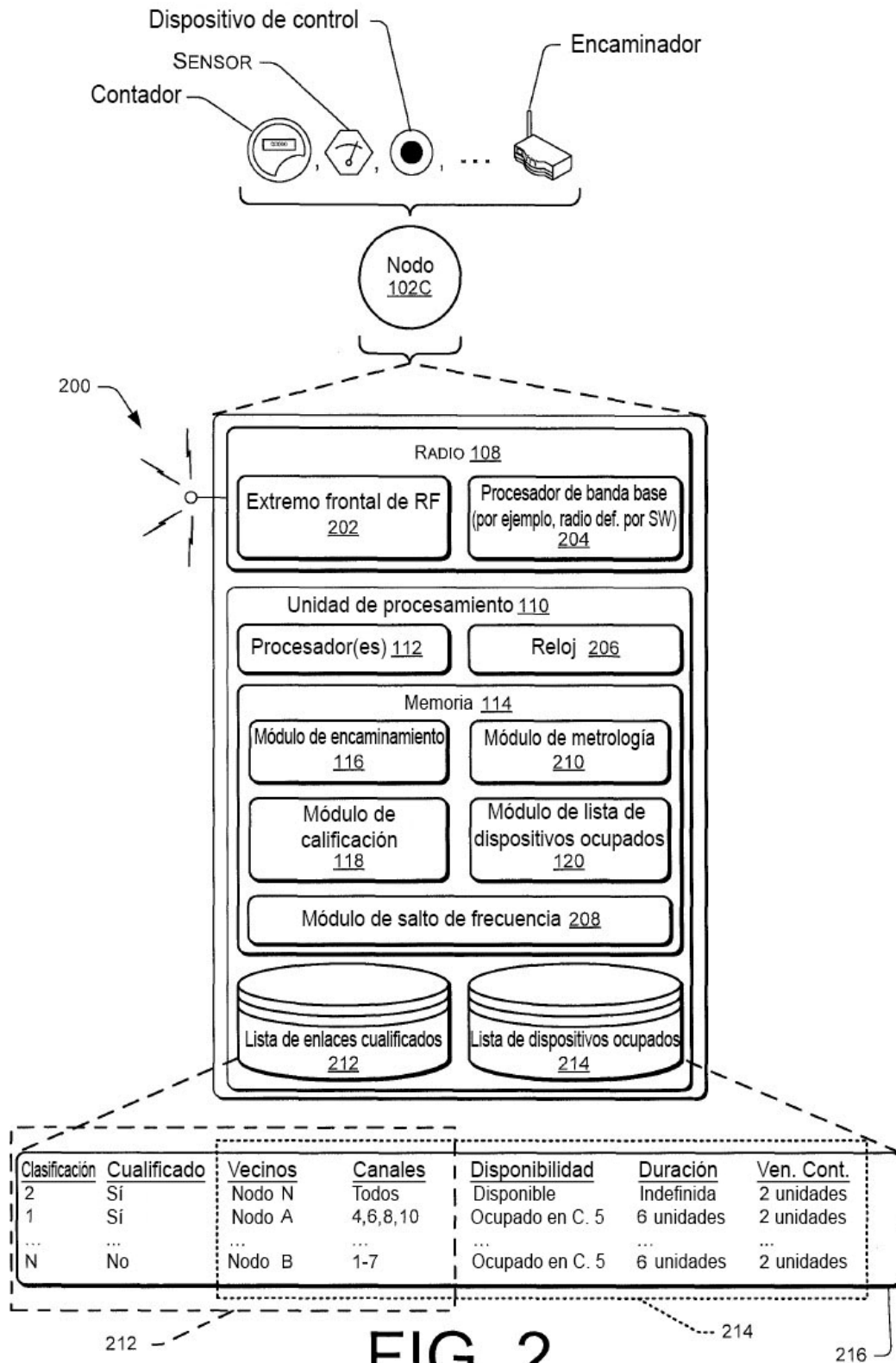


FIG. 2

300 →

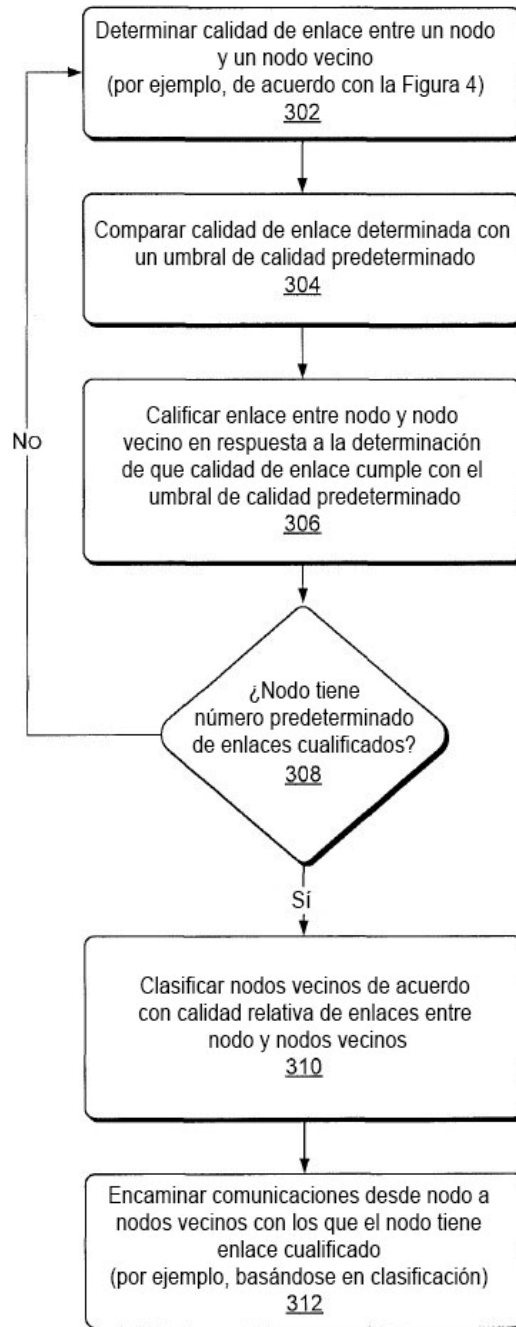
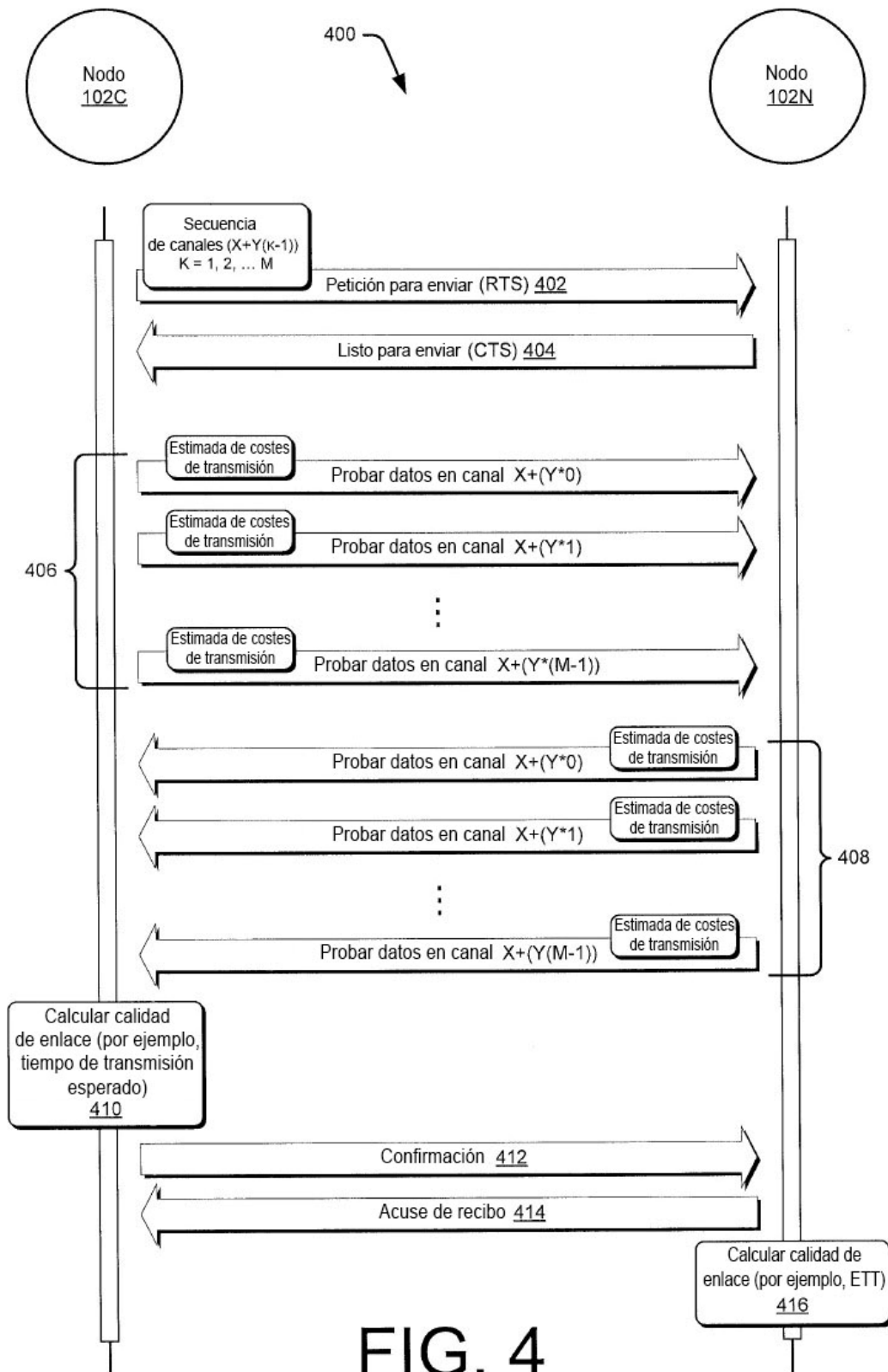


FIG. 3



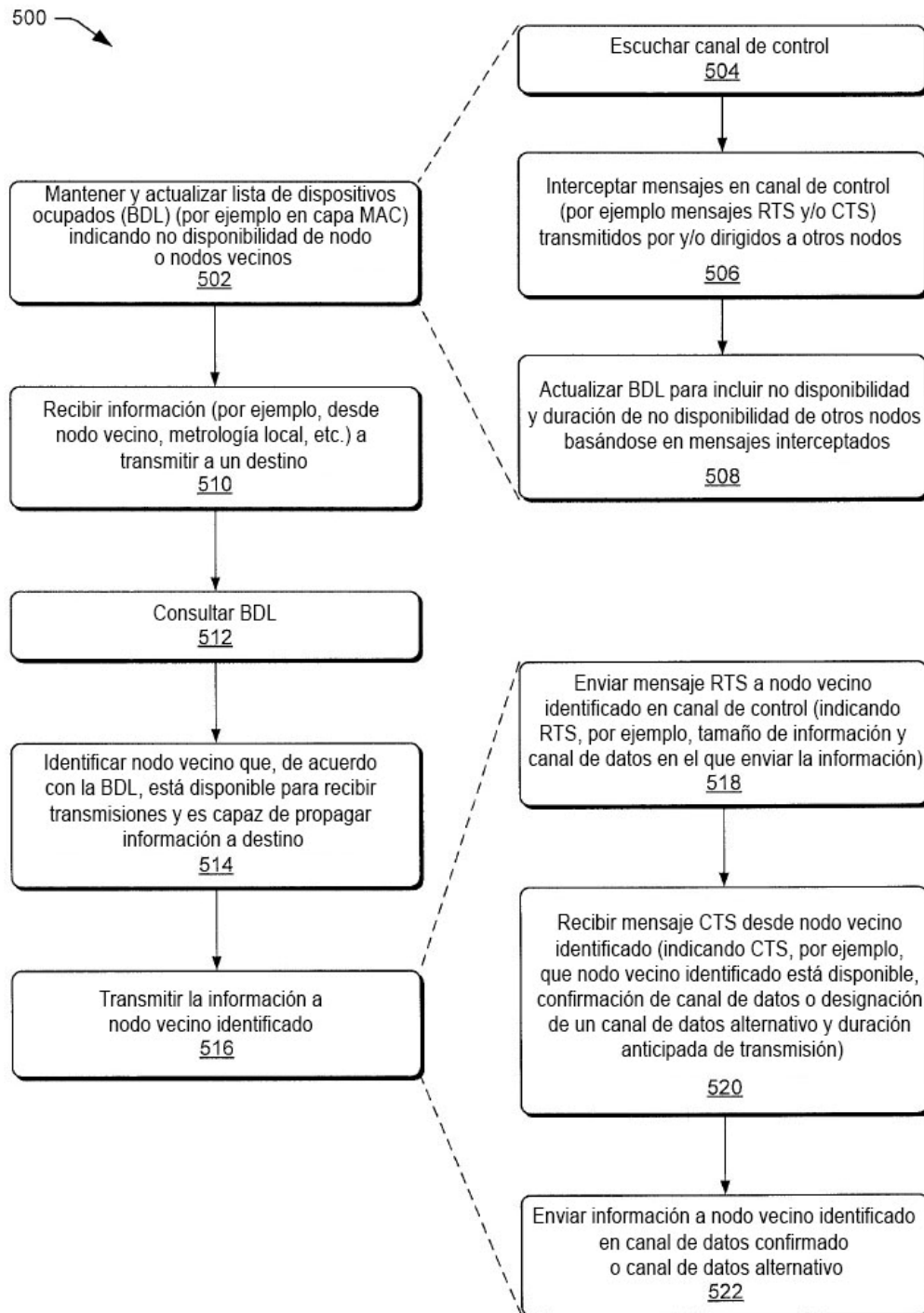


FIG. 5

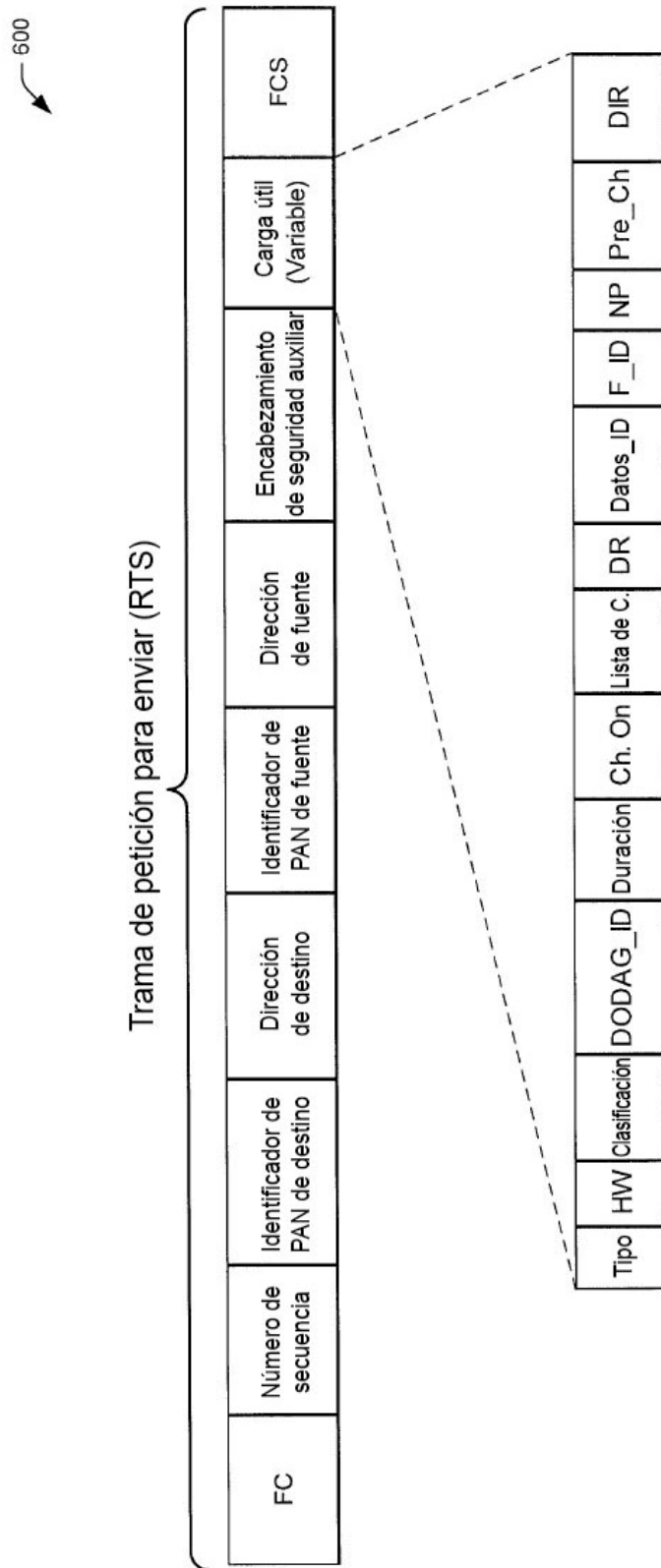


FIG. 6

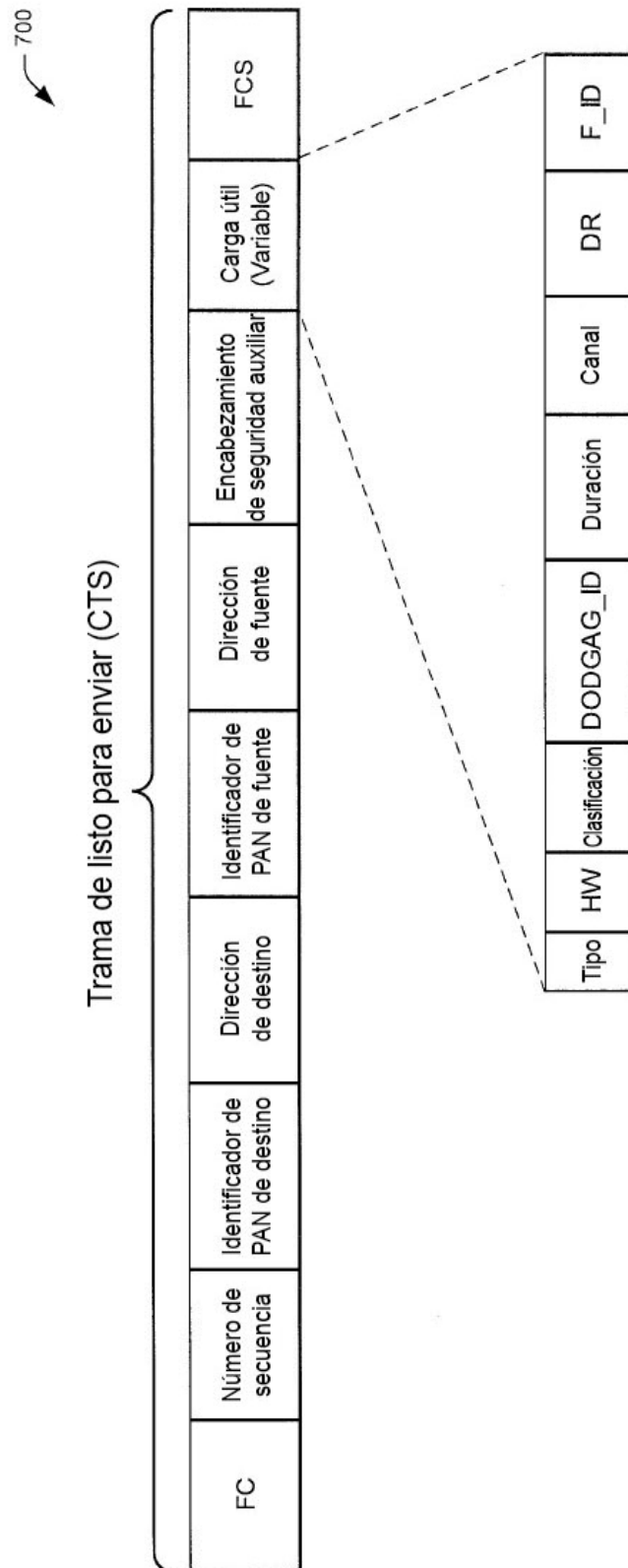


FIG. 7