

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 541 527**

51 Int. Cl.:

**H04W 40/00** (2009.01)

**H04L 12/701** (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.08.2012 E 12179445 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2015 EP 2699040**

54 Título: **Modulación múltiple multimedia y red mallada con múltiples tasas de datos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**21.07.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BUFFINGTON, JOHN y  
VAN WYK, HARTMAN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 541 527 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**

Modulación múltiple multimedia y red mallada con múltiples tasas de datos.

Antecedentes

5 Las redes de comunicación, por ejemplo las redes malladas, son utilizadas para conectar varios dispositivos diferentes. Por ejemplo, las redes malladas han sido empleadas en la industria de suministros básicos para conectar medidores de suministros básicos, relés celulares, transformadores, y/u otros nodos. Los nodos en la red mallada pueden típicamente recibir datos desde nodos vecinos y retransmitir o propagar mensajes a otros nodos vecinos.

10 En las redes por cable tradicionales pueden utilizarse métricas de enrutamiento que enrutan mensajes basándose en el menor número de saltos entre un origen y un destino. En una red mallada, sin embargo, una tasa de datos entre nodos puede variar sustancialmente de un enlace a otro. Esta variación en la tasa de datos puede ser debida, al menos en parte, al hecho de que las redes malladas a menudo contienen múltiples generaciones diferentes de nodos que tienen características y capacidades distintas. Por ejemplo, diferentes generaciones de nodos pueden emplear o tienen capacidad para emplear diferentes medios de comunicación, diferentes técnicas de modulación y operar a tasas de datos diferentes o variables. Esto puede ser particularmente cierto para redes malladas de suministros básicos en las que los nodos son puestos en servicio gradualmente a través del tiempo y se espera que permanezcan en servicio durante ciclos de vida relativamente largos (por ejemplo, 20 años o más). En general, las nuevas generaciones de nodos tienen capacidad para modulaciones adicionales y tasas de datos más altas que las generaciones de nodos más antiguas. Por tanto, cuando nuevas generaciones o varios modelos de nodos son desplegados con la red mallada, puede haber problemas de incompatibilidad que impiden que algunos nodos se comuniquen entre sí.

20 La publicación de solicitud de patente de Estados Unidos US 2006/0034233 describe un nodo conectado a otros nodos a través de enlaces que usan múltiples tecnologías de comunicación por radio y que evalúan la calidad del enlace en base a la retroalimentación obtenida de mensajes de enrutamiento.

Breve descripción de los dibujos

25 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 que aparece por primera vez el número de referencia. El uso de los mismos números de referencia en diferentes figuras indica elementos similares o idénticos.

FIG. 1, es un diagrama que muestra una vista de alto nivel de una red mallada que tiene nodos configurados con receptores de protocolo múltiple.

30 FIG. 2, es un diagrama esquemático que muestra detalles adicionales de un nodo de ejemplo de la red mallada de la FIG. 1.

FIG. 3 es un diagrama que muestra un ejemplo de una estructura de paquetes utilizable con algunos receptores de protocolo múltiple.

35 FIG. 4, es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de método para la determinación de una calidad de los enlaces entre nodos de la red mallada.

FIG. 5, es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de método de enrutamiento de las transmisiones en una red mallada de acuerdo con una calidad de los enlaces entre nodos de la red.

40 FIG. 6, es un diagrama esquemático que ilustra un ejemplo de estructura de trama de un mensaje de petición de envío que puede ser usado para indicar que un nodo tiene datos disponibles para enviar a otro nodo.

FIG. 7, es un diagrama esquemático de un ejemplo de estructura de trama de un mensaje "libre para el envío" que puede ser usado para indicar que un nodo está disponible para recibir datos.

FIG. 8, es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de método para la determinación de una degradación de un enlace durante la transmisión de datos operacionales.

45 Descripción detallada

Sumario

50 Las métricas de enrutamiento existentes no son muy adecuadas para enrutar comunicaciones en una red mallada heterogénea, en la que los nodos pueden utilizar diferentes tecnologías de comunicación, medios de transmisión, tasas de transmisión de datos, modulaciones y/o protocolos. Como se usa en este documento, un "enlace" se refiere a un camino de transmisión directa entre dos nodos de una red (es decir, una transmisión que no pasa a través de otro nodo). Tales transmisiones pueden hacerse mediante señales de radiofrecuencia (RF) y/o señales de

comunicación a través de cable eléctrico (PLC). Una tasa de datos a través de un enlace entre dos nodos depende al menos parcialmente de la distancia y de las características de propagación entre los dos nodos. Por otra parte, una tasa de datos máxima a través de un camino de enlaces puede estar limitada por las capacidades del nodo más lento asociado con el enlace.

5 Esta solicitud describe técnicas para enrutar de forma inteligente comunicaciones entre dos y/o más nodos de una red mallada heterogénea que incluye múltiples tecnologías de comunicación diferentes (por ejemplo, distintos medios de transmisión, técnicas de modulación, tasas de datos, protocolos, etc.). Aunque esta solicitud describe varios ejemplos y realizaciones en términos de una topología de red mallada, otras topologías de red, tales como en  
10 estrella, de "árbol grueso", etc., pueden también utilizar las tecnologías y realizaciones descritas en el presente documento. En un ejemplo, esta solicitud describe el uso de receptores de protocolo múltiple que aumentan la conectividad de los nodos, en parte, mediante la determinación de una calidad (por ejemplo, el factor de mérito (FOM)) de enlaces entre nodos que utilizan diferentes tecnologías de comunicación y el enrutamiento de comunicaciones basado al menos en parte en la calidad determinada de los enlaces.

15 Típicamente las métricas de enrutamiento convencionales tampoco tienen en cuenta el llamado "problema de destino perdido", en el que los nodos de destino pueden perder las transmisiones destinadas a ellos porque están ocupados comunicando con otro nodo. Cuando se emplea una métrica de enrutamiento convencional, un nodo que no recibe una respuesta de un nodo de destino previsto puede pensar que se ha producido una colisión y aumentar el tamaño de su ventana de contención (es decir, la cantidad de tiempo que el nodo esperará antes de intentar retransmitir el mensaje). Este aumento en el tiempo de espera puede causar un retraso innecesario e ineficiencia en  
20 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 la disponibilidad para uno o más nodos vecinos. Las comunicaciones pueden ser enrutadas basándose en parte en la información de disponibilidad de los nodos vecinos mantenidos en la lista de dispositivos ocupados.

25 Por lo tanto, en varias realizaciones descritas en esta solicitud, las transmisiones pueden ser enrutadas en una red mallada, o en redes que utilizan topologías distintas de una topología de malla, tales como una topología en estrella, que utilizan varios medios de transmisión, varias tecnologías de comunicación y varias tasas de datos, basándose en una o más métricas asociadas con la calidad del enlace (por ejemplo, un FOM), la disponibilidad de los nodos vecinos (por ejemplo, basada en una lista de dispositivos ocupados), o ambas. Consecuentemente, se mejora la  
30 conectividad entre los nodos en la red mallada, mejorando así el procesamiento. Adicionalmente, las técnicas de enrutamiento pueden llegar a ser más inclusivas, incorporando un mayor número de nodos dentro de una red mallada heterogénea.

Las técnicas de enrutamiento se describen en el presente documento en el ejemplo de contexto de una red mallada de suministros básicos que incluye una pluralidad de nodos que tienen receptores de protocolo múltiple. Los nodos  
35 de la red mallada de suministros básicos pueden incluir, por ejemplo, radios digitales de baja potencia, contadores de suministros básicos 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, enrutadores, servidores, relés (por ejemplo, relés celulares), interruptores, válvulas y otros dispositivos de red. Como tal, estos nodos pueden incluir nodos de redes de baja potencia y con pérdidas (LLN).  
40 Aunque las técnicas de enrutamiento se describen en el contexto de una red mallada de suministros básicos, las técnicas de enrutamiento pueden ser aplicables adicional o alternativamente a otras redes, topologías de red y/u otras aplicaciones. Así, en otras implementaciones, los nodos pueden incluir cualquier dispositivo acoplado a una red de comunicación y capaz de enviar y/o recibir datos.

A continuación se describen ejemplos de implementaciones y realizaciones. En una primera sección "Visión general de un receptor de protocolo múltiple", se habla de un ejemplo de receptor de un nodo que puede recibir y procesar múltiples tipos de tecnologías de comunicación. Una segunda sección, "Visión general de enrutamiento basado en la calidad de enlace", se trata sobre el enrutamiento de datos entre nodos. Otra sección, "Visión general de enrutamiento basado en la disponibilidad de nodo", trata sobre un ejemplo de método de incorporación de la disponibilidad de nodo con el enrutamiento. Una sección titulada "Ejemplo de Arquitectura", trata sobre un ejemplo  
50 de arquitectura de nodos en la red mallada. Una sección titulada "Ejemplo de nodo" trata sobre un ejemplo de arquitectura de un nodo utilizable para implementar la determinación de la calidad de enlace y técnicas de enrutamiento descritas en este documento. Varias secciones se ocupan de métodos de ejemplos. Una sección titulada "Ejemplo de método para determinar la calidad de enlace con múltiples tecnologías de comunicación", trata sobre un ejemplo de uso de un receptor de protocolo múltiple para determinar una calidad de los enlaces. Una  
55 sección titulada "Ejemplo de método de enrutamiento basado en la calidad de enlace", trata sobre un ejemplo de uso de la calidad de enlace y el enrutamiento. A continuación de la discusión de los ejemplos de procesos de enrutamiento, una sección que describe "Ejemplos de unidades de datos de protocolo (PDU)" muestra ejemplos de métodos de determinación de la calidad del enlace y métodos de enrutamiento. Una sección titulada "Ejemplo de método para determinar la degradación de un enlace operacional" trata sobre un método ilustrativo para determinar una degradación de un enlace durante la transmisión de datos operacionales. Por último, la solicitud termina con una  
60 breve "Conclusión". Esta vista general y las siguientes secciones, incluyendo los encabezados de sección, son

implementaciones y realizaciones meramente ilustrativas y no deberían ser interpretadas para limitar el alcance de las reivindicaciones.

#### Visión general de un receptor de protocolo múltiple

5 En un ejemplo de implementación, los nodos pueden utilizar un receptor de protocolo múltiple. El receptor de protocolo múltiple puede alternar entre los estados primero y segundo. En un primer estado, el receptor de protocolo múltiple capta una pluralidad de tecnologías de comunicación diferentes que puede incluir señales con diferentes modulaciones (por ejemplo, FSK, OFDM, OQPSK, CDMA, etc.), señales en diferentes medios de comunicación (por ejemplo, RF y PLC), señales asociadas a diferentes protocolos, señales asociadas a tasas de datos diferentes o variables, y similares. Tal captación puede ser realizada en modo paralelo, en el que una pluralidad de procesos de detección de preámbulo opera en un entorno multitarea, cada uno captando un preámbulo diferente a través de las diversas tecnologías de comunicación. La captación puede tener como resultado el reconocimiento y/o la detección de un preámbulo de un paquete por uno de los procesos de detección de preámbulo. Tal detección puede desencadenar la transición del receptor de protocolo múltiple al segundo estado. El preámbulo detectado puede indicar un protocolo utilizado en la transmisión del paquete. Un demodulador de paquete puede ser seleccionado en base al protocolo utilizado. El paquete recibido puede entonces ser demodulado de acuerdo con una tasa de datos, una sincronización, una corrección de error y/o otros factores indicados por el protocolo u otros datos en el paquete. El paquete demodulado y/o el preámbulo detectado también pueden proporcionar otra información, tal como una tecnología de comunicación de la señal recibida, tasas de datos disponibles, o similares. El paquete recibido puede ser utilizado por el nodo receptor, retransmitido o enrutado a un nodo vecino. El receptor de protocolo múltiple puede volver al primer estado para repetir y continuar el procedimiento.

En otro ejemplo, el receptor de protocolo múltiple capta una pluralidad de tecnologías de comunicación diferentes para determinar o medir la intensidad de las señales recibidas en los enlaces de nodos vecinos en una red mallada. El receptor de protocolo múltiple puede entonces clasificar las señales recibidas en función de su intensidad, o una medida de su intensidad relativa, y mantener una lista de las señales recibidas con clasificación superior. Como tal, esta lista clasificada puede proporcionar una primera medida de la calidad de los enlaces a nodos vecinos.

#### Vista general de enrutamiento basado en la calidad de enlace

En un ejemplo pueden ser determinadas métricas de calidad de enlaces entre nodos. Los enlaces pueden utilizar múltiples tecnologías de comunicación diferentes, y las comunicaciones (por ejemplo, paquetes) pueden ser enrutadas basándose al menos en parte en las métricas de calidad. En este ejemplo, un nodo que tiene un receptor de protocolo múltiple puede seleccionar una lista inicial de enlaces a nodos vecinos clasificados en base a la intensidad de señal recibida relativa (por ejemplo, un indicador de intensidad recibida (RSI)). El nodo puede entonces probar la lista inicial de enlaces comunicando a través de los enlaces utilizando las tasas de datos disponibles de las múltiples tecnologías de comunicación diferentes de los enlaces. Basándose al menos en parte en la comunicación, el nodo puede determinar entonces métricas de calidad refinadas para los enlaces asociados a las diversas tecnologías de comunicación y diversas tasas de datos. Para cada enlace probado, el nodo puede determinar una métrica de calidad refinada óptima (por ejemplo, el producto cruzado óptimo, factor de mérito (FOM), etc.) asociado a una tecnología de comunicación específica y una tasa de datos específica. El nodo puede entonces clasificar los enlaces en base a su métrica de calidad refinada óptima. El nodo puede después enrutar las comunicaciones mediante la selección de enlaces basándose en parte en su métrica de calidad refinada óptima asociada, y transmitir las comunicaciones a través de un enlace seleccionado utilizando la tecnología de comunicación específica asociada a la tasa de datos específica asociada a la métrica de calidad refinada óptima. En una realización, un nodo puede seleccionar múltiples enlaces, múltiples tecnologías de comunicación y/o múltiples tasas de datos basándose en sus métricas de calidad refinadas óptimas asociadas para comunicar los datos duplicados o redundantes considerados como de "alta prioridad" que deben ser suministrados.

En un ejemplo, el nodo puede cualificar los enlaces que tienen una métrica de calidad refinada por encima de un umbral predeterminado. El nodo puede entonces enrutar las comunicaciones a nodos vecinos con los que el nodo tiene un enlace cualificado. En otro ejemplo, el nodo puede utilizar un protocolo de enrutamiento para enrutar las comunicaciones a los nodos vecinos basándose en parte en la métrica de calidad refinada determinada de los enlaces entre el nodo y los nodos vecinos asociados a las diversas tecnologías de comunicación.

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 éste y todos sus nodos vecinos. Alternativamente, si el nodo tiene muchos nodos vecinos, el nodo puede determinar una calidad de enlace entre sí mismo y un subconjunto de sus nodos vecinos. El nodo puede continuar para determinar la calidad de los enlaces con sus nodos vecinos hasta que determine un número predeterminado de enlaces (por ejemplo 5, 10, 20, etc.) que sobrepasan un número umbral, asegurando así un número suficiente de buenos caminos de comunicación para el nodo.

En un ejemplo de implementación, para al menos una o más de las múltiples tecnologías de comunicación diferentes, el nodo puede probar un enlace enviando un mensaje de petición de envío (RTS) a un nodo vecino que comparte el enlace. El mensaje de petición de envío puede designar canales de comunicación y/o una o más tasas de datos para probar. En respuesta, el nodo puede recibir un mensaje de libre para envío (CTS) desde el nodo

vecino que indica que el nodo vecino está disponible para recibir transmisiones. El nodo puede entonces proceder a probar canales de comunicación y/o tasas de datos entre el nodo y el nodo vecino respectivo mediante el envío de paquetes de datos de prueba al nodo vecino. Al recibir los paquetes de datos de prueba, el nodo vecino puede enviar de vuelta los paquetes de datos de prueba de acuerdo con los canales de comunicación, tasas de datos especificadas u otros elementos de protocolo designados para la prueba. 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. En un ejemplo, los paquetes de datos de prueba pueden incluir paquetes de datos reales.

Al recibir de vuelta los paquetes de datos de prueba desde el nodo vecino, el nodo puede calcular una o más métricas de calidad entre el nodo y el nodo vecino. El nodo también puede enviar un paquete de confirmación incluyendo 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 del enlace entre el nodo y el nodo vecino respectivo.

En una implementación, el nodo puede determinar una tecnología de comunicación y una tasa de datos que optimice una métrica de calidad FOM de un enlace. El nodo puede entonces cualificar al enlace y añadir el enlace, la métrica de calidad FOM, la tecnología de la comunicación y la tasa de datos a una lista de datos FOM de los enlaces. Por ejemplo, un enlace puede ser cualificado para una tasa de datos que sea menor que una tasa de datos máxima de una tecnología de comunicación correspondiente si, por ejemplo, una tasa de datos mayor tiene como resultado una disminución inaceptable en la tasa de éxito de comunicación (por ejemplo, aumento de tasa de pérdida de paquetes, aumento en la tasa de error de bits, etc.). En algunos ejemplos, la lista de datos FOM de enlaces puede incluir una clasificación de los enlaces a nodos vecinos de acuerdo con la calidad relativa de los enlaces.

Varias métricas diferentes pueden ser usadas para calcular la calidad de enlace (por ejemplo, FOM) para una o más tasas de datos entre nodos basadas en una o más tecnologías de comunicación diferentes disponibles en un enlace. En un ejemplo específico, la calidad del enlace se puede calcular en base a un tiempo de transmisión esperado (ETT) de las comunicaciones a través de múltiples tecnologías de comunicación disponibles en el enlace. El ETT puede ser calculado con la siguiente ecuación:

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

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

$P$  es una tasa de pérdida en un enlace,

$Pf$  es una probabilidad de que un paquete de datos llegue con éxito al nodo vecino,

$Pr$  es una probabilidad de que una confirmación desde el nodo vecino sea recibida con éxito,

$S$  es el 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 dos nodos  $x$  e  $y$ ,  $Pf$  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  $x$ .  $Pr$  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  $y$  serán calculadas de la misma manera. La ecuación (1) es sólo un ejemplo de métrica de enrutamiento que puede ser utilizada para medir la calidad de enlace y en otros ejemplos pueden ser usadas varias métricas distintas para medir la calidad de enlace.

Si, después de recibir el RTS, el nodo vecino no está o no va a estar disponible para recibir comunicaciones (por ejemplo, el vecino ya tiene una comunicación programada previamente), entonces el nodo vecino puede enviar de vuelta un mensaje de "no libre para el envío" (NCTS). Si el nodo vecino está ocupado comunicando en otro canal, entonces el nodo vecino puede no recibir el RTS y, por tanto, no responderá. Si el nodo recibe un NCTS o no recibe ninguna respuesta, entonces el nodo puede esperar durante un período de tiempo y volver a intentarlo y/o puede intentar un nodo vecino diferente.

Vista general de enrutamiento basado en la disponibilidad de nodo

En otro ejemplo de implementación, puede ser mantenida para cada nodo una lista de dispositivos ocupados. La lista de dispositivos ocupados puede incluir información de disponibilidad para uno o más nodos vecinos, y enrutar las transmisiones basándose en la disponibilidad de los nodos vecinos. En este ejemplo, un nodo puede recibir alguna información (por ejemplo, los datos de consumo de recursos, un informe, una alerta, un mensaje de estado,

una actualización de software/firmware, etc.) que se va a transmitir a un destino. La información puede ser recibida desde un nodo vecino o desde un sistema o componente (por ejemplo, un sensor local o módulo de medición) 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 entonces identificar un nodo vecino que, de acuerdo con la lista de dispositivos ocupados, esté disponible para recibir transmisiones y sea capaz de propagar la información al destino. El nodo puede a continuación transmitir la información al nodo vecino identificado.

La lista de dispositivos ocupados es mantenida generalmente 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 otro lugar en la red (por ejemplo, un nodo padre, enrutador celular, relé, dispositivo de almacenamiento de red, o similares).

En un ejemplo, la lista de dispositivos ocupados puede ser generada, mantenida y actualizada basándose en la información de reserva contenida en los mensajes escuchados en un canal de control por parte del receptor de protocolo múltiple del nodo. La información de reserva puede identificar nodos que están (o estarán) ocupados y un tiempo durante el cual van a estar ocupados. Esta información de reserva puede ser incluida en una variedad de mensajes que incluyen, por ejemplo, mensajes de petición de envío (RTS) dirigidos a otros nodos de la red mallada, y/o mensajes de "libres para el envío" (CTS) dirigidos a otros nodos de la red mallada.

#### Ejemplo de arquitectura

La FIG. 1 es un diagrama esquemático de un ejemplo de arquitectura 100 de una red mallada multinodo que utiliza receptores de protocolo múltiple en la que las transmisiones pueden ser enrutadas de acuerdo con la calidad del enlace y/o la disponibilidad de los nodos. La arquitectura 100 incluye una pluralidad de nodos 102A, 102B, 102C ... 102N (denominados colectivamente como nodos 102) acoplados en comunicación entre sí a través de caminos o "enlaces" de comunicación directa. En este ejemplo, N representa un número de nodos en un área de enrutamiento autónomo (ARA), tal como una red de área amplia (WAN), red de área metropolitana (MAN), red de área local (LAN), red de área de vecindario (NAN), red de área de campo (FAN), red de área personal (PAN), o similares. Como ejemplo, los nodos 102 pueden estar configurados en una malla de RF, una malla de PLC, o ambos. En un ejemplo, los nodos 102 pueden ser parte de una red de baja potencia y con pérdidas (LLN).

El término "enlace" se refiere a un camino de comunicación directa entre dos nodos (por ejemplo, una transmisión de "un salto" que no pasa o se propaga por otro nodo). Cada enlace puede representar una pluralidad de canales o uno o más canales con tasa de datos variable en el que un nodo puede transmitir o recibir datos. Cada enlace puede incluir múltiples tecnologías de comunicación, tales como una o más tecnologías de comunicación RF, una o más tecnologías de comunicación PLC, o ambas.

Cada uno de los canales puede ser definido por un rango de frecuencia que sea el mismo o diferente para cada uno de los canales. En algunos casos, uno o más canales pueden comprender canales de RF comunicados utilizando tecnologías de comunicación RF. En otros casos, uno o más canales pueden usar un sistema de comunicación por cable eléctrico (PLC) comunicado usando una tecnología de comunicaciones PLC. Por tanto, un enlace puede incluir porciones basadas en múltiples medios de comunicación, tales como porciones RF y PLC. Asimismo, diversos enlaces pueden utilizar múltiples tecnologías de comunicación RF y/o PLC diferentes (por ejemplo, varias técnicas de modulación, anchos de banda, tasas de datos, frecuencias centrales, protocolos, etc.).

Los canales en un enlace pueden incluir un canal de control y múltiples canales de datos. En algunos casos, el canal de control es utilizado para comunicar uno o más mensajes entre los nodos para especificar uno de los canales de datos a ser utilizado para transferir datos. Generalmente, las transmisiones en el canal de control son más cortas que las transmisiones en los canales de datos. Una vez especificados, los nodos pueden pasar al canal de datos para la comunicación.

Cada uno de los nodos 102 puede ser implementado como, o asociado con, cualquiera de una variedad de dispositivos de cómputo convencionales, tales como, por ejemplo, medidores de suministros básicos 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, enrutadores, servidores, relés (por ejemplo, relés celulares), interruptores, transceptores de comunicaciones por cable eléctrico (PLC), 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 también están configurados para comunicarse con una o más instalaciones centrales de procesamiento 104 a través de un dispositivo periférico (por ejemplo, relé celular, enrutador celular, enrutador periférico, raíz de grafo acíclico dirigido orientado a destino (DODAG), etc.), que sirve como un punto de conexión del ARA a una(s) red(es) de retorno 106, tal como internet o una o más intranets públicas o privadas. En el ejemplo ilustrado, el nodo 102A puede servir como dispositivo periférico y/o relé celular para retransmitir comunicaciones desde los otros nodos 102B-102N del ARA hacia y desde la oficina central 104 a través de la(s) red(es) 106.

Como ejemplo, el nodo 102C puede ser representativo de cada uno de los nodos 102 e incluye una radio con múltiples receptores de protocolo 108, un transceptor PLC 110 y una unidad de procesamiento 112.

La radio con múltiples receptores de protocolo 108 comprende un transceptor de radiofrecuencia (RF) que puede ser configurado para recibir señales de RF asociadas con múltiples tecnologías de comunicación RF diferentes (por ejemplo, FSK, OQPSK, OFDM, CDMA, etc.) a varias tasas de datos y transmitir señales de RF a través de una o más de una pluralidad de tecnologías de comunicación RF. La radio con receptor de protocolo múltiple 108 puede ser configurada para la escucha para una pluralidad de tecnologías de comunicación RF diferentes en paralelo a través de múltiples enlaces. La radio 108 también puede estar configurada para determinar, o facilitar la determinación de, una intensidad de señal recibida, tal como un "indicador de señal recibida" (RSI) para una o más de la pluralidad de tecnologías de comunicación RF diferentes.

En algunas implementaciones, cada uno de los nodos 102 incluye una única radio con receptor de protocolo múltiple 108 configurado para enviar y recibir datos en múltiples canales diferentes, tales como el canal de control, y múltiples canales de datos de cada enlace de comunicación. La radio 108 también puede estar configurada para implementar una pluralidad de tasas de datos diferentes, protocolos, intensidades de señal, y/o niveles de potencia. La arquitectura 100 puede representar una red heterogénea de nodos, en la que los nodos 102 pueden incluir diferentes tipos de nodos (por ejemplo, contadores inteligentes, relés celulares, sensores, etc.), diferentes generaciones o modelos de nodos, y/o nodos que por lo demás son capaces de transmitir en diferentes canales y usar diferentes tecnologías de comunicación, tasas de datos, protocolos, intensidades de señal, y/o niveles de potencia.

El transceptor de la comunicación por cable eléctrico (PLC) 110 está configurado para transmitir y/o recibir una o más señales de comunicación en el cableado eléctrico, que incluye el cableado eléctrico local y cables de transmisión de alta tensión a larga distancia. El transceptor PLC 110 puede transmitir y/o recibir diferentes tipos de comunicaciones por cable eléctrico que incluyen una o más tecnologías de comunicación PLC (por ejemplo, PLC de banda estrecha, PLC de banda ancha, línea de abonado digital de cable eléctrico (PDSL), telecomunicaciones por cable eléctrico (PLT), la red de cable eléctrico (PLN), banda ancha a través de cables eléctricos (BPL), etc.) que tienen una o más bandas de frecuencia, canales, tasas de datos y/o tipos de modulación que pueden depender de las características de propagación del cableado eléctrico utilizado.

La unidad de procesamiento 112 está acoplada a la radio 108 y al transceptor PLC 110, y puede incluir uno o más procesador(es) 114 acoplados en comunicación a la memoria 116. La memoria 116 puede estar configurada para almacenar uno o más módulos de software y/o firmware, que son ejecutables en el(los) procesador(es) 114 para implementar varias funciones. Aunque los módulos han sido descritos en el presente documento como software y/o firmware ejecutable en un procesador, en otras realizaciones, cualquiera o todos los módulos pueden ser implementados en su totalidad o en parte por hardware (por ejemplo, como un ASIC, una unidad de procesamiento especializado, un procesador de señal digital, etc.) para ejecutar las funciones descritas.

En la realización de la FIG. 1, la memoria 116 incluye un módulo de receptor de protocolo múltiple 118, un módulo de determinación del factor de mérito (FOM) 120, un módulo de lista de dispositivos ocupados 122 y un módulo de enrutamiento 124.

El módulo de receptor de protocolo múltiple 118 puede estar configurado para recibir, decodificar, demodular, descifrar, descifrar, medir y/o procesar señales y/o datos recibidos desde la radio 108 y el transceptor PLC 110. El módulo de receptor de protocolo múltiple 118 también puede estar configurado para controlar diversas características y funciones de la radio 108 y el transceptor PLC 110. En una implementación, el módulo de receptor de protocolo múltiple 118 puede determinar o detectar, o facilitar la determinación o la detección de, un RSI de señales recibidas por la radio 108 y el transceptor PLC 110. El módulo de receptor de protocolo múltiple 118 puede también estar configurado para mantener una lista de valores RSI asociados con las tecnologías de comunicaciones utilizadas en varios enlaces a los nodos vecinos 102.

El módulo de determinación del FOM 120 puede estar configurado para determinar y mantener una medición (por ejemplo, el factor de mérito (FOM)) de una calidad de los enlaces de RF y PLC entre los nodos 102. Como ejemplo, el módulo de determinación del FOM 120 puede estar configurado para enviar y recibir datos a través de enlaces especificados (por ejemplo, enlaces con el máximo RSI medido) utilizando combinaciones disponibles de tasas de datos, medios de comunicación (por ejemplo, RF o PLC) y tecnología de comunicación (por ejemplo, modulación) para cada enlace especificado. El módulo de determinación del FOM 120 puede estar configurado para determinar una combinación óptima de tasa de datos, medios de comunicación y tecnología de comunicación para cada enlace especificado basándose en un producto cruzado de éxito (por ejemplo, tasa de éxito de comunicaciones) y tasa de datos para cada una de las combinaciones disponibles. Además, como se ilustra en FIG. 1, el módulo de determinación del FOM 120 puede cualificar los enlaces (es decir, un enlace cualificado) que tiene una medida FOM que está por encima de un umbral prefijado y enlaces no cualificados (es decir, un enlace no cualificado) que tiene una medida FOM que está por debajo de un umbral prefijado. Así, los nodos que tienen enlaces cualificados pueden ser determinados como nodos vecinos del nodo 102C.

5 Como ejemplo, si un enlace tiene una tecnología de comunicación RF con tasa de datos alta con una tasa de éxito de comunicación baja, y una tecnología de comunicación PLC con tasa de datos baja con una tasa de éxito de comunicación alta, el módulo de determinación del FOM 120 puede determinar que la tecnología de la comunicación PLC tiene un FOM más alto que la tecnología de comunicación RF con tasa de datos alta. Por tanto, el módulo de determinación del FOM 120 puede asociar el FOM, la tasa de datos, y la tecnología de comunicación PLC que tienen una combinación máxima de tasa de éxito y tasa de datos con el enlace. Por tanto, el módulo de determinación del FOM 120 puede valorar enlaces con una mayor combinación de tasa de éxito y mejor tasa de datos (por ejemplo, un FOM mayor) que enlaces con una combinación inferior de tasa de éxito y la tasa de datos (por ejemplo, un FOM menor). En consecuencia, el módulo de determinación del FOM 120 puede no valorar los enlaces exclusivamente por su tasa de éxito o solo por su tasa de datos, sino por una combinación (por ejemplo, el producto cruzado) de su tasa de éxito de comunicación y la tasa de datos. Además, el módulo de determinación del FOM 120 puede estar configurado para evaluar estas combinaciones para múltiples tecnologías de comunicación disponibles (por ejemplo, RF y PLC) de enlaces asociados para determinar una combinación óptima a través de las múltiples tecnologías de comunicación disponibles de un enlace.

15 El módulo de lista de dispositivos ocupados 122 puede ser configurado para determinar la disponibilidad de los nodos 102 y mantener una lista de los nodos que están (o estarán) ocupados y un tiempo durante el que estarán ocupados. En el ejemplo ilustrado de la FIG. 1, el módulo de lista de dispositivos ocupados 122 indicaría que el nodo 102B está ocupado transmitiendo datos al nodo 102A y, por tanto, no está disponible para recibir transmisiones desde el nodo 102C.

20 El módulo de enrutamiento 124 está configurado para implementar y/o facilitar un protocolo de enrutamiento para enrutar las transmisiones entre dos y/o más nodos 102 del ARA que utilizan las tecnologías de comunicación disponibles (por ejemplo, RF y PLC) basándose en una calidad (por ejemplo, FOM) de enlaces entre los nodos 102, la disponibilidad de los nodos 102 determinada por el módulo de lista de dispositivos ocupados 122, y/o uno o más de otros factores. Como tal, el módulo de enrutamiento 124 está configurado para implementar y/o facilitar un protocolo de enrutamiento que sea agnóstico respecto a la tecnología de comunicación que se utiliza cuando se enrutan los datos entre los nodos 102. En una realización, el módulo de enrutamiento 124 está configurado para enrutar transmisiones, tales como transmisiones consideradas de "alta prioridad", de forma duplicada o redundante. A modo de ejemplo, el módulo de enrutamiento 124 puede enrutar transmisiones de "alta prioridad" de una forma duplicada, de tal manera que una transmisión de "alta prioridad" puede ser enrutada simultáneamente usando múltiples tecnologías de comunicación (por ejemplo, RF y PLC), múltiples enlaces, o similares. Los detalles adicionales sobre cómo el módulo de enrutamiento 124 puede enrutar las comunicaciones basándose en estos y otros factores se dan a continuación.

35 La memoria 116 puede comprender medios legibles por ordenador y puede adoptar la forma de memoria volátil, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM) y/o una memoria no volátil, tal como una memoria de sólo lectura (ROM) o RAM flash. Los medios legibles por ordenador incluyen medios volátiles y no volátiles, extraíbles y no extraíbles implementados en cualquier método o tecnología para el almacenamiento de información, tal como instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa, u otros datos para su ejecución por uno o más procesadores de un dispositivo de computación. Ejemplos de medios legibles por ordenador incluyen, pero no se limitan a, memoria de cambio de fase (PRAM), memoria estática de acceso aleatorio (SRAM), memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM), otros tipos de memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), memoria de sólo lectura programable y borrable eléctricamente (EEPROM), memoria flash u otra tecnología de memoria, memoria de solo lectura de disco compacto (CD-ROM), disco versátil digital (DVD) u otro almacenamiento óptico, casetes magnéticos, cinta magnética, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio de no transmisión que pueda ser utilizado para almacenar información para el acceso por un dispositivo de computación. Tal como se define en el presente documento, los medios legibles por ordenador no incluyen medios de comunicación, tales como señales de datos moduladas y ondas portadoras.

50 La(s) red(es) 106 representan una red de retorno, que puede a su vez comprender una red inalámbrica o una red por cable, 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 sola red de gran tamaño (por ejemplo, la Internet y/o una o más intranets). Además, las redes individuales pueden ser redes inalámbricas o por cable, o una combinación de las mismas.

55 La oficina central 104 puede ser implementada por uno o más dispositivos de computación, tales como servidores, ordenadores personales, ordenadores portátiles, etc. El uno o más dispositivos de computación pueden estar equipados con uno o más procesador(es) acoplados en comunicación a la memoria. En algunos ejemplos, la oficina central 104 incluye un sistema de gestión de datos de contador centralizado que realiza el procesamiento, análisis, almacenamiento, y/o la gestión de los 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 de un contador de suministros básicos inteligente, sensor, dispositivo de control, enrutador, regulador, servidor, relé, interruptor, válvula, y/o otros nodos. Aunque el ejemplo de la FIG. 1 ilustra la oficina central 104 en una sola localización, en algunos ejemplos la

oficina central puede estar distribuida entre múltiples localizaciones y/o puede ser eliminada por completo (por ejemplo, en el caso de una plataforma de computación distribuida altamente descentralizada).

Ejemplo de nodo

5 La FIG. 2 es un diagrama esquemático de un ejemplo de entorno 200 que muestra detalles adicionales del ejemplo de nodo 102C de la FIG. 1. La radio 108, el transceptor PLC 110, el(los) procesador(es) 114 y la memoria 116 están acoplados entre sí a través de un bus u otro mecanismo de acoplamiento 202. El mecanismo de acoplamiento 202 puede comprender conexiones por cable directas y/o indirectas (por ejemplo, cable, cable coaxial, fibra óptica, etc.) o inalámbricas, una red por cable o inalámbrica, uno o más buses de comunicación, o combinaciones de los mismos. La radio 108 puede tener antena(s) 204 para recibir y/o transmitir señales de RF, por ejemplo, entre nodos 10  
10 vecinos 102A, 102B y 102N. La(s) antena(s) 204 pueden incluir una o más antenas direccionales u omnidireccionales adecuadas para recibir/transmitir las señales que emplean las diversas tecnologías de comunicación RF utilizadas en los enlaces entre los nodos 102.

15 El extremo frontal de RF 206 puede incluir componentes analógicos de alta frecuencia y/o de hardware que proporcionan funcionalidad, tales como señales de sintonización y/o atenuación proporcionadas por la(s) antena(s) 204 y obtenidas desde uno o más de los nodos 102. Como ejemplo, el extremo frontal de RF 206 y la(s) antena(s) 204 pueden estar configurados para recibir, en paralelo, señales de RF de las tecnologías de comunicación de RF utilizadas por los nodos 102. El extremo frontal de RF 206 puede ser configurado para proporcionar señales recibidas a uno o más procesadore(s) de señal 208. Asimismo, el(los) procesador(es) de señal 208 pueden estar configurado para proporcionar señales al extremo frontal de RF 206 para la transmisión.

20 El(los) procesador(es) de señal 208 puede estar configurados para detectar y/o procesar, en paralelo o de manera efectiva en paralelo, las señales recibidas de una pluralidad de tecnologías de comunicación RF utilizadas por los nodos 102 u otros dispositivos de red. En un ejemplo, el(los) procesador(es) de señal 208 pueden estar configurados para proporcionar frecuencia, ancho de banda, sincronización y/o la funcionalidad de selección de canal a la radio 108. Por ejemplo, el(los) procesador(es) de señal 208 pueden incluir procesadores de señales digitales, mezcladores, filtros, amplificadores, moduladores, demoduladores, detectores, etc., implementados en hardware y/o  
25 ejecutados en software por un procesador o circuito integrado específico de aplicación (ASIC) u otro(s) dispositivo(s) de computación embebidos. El(los) procesador(es) de señal 208 pueden estar configurados para utilizar el(los) procesador(es) 114 y el software definido o almacenado en la memoria 116. El (los) procesador(es) de señal 208 puede ser implementados al menos en parte usando componentes analógicos, digitales o una combinación de ellos.

30 Como ejemplo, el(los) procesador(es) de señal 208 pueden detectar una o más señales de una o más tecnologías de comunicación RF en los enlaces del nodo 102C, y medir, o facilitar la medición de, una intensidad de señal recibida, tal como un "indicador de señal recibida" (RSI), de cada señal recibida. En una implementación, el(los) procesador(es) de señal 208 pueden estar configurados para discriminar entre señales recibidas de la misma, similares o diferentes tecnologías de comunicación RF en función de su RSI. En una implementación, el(los) procesador(es) de señal 208 puede estar configurados para seleccionar una señal de una tecnología de comunicación RF basándose en, o indicada por, el RSI de la señal con respecto a una o más señales recibidas, o basándose en el RSI de la propia señal recibida. El(los) procesador(es) de señal 208 pueden detectar una señal de una tecnología de comunicación RF correspondiente y pueden configurarse para optimizar la recepción de la señal detectada de la correspondiente tecnología de comunicación RF. Para facilitar el bloqueo en una señal recibida,  
35 el(los) procesador(es) de señal 208 pueden ajustar un ancho de banda, ganancia, atenuación, frecuencia y fase de un oscilador, frecuencia y fase de un reloj, o similares. El(los) procesador(es) de señal 208 puede estar configurados para proporcionar una señal de frecuencia intermedia (IF), señal en banda base y/o señal digital asociada con la señal recibida al software definido o almacenado en la memoria 116. Del mismo modo, el(los) procesador(es) de señal 208 pueden estar configurados para proporcionar una señal de frecuencia intermedia (IF), señal en banda base y/o señal digital al extremo frontal de RF 206 para la transmisión a, por ejemplo, uno o más de los nodos 102.

40 En una implementación, el(los) procesador(es) de señal 208 puede estar configurado(s) para determinar y proporcionar un valor de RSI para cada una de una o más señales recibidas al software definido o almacenado en la memoria 116. Además, el(los) procesador(es) de señal 208 pueden estar configurados para determinar y proporcionar una indicación de la tecnología de comunicación RF de cada señal recibida al software definido o almacenado en la memoria 116. Como tal, el(los) procesador(es) de señal 208 pueden estar configurados para proporcionar la funcionalidad de radio definida por el software.

45 El transceptor PLC 110 puede utilizar la interfaz PLC 210 para proporcionar conexión a un sistema de comunicación por cable eléctrico. Un sistema de comunicación por cable eléctrico puede permitir al nodo 102C comunicarse, por ejemplo, con otros nodos vecinos que compartan conectividad con el sistema de comunicación por cable eléctrico. El transceptor PLC 110 puede utilizar el(los) procesador(es) 114 y el software definido o almacenado en la memoria 116 para facilitar la comunicación a través del sistema de comunicación por cable eléctrico vía la interfaz de PLC 210. En una implementación, el transceptor PLC 110 puede estar configurado para proporcionar la señal recibida, una señal de frecuencia intermedia (IF), una señal en banda base y/o una señal digital asociada a la señal recibida a través del sistema de comunicación de cable eléctrico al software definido o almacenado en la memoria 116. Del

mismo modo, el transceptor PLC 110 puede estar configurado para proporcionar una señal a la interfaz PLC 210 para la transmisión a través del sistema de comunicación por cable eléctrico.

En un ejemplo, el transceptor PLC 110 puede estar configurado para determinar, o facilitar una detección de, un RSI de una señal recibida a través del sistema de comunicación por cable eléctrico. El transceptor PLC 110 puede proporcionar el valor RSI, o un indicador de un valor RSI, al software definido o almacenado en la memoria 116. En una realización, el transceptor PLC 110 puede estar configurado para proporcionar una indicación de la tecnología de la comunicación PLC de la señal recibida al software definido o almacenado en la memoria 116.

El módulo de receptor de protocolo múltiple 118 puede residir todo o en parte, en la memoria 116 e incluir el receptor definido por software (SW) 212, procesos de detección de preámbulo 214, demodulador de paquete 216, módulo de gestión de protocolo 218, máquina de estado 220 y el módulo de determinación de enlaces iniciales 222.

En una realización, el receptor definido por SW 212 puede ser implementado por software almacenado en la memoria 116. En una realización alternativa, el receptor definido por SW 212 puede ser implementado por software almacenado en la memoria 116, así como por hardware (no mostrado) tal como uno o más procesadores de señales digitales, hardware analógico, hardware digital, o combinaciones de los mismos. En una implementación, el receptor definido por SW 212 puede incluir componentes, por lo demás implementados usando componentes analógicos (por ejemplo, mezcladores, filtros, amplificadores, moduladores y/o demoduladores, detectores, etc.), implementados en el software ejecutado por un procesador o circuito integrado específico de aplicación (ASIC) u otro(s) dispositivo(s) de computación embebidos.

El receptor definido por SW 212 puede estar configurado para comunicarse con la radio 108 y el transceptor PLC 110, por ejemplo a través de la interfaz 202. El receptor definido por SW 212 puede utilizar procesador(es) 114 y el software definido o almacenado en la memoria 116. En una implementación, el receptor definido por software 212 puede funcionar en conjunción con el(los) procesador(es) de señal 208, así como un extremo frontal de RF 206, para facilitar la medición, detección, selección, identificación, demodulación, sincronización, decodificación, la descifrado, el descifrado y/o el procesamiento de una o más señales recibidas por la radio 108. Además, el receptor definido por software 212 puede facilitar o controlar la configuración del(de los) procesador(es) de señal 208, así como proporcionar un control para el extremo frontal de RF 206. El receptor definido por software 212 puede trabajar en conjunción con la radio 108 para determinar una tecnología de comunicación RF asociada de las señales recibidas por la radio 108, así como un RSI, un RSI efectivo y/o un RSI normalizado de las señales recibidas. El receptor definido por software 212 puede trabajar en conjunto con la radio 108 para facilitar la selección de una señal cuando la radio 108 recibe más de una señal.

El receptor definido por software 212 también puede estar configurado para trabajar en conjunción con el transceptor PLC 110 para facilitar la detección, selección, identificación, demodulación, sincronización, decodificación, descifrado, descifrado y/o el procesamiento de una señal recibida por el transceptor PLC 110. En un ejemplo el receptor definido por software 212 puede procesar, determinar o conocer a priori una tecnología de comunicación PLC de una señal recibida por el transceptor PLC 110. Adicionalmente, el receptor definido por software 212 puede estar configurado para determinar un RSI, un RSI efectivo y/o un RSI normalizado de una señal recibida por el transceptor PLC 110 basándose en la intensidad de la señal recibida y la tecnología de comunicación.

En un ejemplo, el receptor definido por software 212 puede estar configurado para seleccionar, o facilitar la selección de, una o más señales entre una o más señales de RF recibidas y una o más señales PLC recibidas en base a la intensidad de la señal u otros criterios de calidad de la señal.

Una pluralidad de procesos de detección de preámbulo 214 pueden estar configurados para su funcionamiento simultáneo, es decir en paralelo, por ejemplo en un entorno multitarea. Cada uno de la pluralidad de procesos de detección de preámbulo 214 puede estar configurado para detectar y/o reconocer una cabecera de sincronización particular y/o preámbulo de una señal modulada de forma particular y/o paquete. Con referencia al ejemplo de la FIG. 3, que ilustra un ejemplo de un paquete de datos recibido por el receptor definido por SW 212, cada uno de la pluralidad de procesos de detección de preámbulo 214 puede estar configurado para detectar o reconocer el preámbulo 306 en el paquete 300. Del mismo modo, cada uno de la pluralidad de procesos de detección de preámbulo 214 puede estar configurado para detectar la cabecera de sincronización 302, por ejemplo mediante la detección o el reconocimiento del preámbulo 306 y/o la palabra de sincronización 308. Tal detección o reconocimiento puede facilitar el acceso a los datos 304 del paquete 300.

Por consiguiente, cada uno de la pluralidad de procesos de detección de preámbulo 214 puede estar configurado para reconocer un preámbulo particular asociado con un paquete particular. Por tanto, la detección y/o reconocimiento por uno de la pluralidad de procesos de detección de preámbulo 214 de un preámbulo particular tiene como resultado una determinación o reconocimiento de un protocolo particular que fue utilizado para modular un paquete asociado con el preámbulo detectado. Esta asociación entre un preámbulo reconocido y un protocolo utilizado para modular el paquete que tiene el preámbulo reconocido, se puede hacer en cualquiera de diversas maneras. En un ejemplo, los preámbulos pueden estar vinculados a protocolos en una estructura de datos. En un segundo ejemplo, cada proceso de detección de preámbulo 214 puede apuntar a un demodulador de paquetes apropiado 216 de entre una pluralidad de demoduladores de paquetes, en el que cada demodulador de paquete está

asociado a uno de una pluralidad de protocolos. En consecuencia, la detección de un preámbulo por uno de la pluralidad de procesos de detección de preámbulo tiene como resultado el conocimiento de un protocolo y de un demodulador 216 de paquetes apropiado asociado con el protocolo para el uso en la demodulación del paquete de una señal recibida. Tal detección puede ser realizada a través de las tecnologías de RF y las tecnologías de comunicación PLC utilizadas por los nodos 102.

Una pluralidad de demoduladores de paquetes o procesos de demodulación de paquetes 216 puede estar configurada para un funcionamiento en serie o en paralelo. En un ejemplo, cada uno de la pluralidad de demoduladores de paquetes 216 está asociado con uno de la pluralidad de procesos de detección de preámbulo 214. En funcionamiento, la detección con éxito de un preámbulo mediante un proceso de detección de preámbulo tiene como resultado la ejecución de un demodulador de paquetes asociado con aquel proceso de detección de preámbulo. Por tanto, una vez que es reconocido un protocolo, es seleccionado y ejecutado un demodulador 216 de paquetes asociado con el protocolo reconocido. La ejecución del demodulador 216 de paquetes demodula el paquete y/o los datos 304 de acuerdo con el protocolo asociado al demodulador. Por tanto, el demodulador de paquetes 216 demodula los datos (por ejemplo, los datos 304) dentro del paquete asociado con el preámbulo detectado utilizando una tasa de bits, sincronización, redundancia de la corrección de error, etc., asociados al protocolo. Además, el demodulador de paquetes 216 puede configurar y/o dirigir la operación del receptor definido por software 212.

Un módulo de gestión de protocolo 218 puede estar configurado para gestionar el funcionamiento de los procesos de detección de preámbulo 214, los demoduladores de paquetes 216, el receptor definido por software 212 y otras estructuras, objetos y dispositivos de software, como se indica por una aplicación o diseño particular. En un ejemplo, el módulo de gestión de protocolo 218 puede utilizar una máquina de estado 220 u otra construcción lógica para ayudar en la gestión de la detección de preámbulo, el reconocimiento de protocolo, la selección del demodulador de paquetes y la demodulación de paquetes. Alternativamente, un control de lógica diferente puede ser utilizado para obtener resultados similares.

La máquina de estado 220 puede ser definida para ayudar en la gestión de la operación del módulo de receptor de protocolo múltiple 118. La máquina de estado 220 es representativa de cualquiera de una serie de dispositivos lógicos, construcciones o técnicas utilizadas para gestionar el control y el funcionamiento de un proceso y para llamar de ese modo a uno o más procesos o módulos en una secuencia deseada y de acuerdo con una temporización deseada. Como ejemplo inicial, la máquina de estado 220 puede utilizar dos o más estados y permitir el movimiento entre los estados. Ejemplos de estado incluyen: (1) captar simultáneamente las señales recibidas por la radio 108 y/o el transceptor PLC 110 que indican un paquete, (2) detectar un preámbulo asociado con el paquete (3), determinar un protocolo indicado por el preámbulo, y (4) demodular el paquete recibido de acuerdo con el protocolo. Cada iteración de los cuatro estados anteriores podría ser realizada secuencialmente, y la finalización de los cuatro estados o el fracaso de cualquier estado podría tener como resultado el retorno al primer estado.

El módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede periódicamente, o no periódicamente, recopilar y mantener la información relativa a la intensidad de la señal recibida actual (por ejemplo, RSI) a través de los enlaces de un nodo de 102, como por ejemplo el nodo 102C. Como tal, el módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede estar configurado para facilitar el descubrimiento de nodos 102, tales como nodos vecinos del nodo 102C. Como ejemplo, el módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede obtener, determinar, procesar y/o mantener la información RSI para los enlaces asociados con el nodo 102C en una lista. El módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede obtener información RSI asociada con los enlaces del nodo 102C durante una operación en tiempo real del nodo 102C, mientras que el nodo 102C está en un modo de escucha, en respuesta a una o más peticiones desde el nodo 102C, en respuesta a una o más peticiones externas para nodos vecinos del nodo 102C para transmitir a través de sus enlaces asociados, o combinaciones de los mismos.

El módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede estar configurado para asociar y mantener uno o más valores RSI de un enlace con la(s) tecnología(s) de comunicaciones correspondiente del enlace, medio(s) de comunicación y/o protocolo(s). Además de mantener un valor RSI que indica un nivel de energía recibida detectada o de potencia recibida de una señal recibida, el módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede estar configurado para determinar un valor RSI de una señal recibida como valor RSI efectivo o normalizado como función de un medio de comunicación y/o tecnología de comunicación de la señal recibido en un enlace. Como ejemplo, el módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede determinar los valores RSI efectivos o normalizados que permiten la comparación de una intensidad de señal recibida de una señal que tiene modulación FSK (es decir, modulación por desplazamiento de frecuencia) a una señal recibida modulada utilizando, por ejemplo, QAM (modulación de amplitud en cuadratura) y que tiene codificación OFDM (multiplexación por división de frecuencia ortogonal). El módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede acceder a la información (por ejemplo, tablas de conversión, tablas de fórmulas, etc.) de la memoria de datos de enlaces iniciales 224 necesarios para la determinación de los valores RSI efectivos o normalizados.

El módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede estar configurado para clasificar los enlaces a los nodos vecinos de nodo 102C en base a sus valores RSI asociados, valores RSI efectivos y/o valores RSI normalizados. El módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede estar configurado para seleccionar un número de enlaces asociado con nodos vecinos que tienen un valor RSI con la clasificación máxima. El número de enlaces

- seleccionados puede ser predeterminado, puede ser un porcentaje del total de enlaces detectados, puede estar basado en los propios valores RSI (por ejemplo, los valores RSI por encima de un umbral predeterminado, la intensidad relativa de los valores RSI, etc.), o combinaciones de los mismos. A modo de ejemplo, el módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede seleccionar los 10-20 primeros nodos vecinos (por ejemplo, una lista corta de nodos vecinos) que tienen enlaces con los valores RSI mejor clasificados. El módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede almacenar información asociada con los enlaces mejor clasificados, como designadores de enlace, valores RSI correspondientes a los designadores de enlace, medios de comunicación y tecnologías de comunicación asociados con los valores RSI correspondientes a los designadores de enlace, etc.- en la memoria de datos de enlaces iniciales 224.
- En un ejemplo, el transmisor definido por SW 226 puede estar configurado para facilitar la transmisión de un paquete, otros datos o una señal a través de la radio 108 o el transceptor PLC 110. El transmisor definido por SW 226 puede transmitir el paquete, datos o señal usando una tecnología de comunicación configurable o prefijada. El transmisor definido por SW 226 puede estar configurado para controlar varios aspectos de la radio 108 y el transceptor PLC 110 para facilitar la transmisión de datos utilizando varias tecnologías de comunicación RF y PLC diferentes. Como ejemplo, el transmisor definido por SW 226 puede estar configurado para facilitar la transmisión de un paquete, otros datos o señal de forma duplicada o redundante de una manera simultánea, o casi simultánea a través de la radio 108 y el transceptor PLC 110. El transmisor definido por SW 226 puede estar configurado para facilitar la transmisión de un paquete, otros datos o señal de forma duplicada o redundante de una manera simultánea, o casi simultánea utilizando diferentes tecnologías de comunicación a través de los mismos o diferentes enlaces.
- El módulo de determinación del FOM 120 puede estar configurado para determinar y mantener una medición (por ejemplo, el factor de mérito (FOM)) de una calidad de los enlaces de RF y PLC entre los nodos 102, tales como enlaces a los nodos vecinos del nodo 102C. A modo de ejemplo, el módulo de determinación del FOM 120 puede probar enlaces indicados por el módulo de determinación de enlaces iniciales 222 como que tienen un valor RSI clasificado entre los mejores. Al centrarse en estos enlaces especificados, el módulo de determinación del FOM 120 puede ahorrar tiempo y recursos con respecto a la prueba de un mayor número de enlaces, que incluyen enlaces que tienen valores RSI más bajos.
- En un ejemplo, el módulo de determinación del FOM 120 puede probar enlaces especificados enviando datos a través de los enlaces especificados y midiendo los datos devueltos en respuesta. Puesto que los enlaces especificados pueden ser clasificados o estar asociados con valores RSI clasificados entre los mejores, se puede pensar que el valor RSI asociado con cada enlace es como una medición inicial de calidad. Así, probando los enlaces especificados, el módulo de determinación del FOM 120 puede refinar una métrica de calidad asociada con cada enlace especificado para obtener una medición mejor o refinada (por ejemplo más precisa, de más confianza, de varianza reducida, etc.) de la calidad de los enlaces especificados.
- En otro ejemplo, el módulo de determinación del FOM 120 puede probar los enlaces especificados enviando y recibiendo datos que usan combinaciones de tasa(s) de datos disponibles, canales disponibles, medios de comunicación disponibles (por ejemplo, RF y PLC) y tecnologías de comunicación disponibles (por ejemplo, esquemas de modulación ) para cada enlace especificado. Como ejemplo, el módulo de determinación del FOM 120 puede averiguar (por ejemplo, a priori, a través de consulta, a través de datos extraídos de una comunicación, a través de una tabla de consulta, etc.) que un nodo en un enlace especificado soporta dos tecnologías de comunicación RF (por ejemplo, dos esquemas de modulación diferentes, dos esquemas de modulación que operan en diferentes anchos de banda, etc.) y una tecnología de comunicación PLC. El módulo de determinación del FOM 120 puede entonces probar tanto las tecnologías de comunicación RF como la tecnología de comunicación PLC con las tasas de datos disponibles para determinar una combinación óptima de tasa de datos y tecnología de comunicación para el enlace. El módulo de determinación del FOM 120 puede entonces asociar un valor FOM o métrica a la combinación óptima, y almacenar el valor FOM óptimo o métrica, la tasa de datos y la tecnología de comunicación en los datos FOM 228 de los enlaces.
- En una realización alternativa, el módulo de determinación del FOM 120 puede limitar la prueba de un enlace a la tecnología de comunicación indicada por el módulo de determinación de enlaces iniciales 222 que tenga un valor RSI clasificado entre los mejores. Como ejemplo, un nodo en el otro extremo de un enlace especificado puede soportar una tecnología de comunicaciones de RF y una tecnología de comunicaciones PLC. El módulo de determinación de enlaces iniciales 222 puede haber determinado previamente que la tecnología de comunicaciones RF del nodo tiene un valor RSI entre los mejor clasificados, mientras que la tecnología de comunicaciones PLC del nodo tiene un valor RSI con clasificación menor. Por tanto, para conservar más tiempo y recursos, el módulo de determinación del FOM 120 puede centrarse exclusivamente en probar la tecnología de comunicaciones RF del nodo que tiene el valor RSI mejor clasificado para encontrar el FOM óptimo y la tasa de datos óptima utilizando la tecnología de comunicaciones RF. El módulo de determinación del FOM 120 puede entonces almacenar el valor FOM óptimo, la tasa de datos y la tecnología de comunicación óptimos asociados al enlace en los datos FOM 228 de los enlaces.
- Los ejemplos de realizaciones del módulo de determinación del FOM 120 presentados anteriormente no están pensados para limitar cómo el módulo de determinación del FOM 120 puede probar enlaces. Como otro ejemplo, un

enlace puede soportar dos tecnologías de comunicación RF y una tecnología de comunicación PLC. En este ejemplo, el módulo de determinación del FOM 120 puede probar una primera de las dos tecnologías de comunicación RF indicadas como que tienen un valor RSI entre los mejor clasificados, así como la tecnología de la comunicación PLC, y almacenar el valor FOM óptimo determinado, la tasa de datos y la tecnología de comunicación asociada con el enlace en los datos FOM 228 de los enlaces. El módulo de determinación FOM 120 también puede almacenar un valor FOM y la tasa de datos óptima, tanto para la primera tecnología de comunicaciones RF como para la tecnología de las comunicaciones PLC en los datos FOM 228 de los enlaces. Otros ejemplos de realizaciones están dentro del alcance de las enseñanzas del presente documento.

En varias implementaciones, el módulo de determinación del FOM 120 puede determinar y mantener una calidad refinada (por ejemplo, un FOM) de un enlace basado en un producto cruzado de éxito (por ejemplo, una tasa de éxito de comunicaciones) y una tasa de datos para las combinaciones de las tasas de datos disponibles. Como ejemplo, para un enlace dado, el módulo de determinación del FOM 120 puede encontrar una combinación óptima de medios de comunicación, tecnología de comunicaciones y tasa de datos que minimice (o maximice una optimización de) el valor ETT de la ecuación 1. En una implementación diferente, el módulo de determinación del FOM 120 puede utilizar otras métricas de optimización de la calidad adecuadas para encontrar un FOM óptimo asociado con una tasa de datos máxima y una pérdida de paquetes mínima o combinación de tasa de error de bits mínima para las tecnologías de comunicación disponibles de un enlace.

El módulo de determinación del FOM 120 puede almacenar los datos FOM para los enlaces asociados en la memoria de datos FOM 228 de los enlaces. La memoria de datos FOM 228 de los enlaces puede también contener la combinación de medios de comunicación, tecnología de comunicación y la tasa de datos asociados con los datos FOM para cada enlace especificado. En una realización alternativa, el módulo de determinación del FOM 120 puede mantener los valores FOM y su combinación asociada de medios de comunicación, tecnología de comunicación y la tasa de datos para un subconjunto de los enlaces especificados o enlaces adicionales en la memoria de datos FOM 228 de los enlaces. Como ejemplo, al probar los enlaces especificados, el módulo de determinación del FOM 120 puede determinar que uno o más de los enlaces especificados que tiene un valor RSI entre los mejor clasificados mostró una calidad de enlace por debajo de un umbral relativo prefijado o predeterminado. Por tanto, el módulo de determinación del FOM 120 puede no almacenar la información relativa a estos enlaces en la memoria de datos FOM 228 de los enlaces. En una realización, el módulo de determinación del FOM 120 puede también almacenar uno o más protocolos soportados por los nodos en los enlaces que son probados.

El módulo de lista de dispositivos ocupados 122 está configurado para determinar la disponibilidad de los nodos 102 y mantener una lista de los nodos que están (o estarán) ocupados y un tiempo durante el cual estarán ocupados. El módulo de lista de dispositivos ocupados 122 puede almacenar información de disponibilidad asociada con los nodos en la memoria de la lista de dispositivos ocupados 230. En el ejemplo ilustrado en la FIG. 1, el módulo de lista de dispositivos ocupados 122 puede indicar que el nodo 102A está ocupado recibiendo datos desde el nodo 102B y, por tanto, no está disponible para recibir transmisiones desde el nodo 102C. En este ejemplo, un receptor de protocolo múltiple del nodo 102A puede estar en un estado de recepción. Por tanto, el receptor de protocolo múltiple del nodo 102A no está actualmente en un estado de escucha, en el que puede detectar una petición de comunicación, tal como una petición de envío (RTS) de paquete desde el nodo 102C. Por tanto, para cada nodo vecino 102, el módulo de lista de dispositivos ocupados 122 puede mantener una disponibilidad de nodo vecino y un tiempo durante el que el nodo vecino estará ocupado en la lista de dispositivos ocupados 230. Además, para cada nodo vecino 102, el módulo de lista de dispositivos ocupados 122 puede mantener, en la lista de dispositivos ocupados 230, la información de estado de nodo vecino que indica un estado actual de los nodos vecinos (por ejemplo, la captación de señales, procesamiento de una señal, etc.).

Aunque los datos de enlaces iniciales 224, los datos FOM 228 de los enlaces y la lista de dispositivos ocupados 214 se muestran como listas de datos almacenadas en la memoria local del nodo 102C, en otras realizaciones, la información de la calidad de enlace y de la disponibilidad del nodo pueden ser almacenadas en una lista única o no en forma de lista. Además, en algunas realizaciones, la información de calidad del enlace y disponibilidad de nodo y otra información almacenada en los datos de enlaces iniciales 224, los datos FOM 228 de los enlaces y la lista de dispositivos ocupados 214 se pueden mantener adicional o alternativamente en una o más localizaciones distintas de la red (por ejemplo, un nodo padre, un enrutador celular, un relé, un dispositivo de almacenamiento en red, o similares).

En algunas implementaciones (por ejemplo, cuando el nodo es un contador de suministros básicos), la memoria 116 puede también incluir un módulo de medición 232 configurado para recoger los datos de consumo de uno o más recursos (por ejemplo, electricidad, agua, gas natural, etc.), los cuales pueden después ser transmitidos a uno o más de otros nodos 102 para su eventual propagación a la oficina central 104 u otro destino. En varias implementaciones, el módulo de medición 232 puede de forma periódica o no periódica proporcionar datos para la transmisión, puede ser consultado y proporcionar datos en respuesta a una consulta, puede proporcionar datos para la transmisión una vez que se ha recogido una cantidad predeterminada de datos, o similar.

El módulo de enrutamiento 124 facilita la implementación de un protocolo de enrutamiento (por ejemplo, un protocolo de enrutamiento para redes de baja potencia y con pérdidas (RPL), enrutamiento basado en LOAD, DODAG, enrutamiento por vector de distancias, enrutamiento basado en una carga actual o predicha de uno o más nodos,

etc.), basado en los valores FOM de enlaces asociados con el nodo 102C, la disponibilidad de los nodos 102, y/o uno o más de otros factores. Como ejemplo, para el enrutamiento de un paquete en el nodo 102C destinado al nodo 102A, el módulo de enrutamiento 124 puede facilitar un protocolo de enrutamiento para elegir el enlace directo entre el nodo 102C y el 102A (como se muestra en la FIG. 1), basado en el valor FOM de ese enlace en relación con otros enlaces como se indica en los datos FOM 228 de los enlaces y la disponibilidad actual del nodo 102A como se indica en la lista de dispositivos ocupados 230. Como tal, el módulo de enrutamiento 124 puede acceder a los datos FOM 228 de los enlaces para determinar una combinación óptima de medios de comunicación, tecnología de comunicaciones y la tasa de datos asociada con el valor FOM del enlace seleccionado entre el nodo 102C y el 102A. Suponiendo que el nodo 102A está disponible actualmente, el módulo de enrutamiento 124 puede facilitar el protocolo de enrutamiento para enrutar el paquete al nodo 102A a través del enlace. Como alternativa, si se especifica que actualmente el nodo 102A está ocupado, el módulo de enrutamiento 124 puede facilitar la elección de esperar a que el nodo 102A esté disponible basándose en un tiempo durante el que el nodo 102A estará ocupado como se especifica en la lista de dispositivos ocupados 230. Como otra alternativa, el protocolo de enrutamiento puede elegir un enlace diferente asociado al nodo 102C basándose en el valor FOM de diferentes enlaces y la disponibilidad de nodo asociada. Por tanto, el módulo de enrutamiento 124 puede elegir una combinación óptima de medios de comunicación, tecnología de comunicaciones y tasa de datos asociada con el valor FOM del enlace diferente. En otro ejemplo, el módulo de enrutamiento 124 puede configurar y/o dirigir el transmisor definido por SW 226 para transmitir el paquete a través de un enlace determinado, utilizando los medios de comunicación especificados, la tecnología de comunicaciones y la tasa de datos para ese enlace.

20 Ejemplo de método para determinar la calidad de enlace con múltiples tecnologías de comunicación

La FIG. 4 ilustra un ejemplo de método 400 para determinar la calidad de enlaces que tienen múltiples tecnologías de comunicación entre los nodos de una red mallada. El método 400 está descrito con referencia al ejemplo de arquitectura 100 de la FIG. 1, por conveniencia. Sin embargo, el método 400 no está limitado a su uso con el ejemplo de arquitectura 100 de la FIG. 1 y puede ser implementado utilizando otras arquitecturas y dispositivos.

25 En la operación 402, un nodo determina una intensidad de las señales recibidas en los enlaces de comunicación de nodos vecinos en una red mallada. En un ejemplo, las señales recibidas incluyen múltiples tecnologías de comunicación diferentes. En el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, la determinación de la intensidad de la señal recibida puede ser realizada por el nodo 102C utilizando la radio 108, el transceptor PLC 110, el módulo de receptor de protocolo múltiple 118, el receptor definido por SW 212, el módulo de determinación de enlaces iniciales 222, o combinaciones de los mismos. A modo de ejemplo, si el nodo 102C está en un estado de escucha, el nodo 102C puede escuchar, en paralelo, a enlaces a los nodos 102A, 102B y 102N, y medir un RSI de múltiples tecnologías de comunicación diferentes en cada uno de los enlaces para determinar un RSI asociado, un RSI efectivo o normalizado para las tecnologías de comunicación utilizadas en los enlaces. Las tecnologías de comunicación pueden incluir tecnologías de comunicación RF y PLC utilizadas en cada uno de los enlaces. Como otro ejemplo, el nodo 102C puede medir un RSI de múltiples tecnologías de comunicación diferentes en enlaces como parte de las comunicaciones operacionales con nodos vecinos asociados.

El nodo 102C, así como sus nodos vecinos correspondientes, puede incluir nodos de una red de baja potencia y con pérdidas (LLN). Las múltiples tecnologías de comunicación diferentes pueden incluir múltiples tecnologías de comunicación por radiofrecuencia (RF) diferentes que tienen distintos esquemas de modulación RF, así como una o más tecnologías de comunicación por cable eléctrico (PLC).

30 En la operación 404, en el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, el módulo de determinación de enlaces iniciales 222 del nodo 102C selecciona un subconjunto de los enlaces de comunicación basándose en parte en la intensidad de las señales recibidas. En la operación 406, un subconjunto de enlaces de comunicaciones es probado enviando datos y recibiendo datos de respuesta a través de cada uno del subconjunto de enlaces de comunicación. Como ejemplo, el módulo de determinación del FOM 120 puede realizar el envío de datos y la recepción de datos de respuesta a las tasas de datos disponibles de una tecnología de comunicación utilizada sobre cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación. Como otro ejemplo, el módulo de determinación FOM 120 puede realizar el envío de datos y la recepción de datos de respuesta usando más de una tecnología de comunicación utilizada sobre uno o más del subconjunto de los enlaces de comunicación. Los datos enviados y recibidos como parte de la prueba pueden incluir datos de ensayo, datos operacionales, o una mezcla de datos de ensayo y operacionales. Los datos de ensayo pueden incluir cualesquiera datos repetitivos o no repetitivos que faciliten la prueba. Los datos operacionales pueden incluir datos reales, tales como datos de carga útil, datos métricos obtenidos por el nodo, datos de contadores, o similares. Los datos operacionales también pueden incluir datos de trama como se ilustra en las figuras 6 y 7 en el presente documento.

55 En la operación 408, en el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, el módulo de determinación del FOM 120 analiza los datos de respuesta. Basándose en parte en el análisis de los datos de respuesta, en la operación 410, el módulo de determinación del FOM 120 evalúa la calidad de un enlace en función de una tasa de datos disponible en cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación. Como ejemplo, el módulo de determinación del FOM 120 puede calcular un ETT de la ecuación 1 como parte de la evaluación de la calidad del enlace. El módulo de determinación del FOM 120 puede evaluar la calidad del enlace en función de una tasa de datos disponible que incluye la determinación de un factor de mérito (FOM) representado por un producto cruzado de una tasa de éxito de

comunicación y una tasa de datos disponible, en donde un FOM óptimo es indicado mediante una tasa de datos disponible máxima que optimiza el producto cruzado (por ejemplo, minimiza ETT). En una implementación alternativa, el módulo de determinación del FOM 120 puede determinar un factor de mérito (FOM) asociado con una combinación máxima de la calidad del enlace y la tasa de datos disponible para las tecnologías de comunicación de cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación.

En un ejemplo, el módulo de lista de dispositivos ocupados 122 del nodo 102C mantiene información que incluye disponibilidad, falta de disponibilidad y duración de no disponibilidad de al menos un subconjunto de nodos vecinos en la lista de dispositivos ocupados 230, mientras que el módulo de determinación del FOM 120 mantiene la información que identifica una tecnología de comunicación y una tasa de datos disponible asociada con el FOM para cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación en los datos FOM 228 de los enlaces. A continuación, en el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, el módulo de enrutamiento 124 puede emplear un protocolo de enrutamiento para seleccionar un enlace de comunicación del subconjunto de los enlaces de comunicación para el enrutamiento de un paquete de datos a un nodo vecino basado en parte en el FOM asociado con el enlace de comunicación seleccionado y la disponibilidad del nodo vecino, y dirigir el transmisor definido por SW 212 para transmitir el paquete de datos al nodo vecino utilizando la tecnología de comunicación óptima y la tasa de datos disponible óptima del enlace de comunicación seleccionado (por ejemplo, a través de la radio 108 o el transceptor PLC 110). Como otro ejemplo, el módulo de enrutamiento 124 puede seleccionar múltiples enlaces, múltiples tecnologías de comunicación y/o múltiples tasas de datos disponibles basadas en parte en su FOM asociado para transmitir un paquete de datos de "alta prioridad" de forma redundante o duplicada para asegurar el suministro del paquete de datos de "alta prioridad". Los datos asociados pueden ser almacenados en los datos de enlaces iniciales 224, los datos FOM 228 de los enlaces y la lista de dispositivos ocupados 230 antes de que el nodo 102C requiera enrutar el paquete de datos, de modo que no es necesario determinar el RSI asociado y los datos FOM como parte de un procedimiento de "apretón de manos" entre nodos realizado basándose en el requisito para enrutar el paquete de datos.

El método 400 puede ser realizado cuando se añade un nuevo nodo a la red y de forma periódica o no periódica para los nodos existentes de la red. Todo o partes del método 400 pueden realizarse en respuesta a una determinación de que una calidad de enlace se ha degradado por debajo de un umbral determinado o prefijado, como por ejemplo durante una comunicación de datos operacionales o por cualquier determinación de degradación de la calidad del enlace sospechosa o real.

Ejemplo de método de enrutamiento basado en la calidad del enlace

La FIG. 5 ilustra un ejemplo de método 500 mediante el cual puede ser determinada una calidad de los enlaces. Los enlaces pueden utilizar múltiples tecnologías de comunicación, conectando de esta manera los nodos de una red mallada y enrutando las comunicaciones basándose al menos en parte en la calidad del enlace. El método 500 está descrito con referencia al ejemplo de arquitectura 100 de la FIG. 1, por conveniencia. Sin embargo, el método 500 no está limitado al uso con el ejemplo de arquitectura 100 de la FIG. 1 y puede ser implementado utilizando otras arquitecturas y dispositivos.

En la operación 502, un nodo determina, a través de un receptor de protocolo múltiple del nodo, una intensidad de las señales recibidas en enlaces de comunicación de nodos vecinos en una red mallada, incluyendo las señales recibidas señales que tienen múltiples tecnologías de comunicación de radiofrecuencia (RF) diferentes y uno o más tecnologías de comunicación por cable eléctrico (PLC). En el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, la determinación de la intensidad de la señal recibida puede ser realizada por el nodo 102C utilizando la radio 108, el transceptor PLC 110, el módulo de receptor de protocolo múltiple 118, el receptor definido por SW 212, el módulo de determinación de enlaces iniciales 222, o combinaciones de los mismos.

En la operación 504, es seleccionado un subconjunto de los enlaces de comunicación basándose en parte en la intensidad de las señales recibidas. Por ejemplo, el módulo de determinación de enlaces iniciales 222 del nodo 102C selecciona el subconjunto de los enlaces de comunicación basándose en parte en la intensidad de las señales recibidas.

En la operación 506, en el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, el módulo de determinación del FOM 120 prueba el subconjunto de los enlaces de comunicación mediante la comunicación de datos a las tasas de datos disponibles de cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación. El módulo de determinación del FOM 120 puede realizar la prueba mediante el uso de más de una tecnología de comunicación de uno o más del subconjunto de los enlaces de comunicación, tales como una tecnología de comunicación RF y una tecnología de comunicación PLC o una primera tecnología de comunicación RF y una segunda tecnología de comunicación RF que difiere de la primera tecnología de comunicación RF. Los datos utilizados para la prueba pueden incluir datos de ensayo, datos operacionales, o una mezcla de datos de ensayo y operacionales. Los datos de ensayo pueden incluir cualquier dato repetitivo o no repetitivo que facilite la prueba. Los datos operacionales pueden incluir datos reales, tales como datos de carga útil, datos métricos obtenidos por el nodo, datos de contadores, o similares. Los datos operacionales pueden también incluir datos de trama como se ilustra en las figuras 6 y 7 en el presente documento.

En la operación 508, en el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, el módulo de determinación del FOM 120 evalúa una calidad del enlace en función de las tasas de datos disponibles para cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación basándose en parte en los datos que se comunican. Como ejemplo, si una tecnología de comunicación de un enlace tiene N tasas de datos disponibles (siendo N un número entero mayor que cero), el módulo de determinación del FOM 120 podrá probar todas las N tasas de datos, o un subconjunto de las N tasas de datos para evaluar la calidad del enlace en función de las tasas de datos disponibles.

En la operación 510, en el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, el módulo de determinación del FOM 120 determina un factor de mérito (FOM), basándose en parte en un producto cruzado que indica una combinación máxima de la calidad del enlace y las tasas de datos disponibles evaluadas para cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación. Como ejemplo, el módulo de determinación del FOM 120 puede calcular un ETT de la ecuación 1 como parte de la determinación del FOM. El módulo de determinación del FOM 120 puede determinar un factor de mérito (FOM) representado por un producto cruzado de una tasa de éxito de comunicación y una tasa de datos disponible evaluada, en el que un FOM óptimo es indicado por una tasa de datos disponible máxima evaluada que optimiza el producto cruzado (por ejemplo, minimiza el ETT). El FOM óptimo puede indicar una compensación de una optimización donde se maximiza la conectividad mientras que la capacidad (por ejemplo, el procesamiento) se mantiene tan alta como sea posible. En una implementación alternativa, el módulo de determinación del FOM 120 puede determinar un factor de mérito (FOM) asociado con una combinación máxima de la calidad del enlace y las tasas de datos disponibles evaluadas para cada enlace del subconjunto de los enlaces de comunicación.

En la operación 512, en el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, el módulo de determinación del FOM 120 mantiene uno o más registros del FOM determinado, la tasa de datos disponible evaluada y la tecnología de comunicación asociada al FOM determinado para cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación en una memoria de datos, tales como los datos FOM 228 de los enlaces.

En la operación 514, en el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, el módulo de enrutamiento 124 enruta un paquete de datos a un nodo vecino basándose en parte en el FOM asociado a cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación. A modo de ejemplo, el módulo de enrutamiento 124 accede a los datos FOM 228 de los enlaces para obtener registros de datos FOM para los enlaces a nodos vecinos del nodo 102C. El módulo de enrutamiento 124 puede después utilizar los datos FOM para facilitar un protocolo de enrutamiento para seleccionar uno del subconjunto de los enlaces de comunicación para el enrutamiento del paquete de datos. En una implementación alternativa, el módulo de enrutamiento 124 también puede acceder a la lista de dispositivos ocupados 230 para obtener información de disponibilidad de disponibilidad con respecto a los nodos vecinos. El modo de enrutamiento 124 puede entonces utilizar los datos FOM y los datos sobre disponibilidad para facilitar un protocolo de enrutamiento para seleccionar uno del subconjunto de los enlaces de comunicación para el enrutamiento del paquete de datos. Por tanto, el FOM puede ser explotado por una variedad de protocolos de enrutamiento. Por tanto, si la tecnología permite la detección en paralelo de los mensajes entrantes en una colección total de medios de comunicación, tipo de modulación y tasas de datos, entonces la conectividad máxima puede ser conseguida en la red mallada sin sacrificar la capacidad que es típica en muchas técnicas de división de tiempo y/o frecuencia.

En la operación 516, basada en el enlace seleccionado por el protocolo de enrutamiento, en el contexto de los ejemplos de las figuras 1 y 2, el módulo de enrutamiento 124 accede a los datos FOM 228 de los enlaces para identificar la tasa de datos y la tecnología de comunicaciones asociada con el enlace seleccionado. El módulo de enrutamiento 124 dirige entonces el transmisor definido por SW 212 para transmitir el paquete de datos al nodo vecino a través del enlace seleccionado utilizando la tasa de datos y la tecnología de la comunicación (por ejemplo, RF o PLC) especificada en los datos FOM 228 de los enlaces. En una realización alternativa, el módulo de enrutamiento 124 puede acceder a los datos FOM 228 de los enlaces para identificar múltiples tasas de datos y/o tecnologías de comunicación asociadas a uno o más enlaces para determinar cómo enrutar los datos "de alta prioridad" de forma duplicada o redundante.

El método 500 puede ser realizado cuando se añade un nuevo nodo a la red y de forma periódica o no periódica para los nodos existentes de la red. Todo o partes de método 500 pueden realizarse en respuesta a una determinación de que una calidad de enlace se ha degradado por debajo de un umbral determinado o prefijado, tal como durante una comunicación de datos operacionales o por cualquier determinación de degradación de calidad del enlace real o sospechosa.

Ejemplo de unidades de datos de protocolo (PDU)

Las figuras 6 y 7 ilustran varios ejemplos de unidades de datos de protocolo (PDU) que pueden ser transferidas a través de un canal de control y/o canal de datos. El término PDU se utiliza en el presente documento para referirse en general a cualquier comunicación, mensaje o transmisión dentro de una red de comunicación, tal como la mostrada en la FIG. 1. El término PDU se basa, al menos en concepto, en el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI), un modelo IP (Protocolo de Internet), o similar, y puede comprender, por ejemplo, un bit, una trama, un paquete, un segmento, etc. En algunos casos, una o más capas del modelo OSI/IP pueden ser utilizadas eficazmente para transferir una o más PDU entre nodos. Por ejemplo, la capa de enlace de datos del modelo OSI/IP puede ser utilizada para transferir PDUs entre dos o más de los nodos 102 en la arquitectura 100. En implementaciones particulares, la subcapa de control de acceso a medios (MAC) de la capa de enlace de datos

puede ser utilizada para transferir PDUs entre dos o más de los nodos 102. Además, en algunas implementaciones, un método de acceso puede ser utilizado para transferir PDUs, como por ejemplo el método de acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones (CSMA/CA).

La FIG. 6 ilustra un ejemplo de trama de petición de envío (RTS) 600 que puede ser utilizada para indicar que un nodo desea enviar datos a otro nodo, mientras que la FIG. 7 ilustra un ejemplo de una trama libre para el envío (CTS) 700 que se puede utilizar para indicar que un nodo está disponible para recibir datos. Las figuras 6 y 7 muestran ejemplos de ordenamientos de campos en las tramas correspondientes, sin embargo, pueden utilizarse otros ordenamientos. En algunos ejemplos, al recibir un mensaje RTS, un nodo puede responder (si está disponible) mediante el envío de 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 utilizadas otras estructuras PDU para los mensajes RTS, los mensajes CTS u otra información de reserva de transmisión de comunicaciones asociada con la red de comunicación multicanal (por ejemplo, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, IEEE P1901, IEEE P1675, IEEE P 1775, etc.).

Como se mencionó anteriormente, la trama RTS 600 y la trama CTS 700 (a las que colectivamente se hace referencia como tramas de datos 600 y 700) contienen información que puede ser utilizada para cualificar y facilitar la evaluación de los enlaces entre los nodos de una red mallada y enrutar las comunicaciones entre dos o más nodos de la red mallada. Las tramas 600 y 700 se describen con referencia al ejemplo de red de arquitectura 100 de la FIG. 1 y los ejemplos de métodos 400 y 500, por conveniencia. Sin embargo, los ejemplos de tramas 600 y 700 no están limitados a ser usados con el ejemplo de arquitectura 100 o los métodos 400 y 500, y pueden ser implementados utilizando otras arquitecturas y dispositivos y/o para realizar otros métodos.

Con referencia a la FIG. 6, el ejemplo de trama RTS puede ser utilizado para que una o más tecnologías de comunicación informen a los 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) (por ejemplo, tasa de datos y/o técnica de modulación) con un nodo recipiente destinatario. Como se muestra en la FIG. 6, la trama 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 origen, dirección de origen, cabecera de seguridad auxiliar, carga útil, y la secuencia de verificación de trama (FCS). Los detalles de los campos anteriores de la trama RTS distintos de la carga útil son bien conocidos para los expertos en la técnica y no se describen en detalle en este documento. La carga útil de la trama RTS, sin embargo, es personalizada para implementar las técnicas de enrutamiento descritas anteriormente, 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 el envío (NCTS), etc. En el ejemplo de la Fig. 6 este campo indica que la trama es una trama RTS.
- HW: 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 de dispositivo, y/o cualquier otra información útil para determinar las capacidades del nodo (por ejemplo, alimentado por batería, técnicas de modulación, capacidades PLC y/o tasas de datos disponibles que son soportadas por el nodo).
- Rango: Este campo indica para el protocolo de enrutamiento para redes de baja potencia y con pérdidas (RPL) un rango (si es conocido) del nodo que está enviando la trama RTS. El rango representa el coste del camino desde el vecino del enrutador celular y puede ser calculado usando, por ejemplo, la métrica de la ecuación (1) para calcular el ETT. Cuanto mayor sea el rango, más lejos está el nodo del enrutador celular. Este campo puede ser utilizado por un nodo receptor para detectar la consistencia de enrutamiento en la subcapa MAC.
- DODAG\_ID: Este campo es un identificador (ID) de grafo acíclico dirigido orientado a destino (DODAG), que identifica una raíz DODAG (por ejemplo, un enrutador de frontera de red, enrutador celular, relé, etc.), a través del cual el nodo emisor del RTS está conectado a una red de retorno, tal como una intranet o la Internet, para la comunicación con la oficina central u otro dispositivo de computación de red. En el contexto de la arquitectura 100 de la FIG. 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 DODAG\_ID permite a un nodo que recibe la trama RTS aceptar o rechazar la trama RTS verificando las condiciones de consistencia de enrutamiento en la subcapa MAC.
- Duración: Este campo indica el tiempo total esperado para el intercambio de trama(s) de datos especificadas en el RTS. La duración puede incluir el tiempo para transmitir las tramas de datos especificadas, tiempos de espera tal como el espaciado entre tramas (IFS) (por ejemplo, SIFS, GIFS, etc.) entre tramas y respuestas de acuse de recibo (ACK) o no acuse de recibo (NACK). El campo de duración puede ser utilizado para determinar un tiempo durante el que un nodo estará ocupado comunicándose con otro nodo y por tanto no disponible para recibir. El campo de duración puede ser utilizado para rellenar la

columna "duración" de una lista de dispositivos ocupados, tal como la lista de dispositivos ocupados 230 mostrada en la FIG. 2.

- Ch. On. En: Este campo incluye una bandera que indica si el RTS incluye una lista de canales.
- 5 • Lista de Canales: Este campo contiene una lista de canales que incluye una lista de canales que están disponibles para un nodo que envía la trama RTS. Un nodo que recibe la trama RTS puede seleccionar uno o más canales de los canales disponibles y especificar los canales elegidos dentro de una trama CTS. En algunos ejemplos, la lista de canales puede incluir menos de todos los canales que están disponibles para un nodo. Por ejemplo, si se emplea una modulación de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS) de modulación, la lista de canales puede estar limitada 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 el RTS y el nodo que recibió el RTS. La lista de canales cualificados puede ser mantenida en la memoria del nodo que envió el RTS y/o el nodo que recibió el RTS, como en los datos FOM 228 de los enlaces mantenidos en la memoria 116 del nodo 102C descrito con referencia a la FIG. 2.
- 10 • Parámetros de tasa de datos (DR): Este campo indica una tasa de datos máxima y/o las tasas de datos disponibles soportadas y/o propuestas por un nodo que envía la trama RTS. Un nodo que recibe la trama RTS puede utilizar este campo para determinar las tasas de datos que admiten tanto los nodos que envían como los que reciben, por ejemplo para probar un nodo. Las tasas de datos determinadas pueden ser enviadas al nodo emisor usando una trama CTS. Las tasas de datos determinadas pueden ser enviadas a lo más a la tasa de datos máxima del más lento de los dos nodos. Así, si el RTS propone una tasa de datos más alta de la que es capaz el nodo receptor, el nodo receptor fijará una tasa de datos inferior (a lo más la tasa de datos máxima del nodo receptor) cuando envíe la trama CTS.
- 15 • Data\_ID: Este campo incluye un ID de un paquete de datos. Este ID puede estar presente dentro de la trama RTS. Este campo puede ser utilizado si, por ejemplo, el paquete de datos fue recibido por un nodo particular, pero no fue recibido 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 Data\_ID puede asumir que el paquete de datos no fue recibido y puede volver a enviar una trama RTS para el mismo Data\_ID. En algunos casos, cuando el nodo realiza un seguimiento de un número de los últimos Data\_IDs recibidos, el nodo particular puede responder con una trama ACK en lugar de una trama CTS, evitando así una retransmisión de la trama de datos.
- 25 • F\_ID: Este campo incluye un ID de trama MAC de la trama RTS. El destino previsto de la trama RTS copiará este F\_ID en la trama CTS que responde a esta trama RTS. Cuando el nodo emisor de la trama RTS recibe una trama CTS, puede utilizar el F\_ID en la trama CTS para determinar si la trama CTS es la esperada (es decir, fue enviada en respuesta a la trama RTS que el nodo ha enviado previamente).
- 30 • NP: Este campo indica un número de paquetes a ser intercambiado con un nodo que recibe la trama RTS. Este campo indica al nodo receptor cuántos paquetes escuchar para un canal de datos especificado antes de volver a escuchar en el canal de control. Este campo también puede ser útil en la determinación de la disponibilidad de canales particulares.
- 35 • Pre\_Ch: Este campo indica uno o más canales que un nodo prefiere utilizar para el intercambio de tramas de datos, tales como las tramas de datos de ensayo. Los nodos que no están involucrados en este intercambio, pero que escuchan los RTS, pueden actualizar sus listas de dispositivos ocupados (por ejemplo, como se describe con referencia a la FIG. 2) basándose en este campo. Por defecto, el destinatario de la trama RTS puede seleccionar este canal para el intercambio de datos, si es posible. Sin embargo, si este canal está ocupado o no es un canal cualificado del enlace, el nodo destinatario puede designar un canal diferente en el CTS.
- 40 • DIR: Este campo indica si el tráfico es desde una raíz o va a ser enviado 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 dice que son "aguas arriba". El campo puede ser ajustado a 1 para el tráfico aguas arriba y a 0 para el tráfico de aguas abajo, por ejemplo.
- 45

La FIG. 7, por su parte, ilustra un ejemplo de mensaje CTS 700 para una o más tecnologías de comunicación en 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 uno o más canales de datos seleccionados por el primer nodo. En algunos casos, se utiliza la trama CTS para informar a los nodos vecinos que el nodo que envía el RTS y el nodo que envía el CTS no estarán disponible y que el canal de datos seleccionado estará ocupado durante un período de tiempo especificado. En el ejemplo de la FIG. 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, cabecera de seguridad auxiliar, carga útil, y FCS. Los detalles de los campos anteriores de la trama CTS distinta de la carga útil son bien conocidos para los expertos en la técnica y no se describen en detalle en este documento. La carga útil de la trama CTS, sin embargo, es personalizada para implementar las técnicas de enrutamiento descritas

anteriormente, así como otras funcionalidades. La carga útil de la trama CTS puede ser de tamaño variable 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 FIG. 6. En el ejemplo de la figura 7, este campo indica que la trama es una trama CTS.
  - 5 • HW: Este campo incluye parámetros de hardware (por ejemplo, el tipo de dispositivo, versión o generación de dispositivo, etc.) de un nodo que recibió la trama RTS (es decir, el nodo que va a enviar la trama CTS).
  - Rango: Este campo es análogo al campo correspondiente de la trama RTS, pero tal como se aplica a la trama CTS. Este campo puede utilizarse para la clasificación en enlaces de acuerdo a su calidad relativa, por ejemplo, en los datos FOM 228 de los enlaces, mostrados en la FIG. 2.
  - 10 • DODAG\_ID: Este campo es análogo al campo correspondiente de la trama RTS, pero tal como se aplica a la trama CTS. Específicamente, este campo es un identificador DODAG que proporciona una opción para un nodo que recibe la trama CTS de aceptar o rechazar mediante la verificación de las condiciones de consistencia de enrutamiento en una subcapa MAC.
  - 15 • Duración: Este campo es análogo al campo correspondiente a la trama RTS, pero tal como se aplica a la trama CTS, y puede ser utilizado en la determinación de la disponibilidad y la duración de disponibilidad, tal como para el mantenimiento de la lista de dispositivos ocupados 230 de la FIG. 2.
  - Canal: Este campo indica un canal de datos seleccionado por el nodo que recibió la trama RTS.
  - DR: Este campo indica una tasa de datos seleccionada por el nodo que recibe la trama RTS. La tasa de datos puede ser la misma (si el nodo receptor admite la tasa de datos) o diferente de la tasa de datos especificada en el RTS (si el nodo receptor no admite la tasa de datos especificada en el RTS). Esta tasa de datos puede ser implementada para transferir datos en un canal de datos, por ejemplo paquetes de datos de ensayo.
  - 20 • F\_ID: Este campo incluye un ID de trama MAC de la trama CTS, que puede ser idéntico al valor F\_ID de la trama RTS.
- 25 Como se discutió anteriormente, las tramas RTS y CTS 600 y 700 son meramente ejemplos de algunas PDU que pueden ser utilizadas para implementar las técnicas de enrutamiento descritas en este documento. En otras realizaciones varias otras PDUs pueden ser empleadas para implementar las técnicas de enrutamiento descritas.

Ejemplo de método para determinar la degradación de un enlace operacional

30 La FIG. 8 ilustra un ejemplo de método 800 para determinar una degradación de un enlace durante la comunicación de los datos operacionales. El método 800 se describe con referencia al ejemplo de arquitectura 100 de la FIG. 1, por conveniencia. Sin embargo, el método 800 no se limita al uso con el ejemplo de arquitectura 100 de la FIG. 1 y puede ser implementado utilizando otras arquitecturas y dispositivos.

35 En la operación 802, un nodo está comunicando datos operacionales con otro nodo utilizando una tasa de datos y una tecnología de comunicación previamente especificadas. En la operación 804, un nodo obtiene información de calidad relativa al enlace. La información de calidad puede referirse a las características operacionales del enlace que se corresponden con la tasa de datos y la tecnología de comunicación previamente especificadas. En una realización, un nodo puede utilizar los datos operacionales para medir un FOM del enlace, de tal manera que la información de calidad del enlace incluya el FOM medido. Alternativamente, un nodo puede obtener información de intensidad de señal, información de tasa de error de bits, información de pérdida de paquetes, información FOM, o similar, como información de la calidad de enlace en relación con la calidad del enlace.

40 En la operación 806, un nodo puede determinar que la calidad del enlace se ha degradado significativamente. Por ejemplo, un nodo puede comparar la información de la calidad del enlace con un umbral predeterminado para determinar si la calidad del enlace se ha degradado significativamente. En la operación 806, si se determina que la calidad del enlace no se ha degradado significativamente, el control pasará a la operación 802. Sin embargo, si se determina que la calidad del enlace se ha degradado significativamente, el control pasará a la operación 808. En la operación 808, un nodo puede probar el enlace para determinar un FOM, como se describió en el presente documento, para diversas tasas de datos y tecnologías de comunicación disponibles para el enlace. En la operación 810, un nodo puede seleccionar una tasa de datos y una tecnología de la comunicación utilizando los valores FOM determinados. El control pasa entonces a la operación 802, donde los nodos se comunican utilizando la tasa de datos y la comunicación recientemente seleccionadas.

Conclusión

Aunque la solicitud describe realizaciones que tienen características estructurales específicas y/o actos metodológicos, hay que entender que las reivindicaciones no se limitan necesariamente a las características específicas o actos descritos. Más bien, las características y los actos específicos son meramente ilustrativos de algunas realizaciones que están dentro del alcance de las reivindicaciones de la solicitud.

**REIVINDICACIONES**

1. Método que comprende:

determinar una intensidad de las señales recibidas en los enlaces de comunicación de nodos vecinos en una red mallada, estando las señales recibidas asociadas a múltiples tecnologías de comunicación (402) diferentes;

5 seleccionar un subconjunto de los enlaces de comunicación basándose en parte en la intensidad de las señales recibidas (404);

probar el subconjunto de los enlaces de comunicación enviando datos y recibiendo datos de respuesta a través de cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación (406);

analizar los datos de respuesta (408); y

10 evaluar una calidad del enlace como función de una tasa de datos disponible de cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación basándose en parte en el análisis (410).

2. Método según la reivindicación 1, en el que la red mallada incluye nodos de una red de baja potencia y con pérdidas (LLN).

15 3. Método según la reivindicación 1, en el que las múltiples tecnologías de comunicación diferentes incluyen múltiples tecnologías de comunicación de radiofrecuencia (RF) diferentes que tienen diferentes esquemas de modulación de RF y una o más tecnologías de comunicación mediante cable eléctrico (PLC).

4. Método según la reivindicación 1, en el que el envío de datos y la recepción de datos de respuesta se realizan a las tasas de datos disponibles de una tecnología de comunicación utilizada sobre cada uno del subconjunto de enlaces de comunicación.

20 5. Método según la reivindicación 1, en el que el envío de datos y la recepción de datos de respuesta se realizan a las tasas de datos disponibles de más de una tecnología de comunicación utilizada sobre uno o más del subconjunto de enlaces de comunicación.

6. Método según la reivindicación 5, en el que más de una tecnología de comunicación incluye una tecnología de comunicación de radiofrecuencia (RF) y una tecnología de comunicación por cable eléctrico (PLC).

25 7. Método según la reivindicación 1, en el que la evaluación de la calidad del enlace comprende el cálculo de un tiempo de transmisión esperado (ETT) de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

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

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

30 P es una tasa de pérdida en un enlace,

Pf es una probabilidad de que un paquete de datos llegue con éxito a un nodo vecino,

Pr es una probabilidad de que sea recibida con éxito una confirmación desde el nodo vecino,

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

B es un ancho de banda o una tasa de datos disponible seleccionada del enlace entre un nodo y el nodo vecino.

35 8. Método de la reivindicación 1, en el que la evaluación de la calidad de un enlace como función de una tasa de datos disponible incluye la determinación de un factor de mérito (FOM) representado por un producto cruzado de una tasa de éxito de comunicación y una tasa de datos disponible.

9. Método según la reivindicación 8, en el que un FOM óptimo es indicado por una tasa de datos disponible máxima que optimiza el producto cruzado.

40 10. Método según la reivindicación 1, que comprende además la determinación de un factor de mérito (FOM) asociado con una combinación máxima de la calidad del enlace y la tasa de datos disponible para cada uno del subconjunto de enlaces de comunicación.

11. Método según la reivindicación 10, que comprende además el enrutamiento de los datos a nodos vecinos basándose en parte en el FOM asociado a cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación.
12. Método según la reivindicación 10, que comprende además:
- 5 mantener información que incluye una disponibilidad, una no disponibilidad y la duración de la no disponibilidad de al menos un subconjunto de nodos vecinos; y
- mantener información que identifica una tecnología de comunicación y una tasa de datos disponible asociada con el FOM para cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación.
13. Método según la reivindicación 12, que comprende además:
- 10 emplear un protocolo de enrutamiento para seleccionar un enlace de comunicación del subconjunto de los enlaces de comunicación para el enrutamiento de un paquete de datos a un nodo vecino, basándose en parte en el FOM asociado con el enlace de comunicación seleccionado y la disponibilidad del nodo vecino; y
- transmitir el paquete de datos al nodo vecino utilizando la tecnología de comunicación óptima y la tasa de datos disponible óptima del enlace de comunicación seleccionado.
- 15 14. Uno o más medios legibles por ordenador que almacenan instrucciones que, cuando son ejecutadas por uno o más procesadores de un nodo, configuran el nodo para que realice el método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes.
15. Un nodo de una red mallada, comprendiendo el nodo:
- uno o más procesadores;
- una memoria acoplada en comunicación al uno o más procesadores;
- 20 una radio con un receptor de protocolo múltiple configurado para escuchar en paralelo los enlaces de comunicación por radiofrecuencia (RF) a nodos vecinos de la red mallada, utilizando los enlaces de comunicación RF diferentes tecnologías de comunicación RF;
- un transceptor de comunicaciones por cable eléctrico (PLC) configurado para comunicarse con uno o más de los nodos vecinos a través de enlaces de comunicación PLC mediante una tecnología de comunicación PLC; y
- 25 uno o más módulos almacenados en la memoria y ejecutables en el uno o más procesadores para:
- determinar la intensidad de las señales recibidas en los enlaces de comunicación para incluir los enlaces de comunicación RF y los enlaces de comunicación PLC;
- seleccionar un subconjunto de los enlaces de comunicación basándose en parte en la intensidad de las señales recibidas;
- 30 probar el subconjunto de los enlaces de comunicación mediante la comunicación de datos a las tasas de datos disponibles a través de cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación;
- determinar un producto cruzado que indica una combinación máxima de un éxito de enlace de comunicación y una tasa de datos disponible para cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación;
- 35 mantener la información de la identificación de una tasa de datos disponible correspondiente y la tecnología de comunicación RF o PLC asociada al producto cruzado de cada uno del subconjunto de los enlaces de comunicación;
- seleccionar un enlace de comunicación del subconjunto de los enlaces de comunicación para enrutar un paquete a un nodo vecino, basándose en parte en el producto cruzado asociado al enlace de comunicación seleccionado; y
- transmitir directamente el paquete de datos al nodo vecino a través del enlace de comunicación seleccionado.

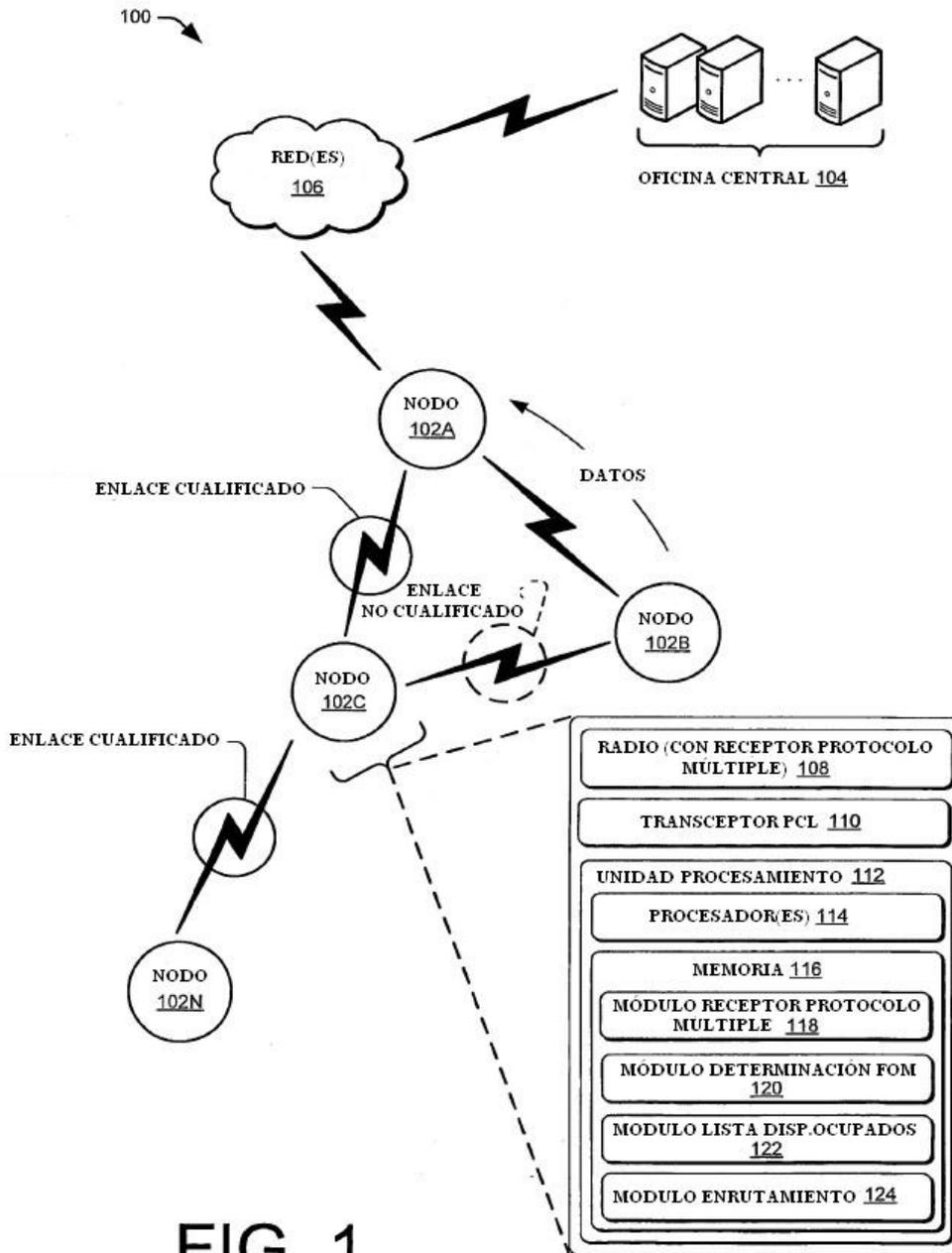


FIG. 1

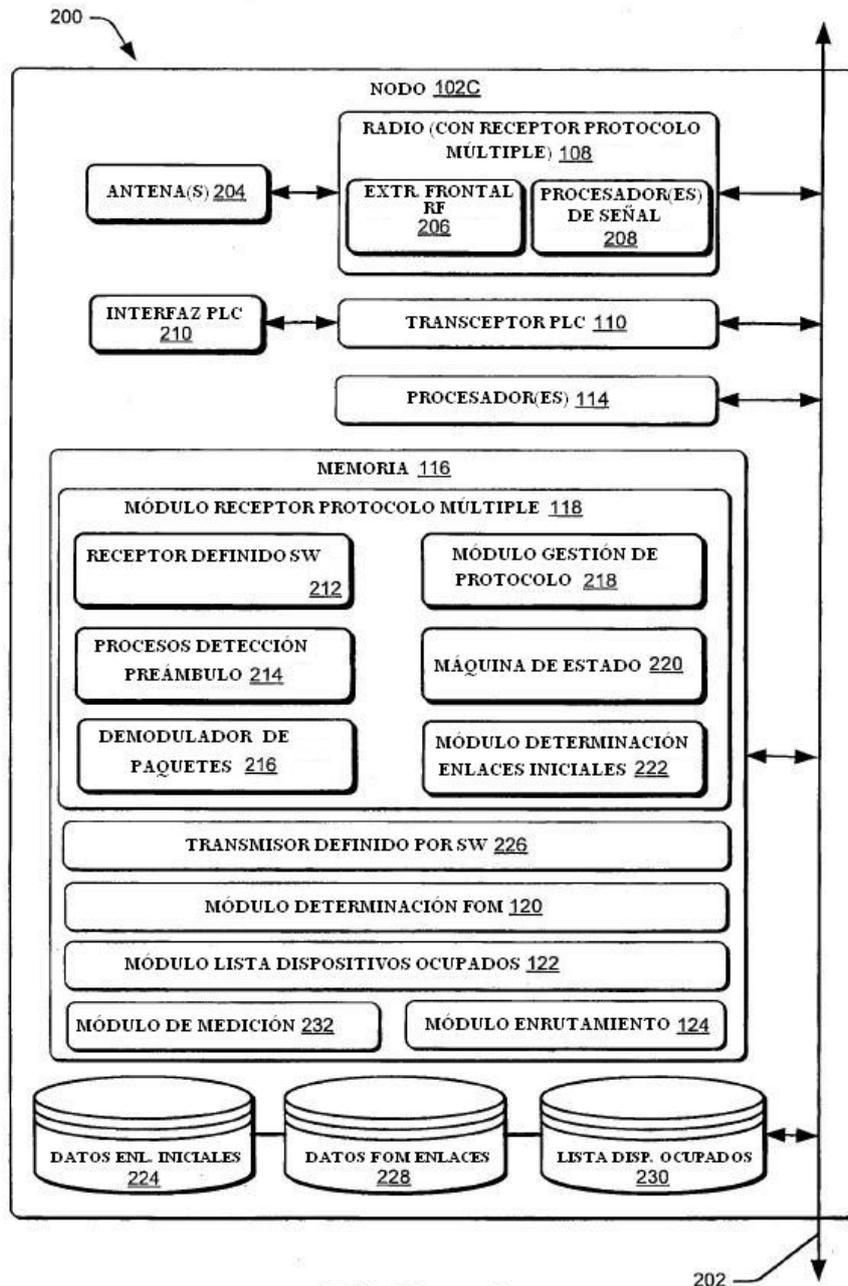


FIG. 2

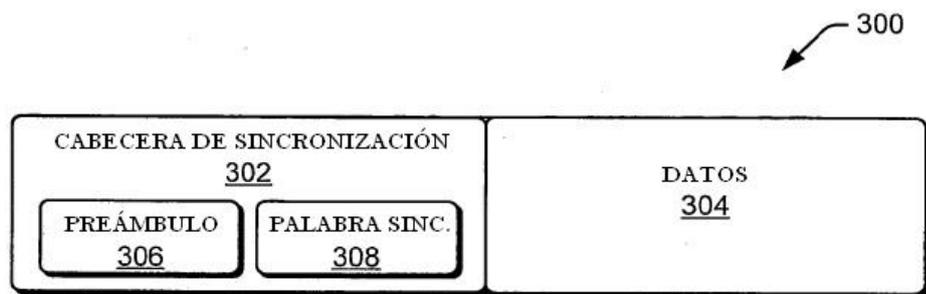


FIG. 3

400 →

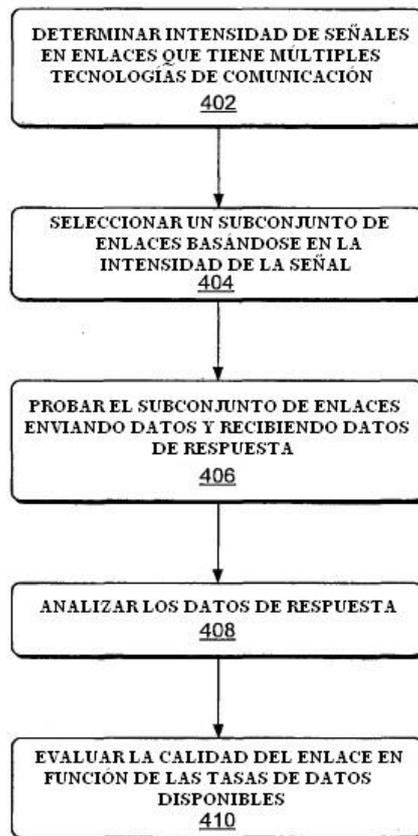


FIG. 4



FIG. 5

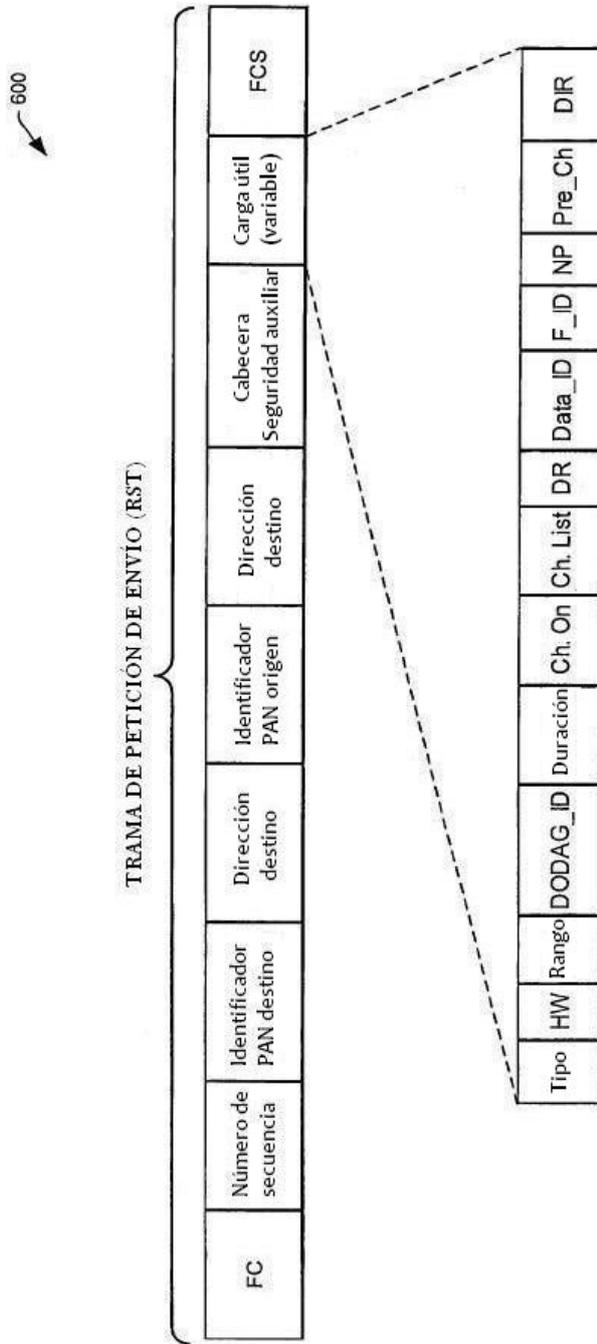


FIG. 6

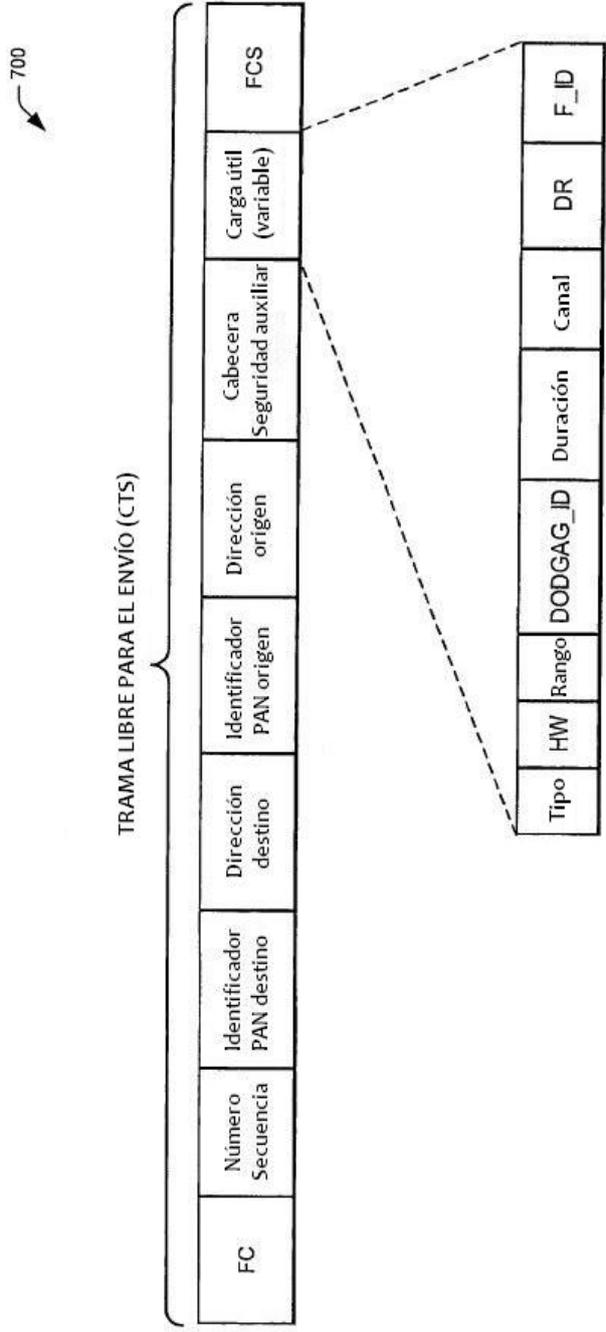


FIG. 7

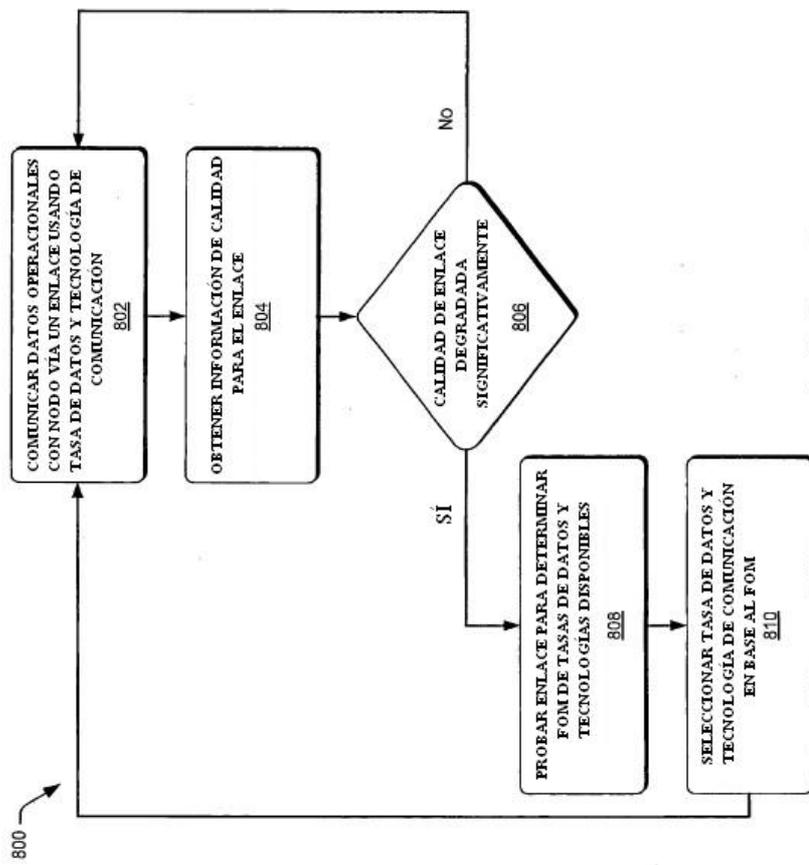


FIG. 8