

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 805 350**

51 Int. Cl.:

H04W 52/02 (2009.01)

H04W 4/70 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2017** **E 17202440 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2020** **EP 3337248**

54 Título: **Protocolo de interconexión en red de múltiples saltos para implementaciones de red de sensores de recolección de energía de área extensa**

30 Prioridad:

14.12.2016 US 201615379144

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

11.02.2021

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

JOHNSTON, MATTHEW R.

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 805 350 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

Protocolo de interconexión en red de múltiples saltos para implementaciones de red de sensores de recolección de energía de área extensa

Campo técnico

- 5 La presente divulgación se refiere, en general, a redes de sensores y, más particularmente, a un protocolo de interconexión en red de múltiples saltos para una red de sensores de recolección de energía. Las redes de sensores de recolección de energía (EHSN) se pueden aplicar en muchas áreas, incluyendo sistemas de cabina de aeronave, instalaciones de fabricación y similares.

Antecedentes

- 10 En la actualidad, los sensores de baja potencia requieren baterías para funcionar. Debido a que las baterías requieren una sustitución periódica, los sensores de baja potencia no son ideales para una distribución extensa (por ejemplo, millares por toda una aeronave) o ubicaciones inaccesibles (por ejemplo, tales como un motor de aeronave), debido al coste de mantenimiento. Además, las redes de sensores alimentadas por batería son poco apropiadas para algunas aplicaciones debido a preocupaciones ambientales que se derivan del riesgo de fuga de batería. Se pueden usar
15 sensores de baja potencia con capacidades de recolección de energía en lugar de sensores alimentados por batería, pero la transmisión de datos de sensor a sensor puede fallar si un sensor en la cadena de transmisión de datos carece de la potencia para continuar la transmisión, lo que tiene lugar debido a la naturaleza impredecible y aleatoria de las fuentes de energía. Para evitar tales fallos de transmisión de datos, se necesita un protocolo de comunicación de EHSN para facilitar la transmisión de datos entre dispositivos de recolección de energía. El documento
20 US2013/121176, de acuerdo con su resumen, se refiere a un dispositivo de comunicación de recolección de energía de una red de comunicación que acumula energía, por ejemplo, energía electromagnética. Tras detectar que la energía acumulada supera un umbral suficiente, el dispositivo de comunicación puede transmitir un mensaje a la red de comunicación usando la energía acumulada como una transmisión de radiodifusión no fiable y no sincronizada a cualquier receptor disponible dentro de la red de comunicación.

25 Sumario

En un aspecto, se proporciona una red de sensores de recolección de energía como se define en la reivindicación 1. En otro aspecto, se proporciona un nodo de recolección de energía como se define en la reivindicación 9. En otro aspecto, se proporciona un método como se define en la reivindicación 15.

- 30 En un ejemplo ilustrativo, la presente descripción proporciona un protocolo de comunicación de EHSN que usa un esquema de balizamiento para facilitar la comunicación entre múltiples nodos de sensor de baja potencia. En el ejemplo ilustrativo, los datos de sensor deseados fluyen a través de una serie de nodos de sensor desde el sensor de origen a un nodo de destino a través de un conjunto de nodos de retransmisión intermedios. Las transmisiones de un nodo a otro tienen lugar usando un esquema de balizamiento iniciado por receptor, en el que unas balizas son enviadas por cada nodo cuando estos han recolectado energía suficiente para retransmitir datos. El conjunto específico de
35 nodos de retransmisión se elige de forma oportunista a partir del conjunto total de nodos en la red, basándose en qué nodos han recolectado energía suficiente (y han radiodifundido la baliza apropiada), y qué nodos están situados de forma óptima para reenviar datos al nodo de destino.

- 40 Un ejemplo de la presente divulgación adopta la forma de una red de sensores de recolección de energía. La red de la invención comprende una pluralidad de sensores de recolección de energía que funcionan como nodos, en donde cada uno de los sensores de recolección de energía está configurado para funcionar de acuerdo con un protocolo de comunicación predefinido. Además, la red incluye un servidor configurado para comunicarse de forma inalámbrica con los sensores de recolección de energía. El protocolo de comunicación predefinido incluye un estado de RECEPCIÓN en el que un nodo transmite una baliza de listo para recibir (RTR) que indica a otros nodos que este está activo y tiene energía suficiente para recibir y retransmitir un paquete de datos.

- 45 Otro ejemplo de la presente divulgación adopta la forma de un nodo de recolección de energía. El nodo de la invención incluye un dispositivo de recolección de energía; un dispositivo de almacenamiento de energía; un microcontrolador; y un transceptor inalámbrico. El microcontrolador y el transceptor inalámbrico son alimentados por el dispositivo de almacenamiento de energía. El microcontrolador está configurado para accionar el nodo de recolección de energía de acuerdo con un protocolo de comunicación predefinido en el que el transceptor transmite una baliza de RTR que indica
50 que el nodo está activo y tiene energía suficiente para recibir un paquete de datos de otro nodo y para retransmitir el paquete de datos.

Otro ejemplo de la presente divulgación adopta la forma de un método empleado por cada nodo en la red de sensores de recolección de energía. El método de la invención incluye las siguientes etapas. Los nodos permanecen en un

estado de REPOSO hasta que se haya recolectado un umbral predeterminado de energía. Tras recolectar el umbral predeterminado de energía, un nodo entra en un estado de TRANSMISIÓN o un estado de RECEPCIÓN basándose en una función no determinista. En el estado de RECEPCIÓN, el nodo transmite una baliza de RTR que indica que este está listo para recibir datos, y recibe datos de un segundo nodo. En el estado de TRANSMISIÓN, el nodo espera una baliza de RTR de otro nodo, determina si cualquier otro nodo está transmitiendo datos actualmente y, si ningún otro nodo está transmitiendo datos actualmente, este transmite datos al emisor de la baliza de RTR. Si otro nodo está transmitiendo datos actualmente, el primer nodo retarda la transmisión hasta que el canal está libre.

A continuación se describen algunas características adicionales.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 representa esquemáticamente una realización ilustrativa de una red de sensores de recolección de energía de área extensa.

La figura 2 representa esquemáticamente una realización ilustrativa de un sensor de recolección de energía.

La figura 3 es un diagrama de flujo del protocolo de comunicación de EHSN de la invención.

La figura 4 es un diagrama de temporización ilustrativo para dos nodos.

Descripción detallada de realizaciones ilustrativas

En las secciones siguientes, se proporciona en primer lugar una visión general de una realización ilustrativa de una EHSN de acuerdo con la presente divulgación. A continuación se da una descripción más detallada de varios aspectos del protocolo de comunicación de la invención, incluyendo una comparación con enfoques alternativos, un protocolo de control de acceso a medios (MAC) de EHSN, detalles de los modos de funcionamiento de receptor y transmisor, y retransmisión oportunista.

Visión general

Esta divulgación aborda un problema pendiente de programación y encaminamiento entre dispositivos de recolección de energía, permitiendo que tales dispositivos se interconecten en red para implementaciones a gran escala, cabinas de avión y aplicaciones de fábrica. Una red de sensores inalámbricos se refiere a una colección (y, potencialmente, a una colección grande) de dispositivos de baja potencia, cada uno de los cuales es capaz de medir datos ambientales (por ejemplo, la temperatura, la presión, el estado, etc.) o la presencia de un evento (por ejemplo, fallo, proximidad, etc.) y comunicar estas mediciones de forma inalámbrica a un servidor de procesamiento central. Los sensores inalámbricos habilitan implementaciones en entornos en los que el cableado no es práctico y en entornos con restricciones de tamaño, peso y potencia (SWAP). En la actualidad, la implementación de redes de sensores está limitada por el coste y la vida útil de batería, en particular en entornos en los que la sustitución de nodos y baterías no es factible o no es práctica debido a la cantidad o ubicación de los sensores. Para superar estos problemas, los investigadores han buscado utilizar una tecnología de recolección de energía para generar energía para el funcionamiento del sensor.

La recolección de energía procedente del sol, el viento, los gradientes de temperatura o las vibraciones puede aumentar drásticamente la vida útil de una red de sensores al proporcionar una energía renovable. Sin embargo, se necesitan protocolos de comunicación para proporcionar unas garantías de interconexión en red deterministas durante los variables e inciertos procesos de reabastecimiento de energía. El protocolo de interconexión en red de EHSN de múltiples saltos resuelve el problema de habilitar una comunicación e interconexión en red entre nodos de sensor de recolección de energía, lo que facilita unas implementaciones de área extensa. En estos entornos, la comunicación basada en infraestructura de un único salto puede no ser factible debido a los requisitos de alimentación para transmisiones de larga distancia y perfiles de desvanecimiento de múltiples trayectorias. Sin embargo, para habilitar la interconexión en red de malla con nodos de recolección de energía, cada transmisor necesita saber que el siguiente receptor en la cadena de comunicación tiene unos recursos de energía suficientes para recibir y retransmitir un paquete sin depender de un control centralizado o una sincronización global. El protocolo de comunicación de EHSN divulgado resuelve estos problemas usando los principios de un balizamiento iniciado por receptor para hallar retransmisores con energía suficiente para la recepción y retransmisión, y una retransmisión oportunista para reenviar paquetes sin depender de rutas fijas tradicionales. Esta divulgación usa balizas con los fines tanto de programación como de encaminamiento.

La figura 1 muestra esquemáticamente una EHSN que incluye un servidor 100 y un número de nodos de sensor indicados por los números de referencia 200-1 a 200-9. En la red ilustrativa de la figura 1, se supone que los nodos sombreados (nodos 200-1, 200-4, 200-5, 200-6 y 200-7) tienen energía suficiente para la transmisión y recepción, mientras que se supone que los nodos restantes (nodos 200-2, 200-3, 200-8 y 200-9) no tienen energía suficiente para

la transmisión o recepción. Esto representa una instantánea en el tiempo del estado de energía, debido a que, con el paso del tiempo, la energía se recolectará y, con el tiempo, los nodos tendrán energía suficiente para la comunicación. En este modelo de red, los nodos están diseñados para transportar datos al servidor 100. El servidor podría estar alimentado por batería o por una compañía eléctrica, pero los nodos están alimentados por dispositivos de recolección de energía. Los nodos realizan una transición entre los estados de REPOSO y de ACTIVACIÓN dependiendo de sus niveles de energía respectivos. Cada nodo requiere una potencia suficiente para transmitir y recibir datos, y para permanecer inactivo en el estado de ACTIVACIÓN.

En un entorno ilustrativo, la EHSN se implementa por toda una aeronave, para fines tales como, por ejemplo, la detección de hielo en superficies exteriores, la medición de presión de cabina en el interior, la detección de proximidad y la supervisión de estado de motor. Las fuentes de energía posibles en un entorno de este tipo incluyen la energía fotovoltaica (solar, de iluminación interior, etc.), vibracional (piezoeléctrica), de gradiente de temperatura, de presión de aire, mecánica (por ejemplo, de botones pulsadores) y de RF ambiental.

La realización ilustrativa de la figura 1 emplea un nuevo paradigma de comunicación de EHSN. Mientras que el objetivo en una red alimentada por batería es maximizar la vida útil (los nodos siempre están disponibles pero necesitan conservar energía), el objetivo de la EHSN es maximizar el rendimiento / calidad de servicio, de una forma supeditada a restricciones de recolección de energía. Los protocolos de interconexión en red de baja energía usados para redes de sensores alimentados por batería no son óptimos para una EHSN. En una EHSN, la mayor parte del consumo de energía es para fines de comunicación, debido a que la transmisión y la recepción de datos requieren una cantidad relativamente grande de energía, e incluso una escucha inactiva requiere el uso de energía. Cuando un nodo agota su energía, este entra en el estado de REPOSO e hiberna hasta que se haya recolectado energía suficiente. Un desafío clave con una EHSN es que el proceso de recolección de energía es incontrolable y la temporización es desconocida. Dicho de otra forma, no hay conocimiento alguno acerca de cuándo un nodo habrá recolectado energía suficiente para volver a entrar en el estado de ACTIVACIÓN. Esto hace, a su vez, que sea difícil proporcionar unas garantías de interconexión en red deterministas.

La figura 2 es un diagrama esquemático o de bloques de un sensor de recolección de energía 200. El sensor de recolección de energía 200 incluye elementos de hardware que son bien entendidos por los expertos en la materia. En esta realización, el sensor de recolección de energía 200 incluye un dispositivo de recolección de energía 210 que suministra energía eléctrica 214 a un dispositivo de almacenamiento de energía 220. La energía almacenada procedente del dispositivo 220 es consumida por un sensor de baja potencia 230, un microcontrolador 240 y un transceptor inalámbrico 250, que transmite y recibe datos a través de la antena 260. Como es indicado por la referencia 212, la energía ambiental en forma de energía solar, térmica, vibracional, eólica, de RF, etc., es recogida por el dispositivo 210.

Comparación con enfoques alternativos

Esta divulgación aborda un problema pendiente de programación y encaminamiento entre dispositivos de recolección de energía. Las soluciones de encaminamiento y de programación disponibles en la actualidad no cumplen con el requisito operativo deseado de soportar implementaciones de múltiples saltos de sensores de recolección de energía. Para el problema secundario de la programación, las implementaciones de red de sensores habituales se basan en una implementación de una norma por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) denominada IEEE 802.15.4, que se basa en el esquema de acceso múltiple con detección de portadora (CSMA). Sin embargo, CSMA no es adecuado para las redes de recolección de energía de múltiples saltos por varias razones. En primer lugar, para habilitar operaciones de baja energía, los nodos se sincronizan con un reloj global para garantizar que todos los nodos están activos durante el mismo período de tiempo para la transmisión. Sin esta sincronización global, los nodos transmiten paquetes sin saber que los receptores tienen energía suficiente para recibir paquetes. En segundo lugar, los paquetes de control de 802.15.4, tales como solicitud de envío (RTS) y autorización de envío (CTS), ya no resuelven problemas de acceso múltiple tales como el "problema de terminal oculto" cuando los nodos de red pueden estar hibernando para recolectar energía. El enfoque inventivo de esta divulgación resuelve estos problemas al configurar los receptores para enviar balizas tras recolectar energía suficiente, permitiendo que los transmisores aprendan acerca de los retransmisores factibles con una tara mínima.

Bluetooth de Baja Energía (BLE) es una capa de MAC alternativa orientada a implementaciones del Internet de las Cosas (IoT) de baja potencia. Sin embargo, los protocolos Bluetooth establecen unas relaciones de "maestro - esclavo" entre dispositivos y carecen de la flexibilidad de una implementación de malla. En una solución de malla, cuando algunos nodos tienen energía insuficiente para reenviar datos, se pueden usar, en su lugar, otros nodos para reducir el retardo de paquetes.

El problema secundario de encaminamiento se resuelve tradicionalmente o bien a través de protocolos de encaminamiento proactivo (por ejemplo, Abrir en Primer Lugar el Camino Más Corto (OSPF) o Encaminamiento de Estado de Enlace Optimizado (OLSR)) o bien a través de protocolos de encaminamiento reactivo (Vector de Distancia a Petición ad hoc (AODV) o Encaminamiento de Fuente Dinámico (DSR)). Estos protocolos establecen unas rutas fijas entre cada sensor y el servidor, y reenvían paquetes a lo largo de esas rutas. Sin embargo, cuando un retransmisor

intermedio se queda sin energía, los paquetes han de esperar al proceso de recolección antes de recorrer la red. La solución de los inventores de la presente invención usa un reenvío oportunista, que elige un retransmisor de una forma paquete a paquete basándose en qué nodos tienen energía suficiente. Esto habilita que el uso de energía se distribuya por la red, permitiendo que la EHSN cumpla con requisitos de desempeño de aplicaciones bajo unas restricciones de recolección de energía restrictivas.

Protocolo de MAC de EHSN

Esta sección detalla los detalles de un protocolo de MAC de EHSN propuesto. MAC de EHSN está diseñado para la comunicación de nodo de recolección de energía (EH) a nodo de EH, así como la comunicación de nodo de EH a nodo alimentado. Para facilitar la comunicación con los receptores de recolección de energía, MAC de EHSN usa un balizamiento iniciado por receptor en el que los receptores son responsables del balizamiento para alertar a los vecinos de que estos están en el estado activo (o de ACTIVACIÓN). Esto tiene el doble efecto de dispersar la tara de manera uniforme entre transmisores y receptores, y de proporcionar información para que los transmisores adopten decisiones de encaminamiento y de reenvío.

Una visión general del protocolo se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3. El diagrama de flujo de la figura 3 representa el funcionamiento de un sensor, o nodo, en cada uno de los estados de RECEPCIÓN, de TRANSMISIÓN y de REPOSO. Por lo general, los nodos se configurarán para funcionar de esta forma a través de software. Por lo tanto, los expertos en la materia entenderán que se puede escribir un código de programa con el fin de configurar cada nodo para funcionar de acuerdo con el diagrama de flujo.

Como se muestra, de acuerdo con el protocolo de MAC de EHSN, los nodos funcionan en un estado de RECEPCIÓN 300, un estado de TRANSMISIÓN 400 o estado de REPOSO 500. Los nodos entran en el estado de REPOSO 500 para recolectar energía suficiente para la comunicación. Los nodos permanecerán en este estado hasta que se haya recolectado energía suficiente, según sea determinado por un umbral de activación en el nivel de batería. En la figura 3, esto se indica en el número de referencia 510. Tras activarse como se indica en 520, los nodos entrarán o bien en el estado de RECEPCIÓN 300 o bien en el estado de TRANSMISIÓN 400, lo que es determinado por una función (potencialmente no determinista) del retraso acumulado (se podría usar cualquier función para elegir Transmisión o Recepción; por ejemplo, la función podría ser aleatoria, como en el lanzamiento de una moneda, o podría ser "entrar en el estado de Transmisión si el retraso acumulado es mayor que un umbral"). El funcionamiento de los nodos en los estados de RECEPCIÓN y de TRANSMISIÓN se explica a continuación.

Estado de RECEPCIÓN 300

Como se puede ver, el estado de RECEPCIÓN 300 comprende un número de construcciones iterativas (ramificación o bucle) representadas por unos bloques en forma de rombo que incluyen los bloques 320, 340, 370, 360 y 380. Cada uno de estos bloques en forma de rombo implementa una función de ramificación o de bucle, como será evidente para los expertos en la materia. Además, el estado de RECEPCIÓN 300 incluye unos bloques en forma de rectángulo 310, 330 y 350. Estos bloques realizan una función específica y, entonces, proceden al siguiente bloque en el diagrama de flujo.

Un nodo en el estado de RECEPCIÓN 300 es responsable de emitir una baliza para alertar a sus vecinos de que este ha entrado en un estado activo, y de entonces estar atento a que un transmisor vecino comience la transmisión de un paquete. La baliza enviada por el receptor es un mensaje de Listo Para Recibir (RTR) 350. Este paquete es un paquete corto que contiene la dirección del receptor. Las extensiones opcionales incluyen añadir información relacionada con la longitud de cola o el estado de batería. Tras activarse al estado de RECEPCIÓN 300, el nodo realiza una evaluación de canal libre (CCA) 340 antes de enviar el RTR, para evitar colisiones con transmisiones de paquetes en curso. Si el medio está libre, el nodo envía la baliza de RTR 350 y entra en un estado de escucha 360. El estado de escucha dura o bien hasta que se detecta una transmisión de paquetes 380, o bien hasta que ha transcurrido suficiente tiempo 370, dado por el intervalo de retroceso máximo de un transmisor. Esto garantiza que, si un transmisor detecta el RTR, este tiene tiempo suficiente para responder al mismo. Tras la detección de un paquete, el nodo recibe el paquete 310 y envía un acuse de recibo (ACK) 330 si este se recibió correctamente 320 y el mismo estaba destinado a ese receptor.

Estado de TRANSMISIÓN 400

El estado de TRANSMISIÓN 400 incluye un número de construcciones iterativas en forma de rombo (ramificación o bucle), así como un número de funciones en forma de rectángulo que emprenden una acción específica y, entonces, proceden al siguiente bloque. El estado de TRANSMISIÓN 400 incluye un estado previo a RTR 420 y un estado posterior a RTR 430. El bloque de decisión 410 determina si el nodo está dentro del alcance del servidor y se bifurca o bien al estado previo a RTR 420 o bien al estado posterior a RTR 430. Si el nodo está dentro del alcance del servidor 100 (figura 1), entonces no es necesario que este entre en el estado previo a RTR 420 y, en su lugar, procede desde el bloque 410 directamente al estado posterior a RTR 430 y al bloque 432. Por otro lado, si el nodo no está dentro del alcance del servidor, entonces este procede desde el bloque 410 al estado previo a RTR 420 en el bloque 422. Además

del bloque 410, el estado de TRANSMISIÓN 400 incluye unos bloques iterativos 423, 425, 426, 433 y 435, así como unos bloques funcionales 422, 424, 427, 432, 434, 436 y 437.

En el estado de TRANSMISIÓN 400, el nodo espera hasta que detecta que un nodo vecino está activo, e intenta reenviar un paquete a ese nodo. Tras activarse, el nodo entra en un estado de escucha de baja potencia 424 y espera una baliza de RTR enviada por un receptor, como se indica en el número de referencia 425. Tras recibir una baliza de RTR, si el transmisor tiene un paquete que enviar a ese receptor (número de referencia 426), como se determina a través del esquema de retransmisión oportunista descrito a continuación, el transmisor espera un número de ranuras igual a su contador de retroceso (número de referencia 432), realiza una CCA 433 y, entonces, envía el paquete 434 si el canal está inactivo. Tras una transmisión con éxito, determinada por la recepción de una señal de acuse de recibo (ACK) inmediatamente después de la transmisión (número de referencia 435), el transmisor restablece el exponente de retroceso y el contador de retroceso. Si no se recibe ACK alguno, se aumenta el exponente de retroceso y se restablece el contador de retroceso (número de referencia 436). MAC de EHSN usa un procedimiento de retroceso exponencial similar al de CSMA / CA (CSMA con Evitación de Colisión). El procedimiento de retroceso está destinado a resolver la competición entre transmisores cuando se radiodifunde un RTR y múltiples transmisores tienen paquetes que enviar. Al aumentar el exponente de retroceso tras las colisiones, el contador de retroceso se adapta al número de nodos que actualmente compiten por el canal. Sin embargo, el uso del procedimiento de retroceso de CSMA sin balizamiento de RTR conduce al colapso por inanición de los sensores lejos del servidor.

La figura 4 es un diagrama de temporización ilustrativo para dos nodos. En este ejemplo, los recuadros sombreados se refieren a transmisiones y los recuadros no sombreados se refieren a recepciones. Supóngase que se tienen dos nodos, el nodo X y el nodo Y. La línea de tiempo de debajo corresponde al nodo X y la línea de tiempo de arriba corresponde al nodo Y. Lo primero que sucede es que el nodo Y se activa, y esto es seguido por la activación del nodo X y la transmisión de una baliza de RTR. La baliza de RTR procedente del nodo X es recibida por el nodo Y y, entonces, el nodo Y transmite un paquete de datos. Como se muestra, el nodo Y retardó su transmisión el tiempo de retroceso de transmisión predefinido. El paquete de datos procedente del nodo Y es recibido por el nodo X y, entonces, el nodo X transmite una señal de acuse de recibo (ACK). Después de recibir la señal de ACK, el nodo Y vuelve a reposo. El nodo X está atento a otras transmisiones antes de volver a reposo, como se muestra.

Protocolo de retransmisión oportunista

En las topologías de múltiples saltos, se requiere un protocolo de encaminamiento para abordar los desafíos específicos de EHSN. Tradicionalmente, los paquetes se encaminan a través de una topología al calcular la trayectoria fija de menor coste o más corta entre cada origen y destino. Aunque en el entorno de redes de sensores se ha propuesto para redes alimentadas el encaminamiento de trayectoria más corta, cualquier algoritmo de encaminamiento de trayectoria fija adolece de un desempeño deficiente, debido a que los recursos de energía se agotan a lo largo de la ruta planificada, mientras que el resto de la red contiene recursos no usados.

El protocolo de retransmisión oportunista de la invención funciona mediante la selección oportunista de un vecino de salto siguiente basándose en qué vecino tiene energía suficiente para recibir un paquete. Como parte del protocolo de MAC de EHSN, los nodos vecinos envían una baliza de RTR cuando estos se activan desde un estado de REPOSO. Cuando un nodo recibe de un vecino la baliza de RTR, este determina si reenviar un paquete a ese vecino movería el paquete físicamente más cerca del destino. Para utilizar el protocolo, se supone que cada nodo es consciente de la topología física de la red de sensores, una suposición razonable cuando se considera una implementación de red estática. Por lo tanto, basándose en las balizas de RTR recibidas, un nodo reenvía un paquete al primer nodo para enviar un RTR que está más cerca del destino. Esta selección de retransmisor oportunista evita que un nodo espere en un retransmisor en reposo, al tiempo que no requiere para alguna además del proceso de balizamiento del protocolo de MAC de EHSN. Mediante la selección oportunista del retransmisor, se requiere menos tiempo para hallar un nodo que no esté en reposo al que transmitir.

El protocolo de retransmisión oportunista supone una potencia de transmisión fija, elegida de acuerdo con un análisis de potencia. Si un nodo está dentro del alcance de transmisión del servidor, este debería reenviar paquetes directamente al servidor, debido a que la potencia no se puede reducir mediante el envío a un retransmisor adicional. Sin embargo, el alcance de transmisión fijo se debería seleccionar para maximizar el desempeño. Adicionalmente, los nodos transmiten / retransmiten paquetes en el orden en el que se generan los mismos, en lugar del orden de primero en entrar, primero en salir (FIFO) convencional en cada cola. Esto permite que los nodos lejos del servidor mantengan una asignación equitativa de los recursos de interconexión en red. Para aplicaciones de medición, se pueden implementar mecanismos de puesta en cola adicionales para descartar mediciones más antiguas en favor de mediciones nuevas.

Conclusión

El protocolo de comunicación de EHSN descrito en el presente documento puede proporcionar un valor significativo en muchos ámbitos. La detección y la supervisión de estado son componentes críticos de la eficiencia y las

operaciones de fábricas y aeronaves. La tecnología de interconexión en red de EHSN habilita un ámbito de aplicación más grande para implementaciones de sensores y proporciona un valor positivo como sigue.

5 La tecnología de interconexión en red de EHSN proporciona una reducción de costes a través de la simplificación de la complejidad de los sensores: Los sistemas de sensor ya no requieren fuentes de alimentación, lo que supone consideraciones en cuanto al coste, el mantenimiento, las piezas de repuesto, la seguridad, etc. La alimentación es un elemento operativo y del ciclo de vida del sistema significativo y un elemento logístico que es necesario abordar. Esto no es así con las implementaciones de EHSN.

10 Asimismo, la tecnología de interconexión en red de EHSN proporciona una Escala de Implementación de Sensores a través de unos SWAP reducidos: Las plataformas de sensores existentes generalmente se maximizan en términos de Tamaño, Peso y Potencia, y cualquier ahorro de SWAP es un gran discriminador de valor debido a que este crea oportunidades para que se implementen capacidades adicionales, si es necesario.

15 Además, la tecnología de interconexión en red de EHSN proporciona Autonomía de Misión: Hoy en día, que se agote la energía los sensores equivale a una capacidad de misión nula. La capacidad de funcionar y realizar la misión en entornos austeros (por ejemplo, sin energía) es otro discriminador de valor significativo. Por ejemplo, se pueden equipar soldados con sensores y un kit de transporte habitual (incluyendo todo su equipo) sería del orden de 100 a 120 libras (de 45,36 a 54,43 kg), una porción significativa de lo cual incluye paquetes de baterías. La tecnología de EHSN se podría usar para reducir este requisito de batería.

REIVINDICACIONES

1. Una red de sensores de recolección de energía, que comprende:

una pluralidad de sensores de recolección de energía (200-1, 200-2, ...) que funcionan como nodos, en donde cada uno de dichos sensores de recolección de energía está configurado para funcionar de acuerdo con un protocolo de comunicación predefinido; y
un servidor (100) configurado para comunicarse de forma inalámbrica con los sensores de recolección de energía; en donde el protocolo de comunicación predefinido incluye un estado de RECEPCIÓN en el que un nodo transmite una baliza de listo para recibir "RTR" que indica a otros nodos que el nodo está activo y tiene energía suficiente para recibir y retransmitir un paquete de datos, y en el que el nodo entonces está atento a que un nodo transmisor vecino comience la transmisión de un paquete de datos.

2. La red de sensores de recolección de energía de la reivindicación 1, en donde el protocolo de comunicación predefinido incluye adicionalmente un estado de REPOSO y un estado de TRANSMISIÓN.

3. La red de sensores de recolección de energía de la reivindicación 2, en donde un sensor de recolección de energía de la pluralidad de sensores de recolección de energía permanece en el estado de REPOSO hasta que el sensor de recolección de energía haya recolectado un umbral predeterminado de energía.

4. La red de sensores de recolección de energía de la reivindicación 3, en donde, tras recolectar el umbral predeterminado de energía, el sensor de recolección de energía entra en uno del estado de TRANSMISIÓN o el estado de RECEPCIÓN basándose en una función no determinista de un estado de red local.

5. La red de sensores de recolección de energía de la reivindicación 4, en donde la función no determinista determina un modo de funcionamiento basándose en el estado de canal, un retraso acumulado de tráfico, una topología local o características de energía.

6. La red de sensores de recolección de energía de una cualquiera de las reivindicaciones 4 - 5, en donde el sensor de recolección de energía, mientras está en el estado de RECEPCIÓN, radiodifunde una baliza de RTR a una pluralidad de sensores que indica que el sensor de recolección de energía está listo para recibir un paquete de datos; y, tras recibir datos de otro sensor, pone en cola estos datos para su transmisión hacia el servidor.

7. La red de sensores de recolección de energía de una cualquiera de las reivindicaciones 2 - 3, en donde cada nodo encamina paquetes usando una o más balizas de RTR recibidas.

8. La red de sensores de recolección de energía de una cualquiera de las reivindicaciones 2, 3 o 7, en donde el protocolo de comunicación predefinido comprende un protocolo de control de acceso a medios "MAC".

9. Un nodo de recolección de energía, que comprende:

un dispositivo de recolección de energía (210);
un dispositivo de almacenamiento de energía (220) acoplado al dispositivo de recolección de energía;
un microcontrolador (240); y
un transceptor inalámbrico (250) acoplado al microcontrolador;
en donde el microcontrolador y el transceptor inalámbrico son alimentados por el dispositivo de almacenamiento de energía; y
en donde el microcontrolador está configurado para accionar el nodo de recolección de energía de acuerdo con un protocolo de comunicación predefinido que incluye un estado de RECEPCIÓN en el que el transceptor transmite una baliza de listo para recibir "RTR" que indica que el nodo de recolección de energía está activo y tiene energía suficiente para recibir y retransmitir un paquete de datos desde otro nodo, y el nodo de recolección de energía entonces está atento a que un nodo transmisor vecino comience la transmisión de un paquete de datos.

10. El nodo de recolección de energía de la reivindicación 9, en donde el protocolo de comunicación predefinido incluye adicionalmente un estado de REPOSO y un estado de TRANSMISIÓN.

11. El nodo de recolección de energía de la reivindicación 10, en donde el nodo de recolección de energía está configurado para permanecer en el estado de REPOSO hasta que se haya recolectado un umbral predeterminado de energía.

12. El nodo de recolección de energía de una cualquiera de las reivindicaciones 10 - 11, en donde el nodo de recolección de energía encamina paquetes usando una o más balizas de RTR recibidas para deducir información acerca del estado de energía de nodos vecinos.

13. El nodo de recolección de energía de una cualquiera de las reivindicaciones 10 - 12, en donde el protocolo de comunicación predefinido comprende un protocolo de control de acceso a medios "MAC".

14. El nodo de recolección de energía de una cualquiera de las reivindicaciones 9 - 10, que comprende adicionalmente un sensor (230).

5 15. Un método empleado por un primer nodo de recolección de energía en una red que incluye una pluralidad de nodos y un servidor configurado para comunicarse de forma inalámbrica con los nodos, comprendiendo el método:

permanecer en un estado de REPOSO hasta que se haya recolectado un umbral predeterminado de energía; tras recolectar el umbral predeterminado de energía, entrar en un estado de TRANSMISIÓN o un estado de RECEPCIÓN basándose en una función no determinista;

10 en el estado de RECEPCIÓN,

transmitir una baliza de listo para recibir "RTR" que indica que el nodo de recolección de energía está listo para recibir datos y tiene energía suficiente para recibir y retransmitir un paquete de datos desde otro nodo y, entonces, estar atento a que un nodo transmisor vecino en la red de nodos comience la transmisión de un paquete de datos; y

15 recibir datos de un segundo nodo;

en el estado de TRANSMISIÓN:

recibir una baliza de RTR de un nodo; detectar cualquier transmisión en curso;
transmitir datos si no hay transmisión en curso alguna; y
realizar un mecanismo de retroceso si otro nodo está transmitiendo para retardar la transmisión hasta que está libre un canal.

20

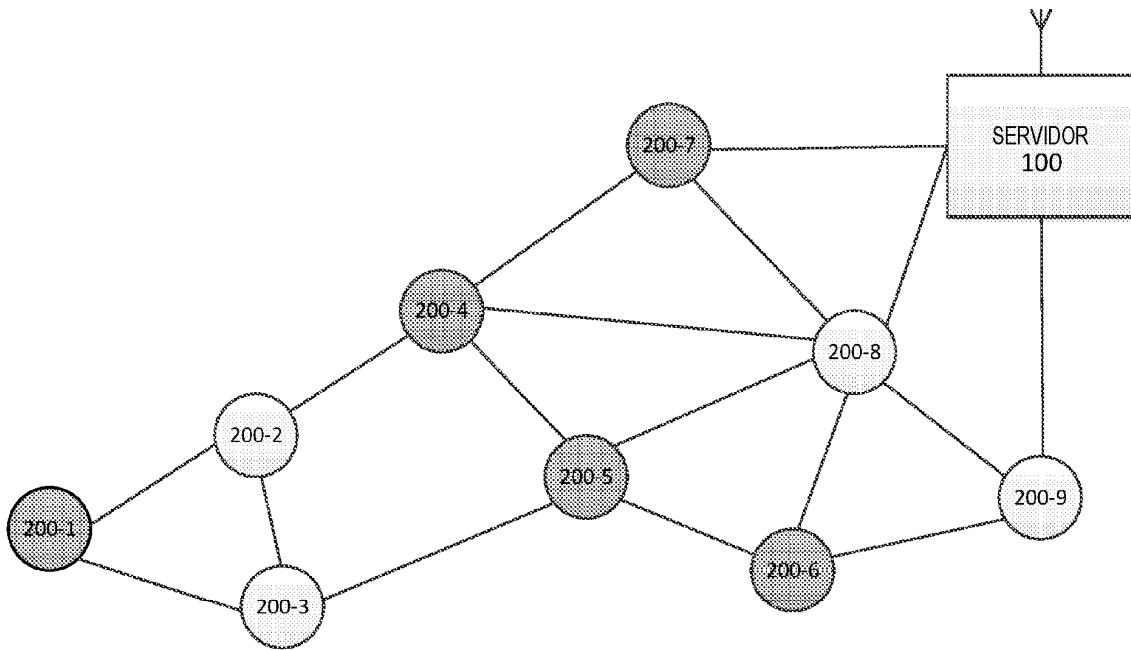


FIGURA 1

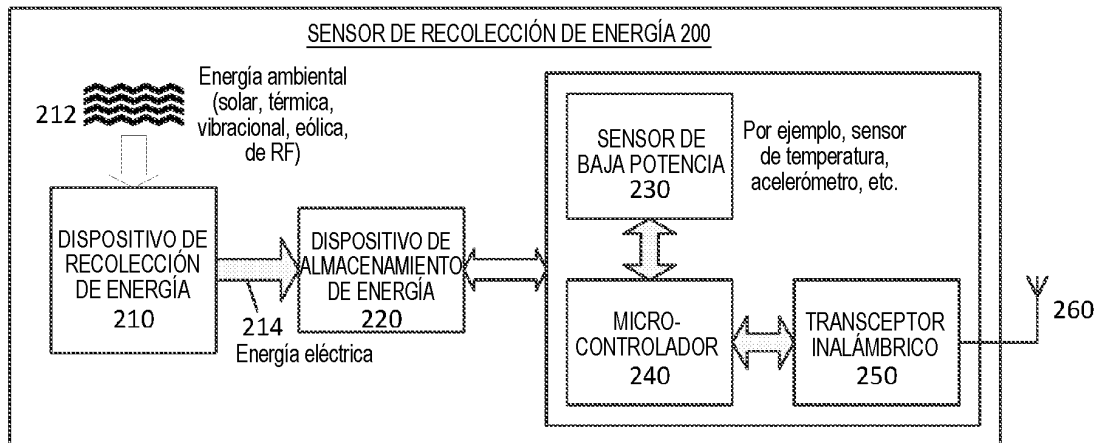


FIGURA 2

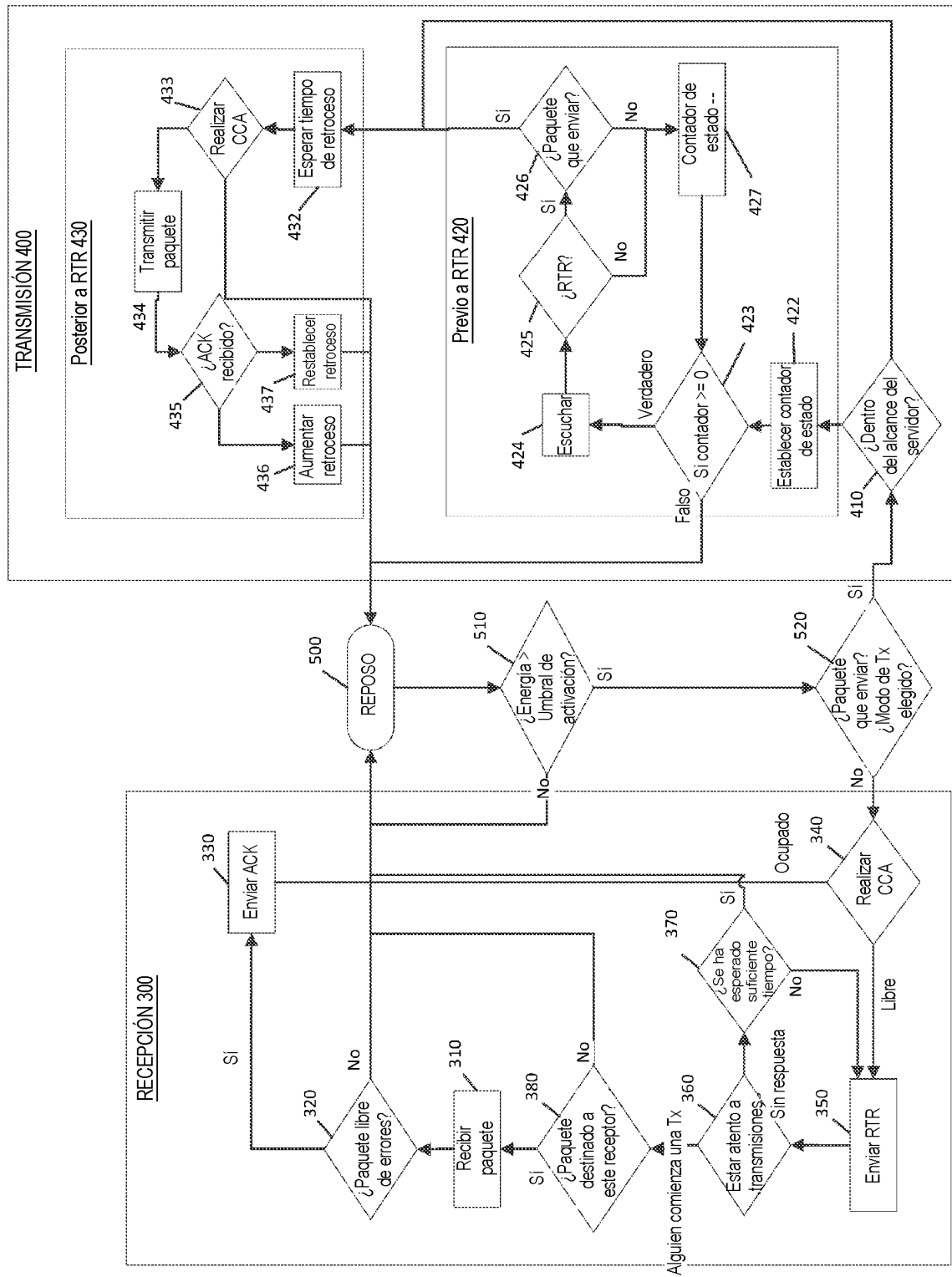


FIGURA 3

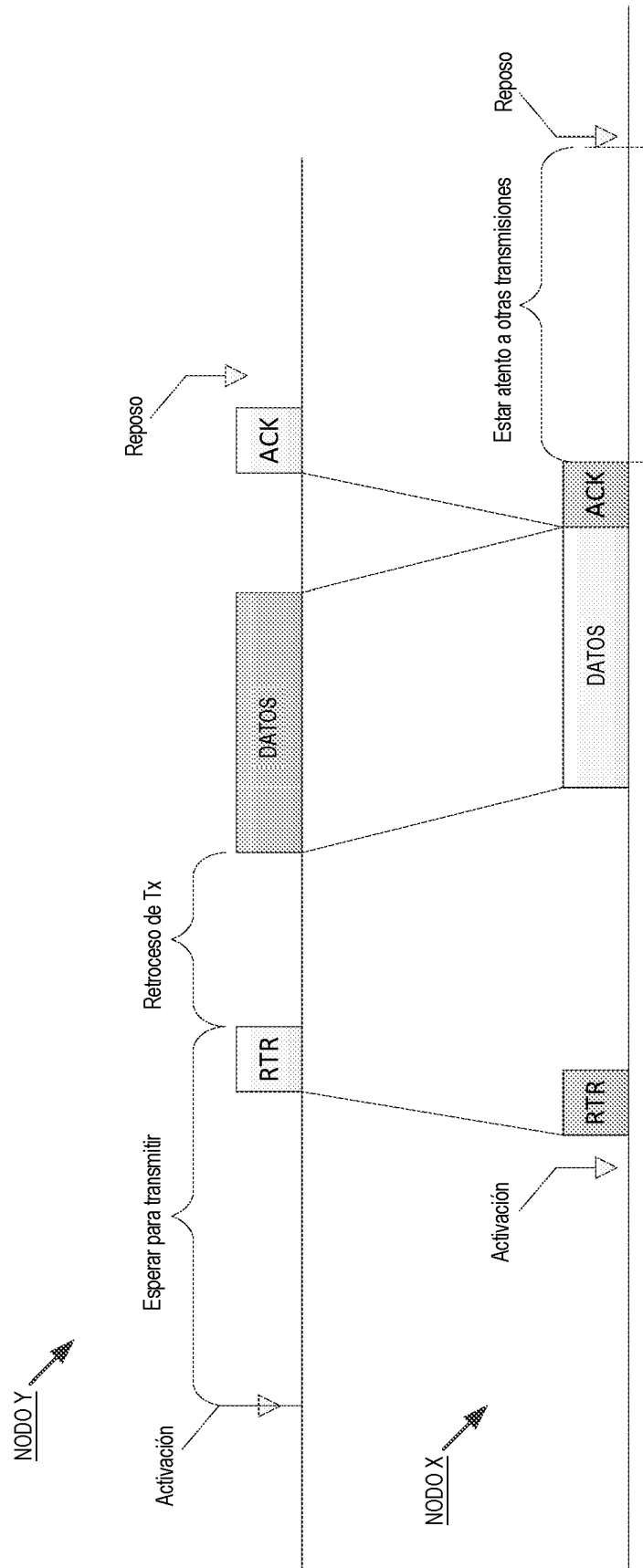


FIGURA 4