

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 665 925**

51 Int. Cl.:

H04W 52/02 (2009.01)

H04L 12/28 (2006.01)

H04B 7/26 (2006.01)

H04J 3/06 (2006.01)

H04W 56/00 (2009.01)

H04W 8/00 (2009.01)

H04W 84/18 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.11.2007 PCT/FI2007/000267**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.05.2008 WO08056023**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2007 E 07848136 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.02.2018 EP 2080320**

54 Título: **Descubrimiento de vecino eficiente energéticamente para redes de sensores inalámbricos móviles**

30 Prioridad:

07.11.2006 FI 20060979

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

30.04.2018

73 Titular/es:

**Wirepas Oy (100.0%)
Visiokatu 4
33720 Tampere, FI**

72 Inventor/es:

**KOHVAKKA, MIKKO;
SUHONEN, JUKKA;
HÄNNIKÄINEN, MARKO y
HÄMÄLÄINEN, TIMO D.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 665 925 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

Descubrimiento de vecino eficiente energéticamente para redes de sensores inalámbricos móviles

Campo técnico

5 La invención se refiere en general a la tecnología de redes de sensores inalámbricos. Especialmente la invención se refiere a la tecnología de mejora de movilidad de nodo en redes de sensores inalámbricos sin aumentar significativamente el consumo de potencia.

Antecedentes de la invención

10 El concepto de una red de sensores inalámbricos (WSN) se refiere a una red de comunicaciones que comprende un número (potencialmente grande) de nodos autónomos que son capaces de establecer y mantener conexiones de comunicación inalámbrica de múltiples saltos a través de una disposición desplegada aleatoriamente de nodos. Contrario a redes inalámbricas ad-hoc de fin general tal como WLAN (Redes de Área Local Inalámbricas), una WSN no tiene por objetivo maximizar la utilización de medio inalámbrico o garantizar tasas de datos posibles más altas. Una preocupación principal en WSN es el consumo de potencia a largo plazo de los nodos, que significa que incluso tasas de datos relativamente modestas y latencias relativamente largas pueden aceptarse si ayudan a minimizar la cantidad media potencia eléctrica consumida. La palabra "sensor" en WSN viene del hecho de que tradicionalmente un área de aplicación importante de WSN se consideró que eran redes de medición estáticas relativas, en las que un gran número de nodos equipados con sensores actúan como nodos de fuente generando datos de medición, que se recogen a un número relativamente pequeño de nodos de destino. Los nodos de destino también pueden actuar como pasarelas que establecen y mantienen comunicaciones entre la WSN y otras redes de comunicaciones.

20 La técnica anterior de WSN y características relacionadas se conocen al menos de las publicaciones WO2006/067271, US 2004/0100917 A1, US 2003/0152041 A1, US 2002/0044533 A1, CA 2 311 245 A1, WO01/69279, WO01/26329 y US 6.208.247 B1. Protocolos conocidos para redes de sensores inalámbricos incluyen el Sensor-MAC (también conocido como S-MAC), el Control de Acceso al Medio Auto-organizado para Redes de Sensores (SMACS), el protocolo de Acceso al Medio Adaptativo de Tráfico (TRAMA) y la norma de Red de Área Personal Inalámbrica de Tasa Baja (LR-WPAN) de IEEE 802.15.4. De estas, el S-MAC se ha descrito en la publicación científica W. Ye, J. Heidemann y D. Estrin: "Medium access control with coordinated, adaptive sleeping for wireless sensor networks," ACM/IEEE Trans. Networking, vol. 12, n.º 3, pp. 493-506, junio de 2004. SMACS se ha descrito en K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi y G.J. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," IEEE Personal Communications, vol. 7, n.º 5, pp. 16 - 27, octubre de 2000. TRAMA se describe en V. Rajendran, K. Obraczka y J.J. García-Luna-Aceves, "Energy-efficient, collision-free medium access control for wireless sensor networks," en Wireless Networks, vol. 12, n.º 1, febrero de 2006, pp. 63-78. Un desarrollo adicional a LRWPAN se conoce como ZigBee y se describe en línea en la página web oficial de la alianza de ZigBee (<http://www.zigbee.org>).

35 Las publicaciones US 5.654.959, US 2004/0143678 A1 y US 6.456.599 B1 representan también soluciones conocidas para redes de comunicación.

40 Tener el objetivo de ahorro final en la energía necesaria para operar un nodo habitualmente significa que comunicaciones inalámbricas en una WSN consisten en periodos de actividad cortos y periodos de reposo largos, durante los que la mayoría de circuitos eléctricos en el nodo están en un modo de suspensión. Mantener el periodo de actividad corto es fácil, cuando temporización se sincroniza por toda la red y cada nodo conoce sus nodos vecinos inmediatos. Estas suposiciones se sustentan razonablemente bien si la movilidad de los nodos es baja. Los problemas surgen si la red tiene que soportar nodos altamente móviles, que puede ser el caso por ejemplo en aplicaciones como control de acceso, seguimiento de activos y juegos interactivos.

45 La Figura 1 ilustra esquemáticamente la transmisión de datos entre un nodo de origen y un nodo de destino en una WSN que utiliza un protocolo MAC (Control de Acceso al Medio) síncrono. En este punto "destino" no significa necesariamente el destino final de datos; este ejemplo únicamente muestra transmisión de datos entre dos nodos que están dentro de sus respectivas áreas de cobertura. Bloques blancos indican transmisión y recepción de señales de baliza. Un rayado simple indica un periodo cuando es posible recepción de datos (el receptor está encendido) y un rayado cruzado indica transmisión de datos. La transmisión 101 de baliza del nodo de destino se recibe en el nodo de origen en 102. De acuerdo con los principios conocidos a partir de por ejemplo la publicación WO2006/067271, la transmisión de baliza contiene toda la información que el nodo de origen necesita saber acerca del nodo de destino para transmitir satisfactoriamente datos al mismo. Después de la transmisión 101 de baliza se produce un periodo 103 de recepción de datos en el nodo de destino. El nodo de origen utiliza esto para hacer su transmisión de datos en 104. El mismo patrón se repite en las etapas 111, 112, 113 y 114. Mientras tanto el nodo de origen puede hacer su propia transmisión de baliza en 105 y tener un periodo 106 de recepción. Estos no son necesarios, si el nodo de origen es un así llamado sub-nodo del nodo de destino.

55 La Figura 1 también ilustra los conceptos de un periodo de activación $T_{activación}$, que consiste en un periodo activo T_{activo} y un periodo de suspensión $T_{suspensión}$. Por razones de claridad gráfica las longitudes relativas de los periodos de tiempo no son realistas en la Figura 1. Habitualmente la longitud del periodo activo T_{activo} es considerablemente

menor de un segundo, mientras que el periodo de suspensión $T_{suspensión}$ puede ser de varios segundos o incluso minutos.

El hecho de que el protocolo MAC es síncrono significa que el nodo de origen conoce cuándo puede esperar la llegada de la transmisión 101 de baliza, de modo que el nodo de origen únicamente necesita mantener su receptor encendido para la recepción de señales de baliza en ese momento exacto. El nodo de origen ha obtenido antes la información necesaria realizando una así llamada exploración de red. En principio el nodo de origen no necesitaría tan siquiera recibir la transmisión de baliza en 102 o al menos no en 112, si puede reducir el momento apropiado para la transmisión de datos al nodo de destino desde alguna señal de baliza que ha recibido anteriormente desde el nodo de destino. Sin embargo, habitualmente es aconsejable recibir todas las señales de baliza, porque también pueden contener información actualizada acerca de la reserva de ranuras mediante otros nodos durante el periodo 103 o 113 de recepción u otra información actual. Recibir regularmente transmisiones de baliza también ayuda a compensar por errores aleatorios en frecuencia de reloj entre nodos.

Imaginemos que el nodo de origen se mueve y finalmente sale del radio de cobertura del nodo de destino. En ese caso el nodo de origen debería encontrar algún otro nodo lo suficientemente cerca para que su nueva ubicación se comunique con el mismo. En otras palabras, el nodo de origen debe hacer una exploración de red. Incluso si existe una frecuencia de baliza de red común en la que se hacen todas las transmisiones de baliza, en el peor caso el nodo de origen debe mantener su receptor de baliza encendido para la duración de todo un periodo de activación para recibir incluso una única transmisión de baliza. El tiempo de encendido del receptor que se requiere para la recepción de una exploración de red se vuelve incluso más largo si el nodo debe escuchar a un número de frecuencias en secuencia. Cuanta más movilidad haya entre los nodos, más frecuente será la necesidad de explorar la red, que puede aumentar dramáticamente el consumo total de energía de una WSN.

Un objetivo de la presente invención es presentar un procedimiento, una disposición y un producto de programa informático de mejora del soporte para movilidad en una WSN sin aumentar considerablemente el consumo total de energía de la red. Otro objetivo de la invención es que el soporte mejorado para movilidad puede implementarse en el marco de protocolos de WSN existentes sin requerir cambios importantes. Aún otro objetivo de la invención es mantener razonables los requisitos de complejidad de hardware en nodos a pesar del soporte mejorado para movilidad.

Los objetivos de la invención se consiguen incluyendo información acerca de nodos vecinos de segundo salto en transmisiones de baliza y utilizando información anteriormente recibida acerca de vecinos de segundo salto cuando se crean nuevas conexiones.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo de nodo para una red de sensores inalámbricos de acuerdo con la reivindicación 1. Un procedimiento de acuerdo con un primer aspecto de la invención se proporciona en la reivindicación 11. Un producto de programa informático de acuerdo con un primer aspecto de la invención se proporciona en la reivindicación 15.

En las reivindicaciones dependientes se proporcionan aspectos adicionales de la invención.

Aunque la topología de una WSN no indica ningún requisito acerca de que los nodos estén estacionarios, existe aún una significativa probabilidad de que el nuevo nodo, con el que un nodo en movimiento quiere comunicar tras perder un enlace con un nodo vecino previo, estuviera ya en algún lugar en una vecindad relativamente concisa alrededor de la ubicación anterior del nodo en movimiento. En su ubicación previa, el nodo en movimiento recibió transmisiones de baliza de nodos vecinos inmediatos y por lo tanto sabía de los mismos. El "conocimiento del vecino" del nodo en movimiento puede extenderse significativamente hacia fuera haciendo que dichos nodos vecinos inmediatos anuncien, preferentemente en las mismas transmisiones de baliza que los nodos cercanos recibirán de cualquier modo, información importante acerca de esos nodos que un nodo en movimiento particular no oye todavía pero que está únicamente a una etapa de distancia en la topología de red.

Si una frecuencia de baliza de red común existe para la realización de todas las transmisiones de baliza de red, lo más importante a anunciar sobre nodos vecinos potenciales de siguiente etapa es la relativa temporización de sus transmisiones de baliza en relación con las del nodo que está haciendo el anuncio. Por lo tanto, un nodo en movimiento sabrá inmediatamente en qué momento debería esperar una transmisión de baliza desde el nodo vecino de siguiente etapa. Si transmisiones de baliza vienen en diferentes canales, la identificación de canal también está entre la información señalizada que recibe ventajosamente un nodo en transmisiones de baliza. De esta manera el nodo en movimiento puede gestionar evitar tener que hacer exploraciones de red completas durante periodos largos. Reducir significativamente la ocurrencia media de exploraciones de red significará ahorros drásticos en el consumo de potencia medio de una WSN en la que se permiten que nodos se muevan frecuentemente.

Las realizaciones ilustrativas de la invención presentadas en esta solicitud de patente no deben interpretarse como que presentan limitaciones a la aplicabilidad de las reivindicaciones adjuntas. El verbo "comprender" se usa en esta solicitud de patente como una limitación abierta que no excluye la existencia de características no enumeradas. Las características enumeradas en las reivindicaciones dependientes son mutuamente libremente combinables a no ser que se indique explícitamente de otra manera.

Las características nuevas que se consideran como características de la invención se exponen en particular en las reivindicaciones adjuntas. La invención en sí, sin embargo, tanto en cuanto a su construcción como su procedimiento de operación, junto con objetos adicionales y ventajas de la misma, se entenderá mejor a partir de la siguiente descripción de realizaciones específicas cuando se leen en conexión con los dibujos adjuntos.

5 **Breve descripción de los dibujos**

- La Figura 1 ilustra transmisión y recepción en un par de nodos de una WSN de la técnica anterior,
- la Figura 2a ilustra una topología de una WSN ilustrativa,
- la Figura 2b ilustra una topología de árbol de múltiples agrupaciones
- la Figura 3 ilustra un calendario de transmisión de baliza ilustrativo,
- 10 la Figura 4 ilustra la aplicación de un protocolo de descubrimiento de vecino en una WSN,
- la Figura 5 ilustra un procedimiento de reacción ante fallo de enlace,
- la Figura 6 ilustra algunos bloques funcionales de un nodo ilustrativo,
- la Figura 7 ilustra la composición de un programa de control de nodo ilustrativo,
- la Figura 8 ilustra la división de energías en ciertas partes analizadas separadamente,
- 15 la Figura 9 ilustra ciertos conceptos topológicos usados en el análisis de energía,
- la Figura 10 ilustra tiempo de exploración de red requerido calculado como una función de tasa de transmisión de baliza de red,
- la Figura 11 ilustra potencia de mantenimiento de red calculada para nodos que se mueven lentamente,
- la Figura 12 ilustra potencia de mantenimiento de red calculada para nodos que se mueven a velocidad moderada,
- 20 la Figura 13 ilustra potencia de mantenimiento de red calculada para nodos que se mueven a velocidad alta,
- la Figura 14 ilustra la tasa de baliza óptima como una función de movilidad de nodo, y
- la Figura 15 ilustra la tasa de baliza óptima como una función de densidad de nodo.

TRANSMISIONES DE BALIZA

25 Mantener información acerca de nodos vecinos de acuerdo con una realización de la invención está relacionado estrechamente con hacer transmisiones de baliza. A continuación, se considerarán primero algunas formas alternativas de organizar transmisiones de baliza en una WSN. El concepto de una transmisión de baliza está bien establecido en el campo de redes de sensores inalámbricos. Significa una transmisión de tipo radiodifusión informativa que al menos algunos nodos emitirán de forma repetitiva de acuerdo con un calendario predefinido con el fin de hacer que otros nodos alrededor de ellos sean conscientes de su existencia y también para dar a dichos otros nodos información de sincronización que pueden usar en el establecimiento de una conexión de transmisión de datos activa con el nodo que hizo la transmisión de baliza. En general se puede decir que transmisiones de baliza transportan información relacionada con control de conexiones de red y transferencia de datos entre nodos. Algunas fuentes usan la designación "paquete de sincronización" para describir esencialmente la misma cosa que en este punto se llama una transmisión de baliza.

30 El enfoque de la norma IEEE 802.15.4 LR-WPAN a transmisiones de baliza se explicó anteriormente en asociación con la Figura 1. Como una alternativa ilustrativa se considerará una división en señales de baliza de red y señales de baliza de agrupación, así como la división en señales de baliza activas y señales de baliza en reposo que se conocen a partir de la publicación WO2006/067271.

40 La Figura 2a es una ilustración gráfica ilustrativa de la topología de una red 200 de sensores inalámbricos. El protocolo de comunicaciones de esta red divide los nodos en nodos de cabecera y sub-nodos; para los fines de la presente invención una división de este tipo no es esencial, pero ayuda a clarificar ciertos conceptos. Existe un número de nodos que actúan como nodos de cabecera, mostrados como círculos negros, como los nodos 201 y 211 de cabecera. Cada nodo de cabecera tiene uno o más sub-nodos 202 o 212, mostrados como pequeños círculos blancos, que comunican directamente con el nodo de cabecera. Juntos un nodo de cabecera y los sub-nodos que comunican directamente con dicho nodo de cabecera constituyen una agrupación 203 o 213. Comunicaciones entre agrupaciones tienen lugar a través de conexiones par a par entre los nodos de cabecera. Salto múltiple se soporta y habilita básicamente comunicaciones entre un par arbitrariamente seleccionado de nodos en la red.

50 Algunos de los nodos pueden actuar como nodos de destino, significando que son usuarios de información (mientras los otros nodos son esencialmente productores de información) y pueden proporcionar conexiones de pasarela a otros sistemas y/o otras redes. Nodos de destino se muestran con círculos blancos grandes, como nodo 204 de destino. Un nodo de destino podría ser por ejemplo un accionador o un concentrador de datos. Un nodo de destino no se excluye de producir información; en otras palabras, la división en nodos productores de información y nodos usuarios de información no tiene que ser definitiva.

55 A diferencia de las células de sistemas de radio celulares, una agrupación no pretende tener un área de cobertura definida; ni existe ningún objetivo particular para proporcionar cobertura geográfica extensiva o continua. La capacidad de comunicaciones se necesita únicamente en áreas en las que hay nodos, y por otra parte los nodos se adaptan para traer aparejadas la capacidad de comunicaciones requerida por ellos mismos sin configuración exterior. El número de sub-nodos en cualquier agrupación puede variar dinámicamente, pueden establecerse

nuevas agrupaciones, pueden disolverse o dividirse viejas agrupaciones y la "red principal" de conexiones entre nodos de cabecera puede cambiar su topología dependiendo de cuál de los dispositivos de nodo elija actuar como nodos de cabecera. Una red de sensores inalámbricos habitualmente se autoconfigura y es dinámicamente adaptativa a cambios tales como aparición y desaparición de nodos de cabecera y sub-nodos, cambios en las ubicaciones físicas de los nodos, cambios en condiciones de propagación de señal entre los nodos y así sucesivamente.

Desde ciertas fuentes se conoce una división así llamada Dispositivos de Funcionalidad Reducida (RFD), que únicamente son capaces de actuar como sub-nodos, así como Dispositivos de Funcionalidad Completa (FFD), que puede actuar o bien como sub-nodos o bien como nodos de cabecera. Las designaciones "RFD" y "FFD" son específicas a la norma IEEE 802.15.4 LR-WPAN. Lo que un FFD debe tener como capacidades adicionales a las de RFD incluye principalmente encaminamiento y agregación de datos. Para los fines de la presente invención es irrelevante si existe o no tal categorización de nodos.

La Figura 2b ilustra una así llamada topología de árbol de agrupaciones múltiples. Las agrupaciones 250 consisten en sub-nodos (pequeños círculos blancos) que comunican con un nodo de cabecera (círculo negro). Varias (en este punto: dos) estructuras de árbol de agrupaciones se superponen. En cada una de ellas, los nodos de cabecera mantienen sincronización con otros nodos de cabecera, pero han seleccionado esos otros nodos de cabecera de formas ligeramente diferentes en las dos diferentes estructuras. Una primera estructura de árbol de agrupaciones se ilustra con líneas continuas gruesas entre nodos de cabecera y conduce a un primer destino 251. Una segunda estructura de árbol de agrupaciones se ilustra con líneas discontinuas gruesas entre nodos de cabecera y conduce a un segundo destino 252. La diferente estructura de árbol de agrupaciones también podría tener un destino común.

La topología de árbol de agrupaciones múltiples, en la que diversas estructuras de árbol de agrupaciones se superponen, permite una gran robustez de red y eficiente encaminamiento de trayectorias múltiples. Cada nodo de cabecera se asocia con varios padres, que pueden tener trayectorias para diferentes destinos y diferentes métricas de rendimiento de encaminamiento. Por lo tanto, la topología de árbol de agrupaciones múltiples puede combinar los avances de una topología de árbol de agrupaciones bien organizada y eficiente energéticamente con la flexibilidad de una topología de malla.

La Figura 3 ilustra consideraciones de temporización para transmisiones dentro de una agrupación. De acuerdo con la Figura 3, el ciclo 301 de acceso que consiste en una supertrama 302 y un periodo 303 de reposo. La longitud de tiempo relativa de la supertrama 302 se ha exagerado por razones de claridad gráfica en la Figura 3; aunque la longitud del ciclo 301 de acceso es un parámetro de sistema y puede variar dependiendo de rendimiento deseado y valores de retardo, la supertrama 302 habitualmente ocupa una porción relativa más pequeña de la supertrama que en la Figura 3. Como un ejemplo, la longitud del ciclo 301 de acceso puede estar entre 1 y 10 segundos, mientras una longitud sugerida para la supertrama 302 es de 260 ms.

La supertrama 302 comprende un número de ranuras. En muchas implementaciones prácticas, en la primera ranura 311 de la supertrama el nodo de cabecera de la agrupación transmite una señal de baliza de agrupación. Las restantes ranuras se usan para transmisión de datos; por ejemplo, algunas ranuras 312 sobre la base de contención simple y otras ranuras 313 como ranuras reservables. De nuevo, una división de este tipo de ranuras únicamente aparece en este punto como un ejemplo no limitante.

Básicamente sería posible decidir que la señal de baliza de agrupación se transmite a alguna otra ubicación dentro de la supertrama en lugar de su comienzo. Sin embargo, comenzar la supertrama con la señal de baliza de agrupación tiene ciertas ventajas. Es fácil para los otros nodos sincronizarse a sí mismos a la estructura de ranura de la supertrama cuando comienza con la señal de baliza de agrupación. Adicionalmente ya que la señal de baliza de agrupación contiene preferentemente la información más reciente acerca de las asignaciones de ranura que se refieren a las ranuras reservables, es bueno para los otros nodos que reciban esta información antes de la ocurrencia de las ranuras usadas para el intercambio datos.

En algunas implementaciones prácticas cada ranura que consiste en una primera mitad y una segunda mitad. Con respecto a la ranura 311 de baliza de agrupación, la primera mitad 321 puede usarse para transmitir una trama de baliza de agrupación en un primer nivel de potencia (en este punto un nivel de potencia alto) y la segunda mitad 322 para transmitir una copia esencialmente idéntica de la misma trama de baliza de agrupación en un segundo nivel de potencia (en este punto un nivel de potencia bajo). El uso de diferentes niveles de potencia se refiere a determinar la distancia entre nodos y la potencia de transmisión requerida para otras transmisiones. Usar dos niveles de potencia diferentes y comprobar si únicamente el nivel de potencia más alto o ambos pueden recibirse correctamente, habilita la utilización de electrónica receptora muy simple y más probablemente la implementación de menor coste, porque no se requiere una circuitería de medición de intensidad de señal, por ejemplo, Indicador de Intensidad de Señal Recibida (RSSI). Si se requiere más resolución en mediciones de calidad de enlace, una alternativa fácil es aumentar el número de diferentes niveles de potencia a los que se transmiten las balizas y examinar cuál es el nivel de potencia mínimo al que una baliza pasa lo suficientemente fuerte para recibirse correctamente. Las mitades de las ranuras de transmisión de datos se asignan para transmisión de enlace ascendente y enlace descendente. En este caso ilustrativo la primera mitad 323 de una ranura 313 reservable es la mitad de enlace ascendente y la segunda mitad 324 es la mitad de enlace descendente respectivamente.

Hacer que las mitades de enlace ascendente y enlace descendente (o más generalmente: instantes de transmisión de enlace ascendente y enlace descendente) se sigan entre sí muy rápido y en este orden facilita la selección de la potencia de transmisión para la transmisión de enlace descendente sobre la base de una potencia de transmisión usada para la transmisión de enlace ascendente. Un nodo haciendo una transmisión de enlace ascendente seleccionará su potencia de transmisión de enlace ascendente sobre la base de cómo de bien puede recibir señales de baliza desde el nodo al que está transmitiendo. La potencia de enlace ascendente seleccionada se declara más ventajosamente en un campo de encabezamiento incluido en la transmisión de enlace ascendente. El nodo que recibe la transmisión de enlace ascendente lee el valor de dicho campo de encabezamiento y selecciona la correspondiente potencia de transmisión de enlace descendente. La cercanía en tiempo del par de transmisión de enlace ascendente-enlace descendente asegura que condiciones de propagación de señal probablemente han permanecido esencialmente las mismas.

El uso de ranuras de enlace descendente no es siempre necesario; al menos si la tarea principal de una red es transportar datos bastante unidireccionalmente desde sub-nodos a la dirección de destinos. Sin embargo, el mantenimiento de información de encaminamiento necesita en la mayoría de casos que transmisión de enlace descendente sea al menos posible, aunque la capacidad de enlace descendente no necesita ser simétricamente igual a la capacidad de enlace ascendente. Utilización de canal eficiente no es un problema principal en WSN, ya que tasas de datos son muy bajas.

Además de transmisión de señales de baliza de agrupación y emisión de transmisiones de enlace descendente dentro de las ranuras apropiadas de la supertrama 302, un nodo de cabecera transmite señales de baliza de red en un canal de red. Para únicamente requerir que el nodo de cabecera tenga un único transmisor de radio, es ventajoso planificar la transmisión de las señales de baliza de red para que tengan lugar durante el periodo 303 de reposo. En la realización ilustrativa de la Figura 3 un nodo de cabecera transmite una sí llamada señal 331 de baliza de red activa una vez durante cada ciclo 301 de acceso. En este punto la transmisión de la señal 331 de baliza de red activa se planifica para tener lugar muy al final de cada ciclo de acceso, de modo que la señal 331 de baliza de red activa se sucederá inmediatamente por la transmisión de la señal de baliza de agrupación en el comienzo de una supertrama. Adicionalmente el nodo de cabecera transmite un número de así llamadas señales 332 de baliza de red en reposo durante el resto del periodo 303 de reposo. En este punto el número de señales de baliza de red en reposo por ciclo de acceso es uno, pero podría ser cero o más de uno. El periodo 333 de baliza es la longitud de tiempo entre el comienzo de una red señal de baliza y el comienzo de la siguiente señal de baliza de red. Si el nodo de cabecera transmite señales de baliza de red en intervalos exactamente constantes, el periodo 333 de baliza es una constante bien definida y su inversa puede llamarse la tasa de baliza. Si balizas de red se transmiten en intervalos variables, pueden calcularse un periodo de baliza medio y una correspondiente tasa de baliza media.

DATOS VECINOS DE DISTRIBUCIÓN

La presente invención no es sensible a la selección si nodos se dividen en nodos de cabecera y sub-nodos, o a cualquier otra clase de nodos. Sin embargo, en esta descripción se usará la designación "nodo padre" para significar un nodo cercano desde los que un nodo está recibiendo transmisiones de baliza. La Figura 4 ilustra número de nodos en una WSN de acuerdo con una realización de la invención. El nodo M puede recibir transmisiones de baliza desde los nodos I y L; por lo tanto, nodos I y L son nodos padre del nodo M. De forma similar el nodo M es un nodo padre del nodo K, porque K puede recibir transmisiones de baliza desde el nodo M. Se supone que incluso si fuera físicamente posible que el nodo M recibiera transmisiones de baliza desde el nodo J, especificaciones de sistema dicen que un nodo debería mantener únicamente sincronización con un máximo de dos nodos padre. Este número de cuántos nodos deberían mantenerse en una "lista de preferencia" es un importante parámetro de red y se analizará en más detalle más adelante. Otra posibilidad es que el nodo J es un sub-nodo del nodo M (si el concepto de a sub-nodo existe en esta red) y no hace ninguna transmisión de baliza propia.

De acuerdo con una realización de la invención, una transmisión de baliza también contendrá información acerca de nodos vecinos. Por lo tanto, la transmisión de baliza que el nodo M recibe desde el nodo I puede transportar el siguiente contenido de información al nodo M:

"Nodo I, canal 55, vecinos(canál 12, +100 ms; canal 35, +150 ms)".

De manera similar, la transmisión de baliza 402 que el nodo M recibe desde nodo L puede transportar el siguiente contenido de información al nodo M:

"Nodo L, canal 21, vecinos(canál 56, +450 ms; canal 16, +390 ms)".

Obsérvese que, ya que la transmisión de baliza es del tipo de radiodifusión y no dirigida particularmente a ningún nodo específico, las transmisiones de baliza hechas por nodos I y L también contendrá información acerca del nodo M (ya que se asume a continuación que también el nodo M hará transmisiones de baliza). Sin embargo, ya que un nodo apenas necesita ninguna información externa para saber lo que la misma está haciendo, únicamente se hablará acerca de la información actual que un nodo verdaderamente adquiere recibiendo las transmisiones de baliza.

Los valores de compensación indican, cuánto tiempo pasará desde la transmisión de baliza que anuncia el valor de compensación hasta la ocurrencia de la transmisión de baliza del otro nodo indicada mediante el valor de compensación. En otras palabras, por ejemplo, el nodo B hará su transmisión de baliza 150 ms más tarde que el nodo I.

- 5 En este ejemplo obsérvese también que no todos los nodos que hacen transmisiones de baliza lo harán en algún canal de baliza de red común. Si ese fuera el caso, no sería necesario anunciar los diferentes indicadores de canal de los nodos vecinos en las transmisiones de baliza, sino que sería suficiente anunciar únicamente los valores de compensación.

10 Debido a la recepción de las transmisiones 401 y 402 de baliza, el nodo M ha acumulado conocimiento acerca de los nodos A, B, H y G. A continuación, se considerará la transmisión de baliza que el nodo K recibirá desde el nodo M. Naturalmente sería posible hacer que el nodo M informe al nodo K todo lo que sabe, es decir incluso la información relativa a los nodos A, B, H y G. Sin embargo, suponiendo que el nodo K se moverá de modo que finalmente su enlace de comunicación con el nodo M se deteriorará, en la topología de la Figura 4 es improbable que se mueva a una ubicación en la que podría escuchar mejor uno de los nodos A, B, H o G, sin primero pasar a través de algún lugar en el que la mejor contraparte de comunicaciones posible sea o bien el nodo I o nodo L. Por lo tanto, intuitivamente es suficiente hacer que el nodo M informe al nodo K acerca de los nodos I y L. También, ya que el número de nodos desde los que se acumula información aumentará de otra manera a una potencia por cada etapa hacia nodos adicionales, muy pronto será físicamente inviable describir excepto para los pocos nodos más cercanos en una transmisión de baliza. Por lo tanto, la transmisión de baliza 403 que el nodo K recibe desde el nodo M transporta más ventajosamente el siguiente contenido de información al nodo K:

"El nodo M, canal 07, vecinos(canal 55, +220 ms; canal 21, +120 ms)".

25 Se introducirá el concepto de una "unidad de datos de sincronización", conocida mediante el acrónimo SDU. Una SDU es una pieza de información digital que informa a un nodo cómo debe actuar para recibir una transmisión de baliza de una manera directa y bien dirigida desde un nodo desde el que aún no está recibiendo activamente transmisiones de baliza. Requerir que la recepción sea directa y bien dirigida significa que la SDU debe proporcionar instrucciones precisas que conduzcan directamente a encontrar la nueva transmisión de baliza; una mera instrucción para realizar una exploración de red no es una SDU. En WSN en las que las transmisiones de baliza se caracterizan por un canal (por ejemplo: frecuencia) y tiempo de transmisión, una SDU incluirá información de canal e información de tiempo. La información de tiempo puede (pero no necesita) definir de forma separada un intervalo de baliza y la diferencia de tiempo entre los ciclos de acceso del nodo anunciado y el nodo que envió la SDU. La diferencia de tiempo se usa para evitar la necesidad de tiempo global y para reducir el intervalo de valor requerido, por lo tanto, ajustando el valor de tiempo en menos bits. A base de información de canal y temporización un nodo puede detectar duplicados y SDU que se refieren a vecino con el que ya está sincronizado.

35 La información de intervalo de baliza puede usarse para definir exactamente en la SDU el tiempo de transmisión de la siguiente baliza desde el nodo anunciado. El intervalo de baliza puede cambiar en la red, por ejemplo, debido a diferentes necesidades de transferencia de datos en diferentes partes de la red. Otra posible razón para el cambio es la necesidad (temporal) de ajuste de temporización mutua de supertramas, de modo que el encaminamiento de datos tendrá lugar de forma efectiva, se minimizan retardos de encaminamiento y se evitan solapamientos de periodos de supertrama.

40 En la explicación de las transmisiones de baliza ilustrativas anteriores se asume implícitamente que se refieren a transmisiones de baliza de agrupación que los nodos vecinos harán en una WSN que incluye agrupaciones. Ya que cada agrupación tiene un canal de agrupación propio, dichas transmisiones de baliza necesitaban anunciar el canal (de agrupación) de los nodos vecinos además de los retardos de tiempo relativos. Básicamente sería posible en su lugar referirse a transmisiones de baliza de red que los nodos vecinos harán. Ya que el canal de baliza de red es el mismo para todos los nodos en una WSN de este tipo, entonces sería suficiente anunciar únicamente los retardos de tiempo. En implementaciones prácticas a menudo es más eficiente energéticamente referirse a balizas de agrupación, porque normalmente incluyen información importante relacionada con transmisión de datos, cuya información no aparece en transmisiones de baliza de red para mantener las transmisiones de baliza de red tan cortas como sea posible para ahorrar energía.

50 El protocolo de descubrimiento de vecino, es decir la práctica de enviar información relacionada con sincronización acerca de nodos vecinos en transmisiones de baliza, requiere naturalmente que las tramas de baliza se formateen de modo que pueden acomodar los bits de datos necesarios. El protocolo de descubrimiento de vecino podría implementarse como una extensión a muchas disposiciones de WSN existentes; por ejemplo, la norma IEEE 802.15.4 LR-WPAN permite que la trama de baliza tenga una parte de cabida útil, que el nodo que hace transmisiones de baliza puede usar para enviar información de nodo vecino. La invención también puede implementarse como una extensión a los protocolos S-MAC y SMACS existentes.

Debería observarse que la invención no excluye generar y transmitir SDU incluso relacionadas con nodos hijo. En muchas implementaciones de WSN nodos que tienen el estado de un sub-nodo no hacen transmisiones de baliza; sin embargo, pueden tener otras características que podrían ser útiles en la descripción de los mismos a otros nodos

que pueden moverse hacia un sub-nodo de este tipo. En este sentido el concepto de una SDU podría ampliarse de modo que una SDU comprende cualquier tal información acerca de un nodo que podrías ser útil en un posterior intento de establecer un enlace con un nodo de este tipo.

- 5 En práctica, el protocolo de descubrimiento de vecino que provoca que sincronización se mantenga con más de un nodo conduce a la generación de una topología de árbol de múltiples agrupaciones, que se ha descrito anteriormente en asociación con la Figura 2b.

PROCEDIMIENTO EN FALLO DE ENLACE O DEBILITAMIENTO

- 10 Se supone que, de acuerdo con especificaciones de sistema, un nodo recibirá activamente transmisiones de baliza desde un máximo de k otros nodos (es decir un nodo tendrá un máximo de k padres), donde k es un entero positivo, al menos 1 y habitualmente en el intervalo de 2 a 4 incluyendo estos límites. Junto con la suposición de que una transmisión de baliza contendrá SDU que describen únicamente los nodos vecinos inmediatos, esto significa que un nodo acumulará y mantendrá una base de datos de un máximo de k^2 SDU. La Figura 5 ilustra un procedimiento para que un nodo utilice estas SDU almacenadas en un caso en el que un enlace de comunicaciones con un nodo padre anterior falle (etapa 501).

- 15 El hecho de que un enlace usado anteriormente falle sugiere que el nodo ha recibido anteriormente al menos algunas SDU. En la etapa 502 activa su receptor en el canal y en el momento indicado por una SDU almacenada. La etapa 503 es una comprobación de la calidad de enlace. Si la recepción de la baliza tuvo éxito con al menos calidad de enlace adecuada, el procedimiento finaliza inmediatamente como satisfactorio de acuerdo con etapa 507. Si la calidad de enlace fue insuficiente, el nodo comprueba en la etapa 504, si tiene más SDU almacenadas. El nodo circula el bucle que consiste en las etapas 502, 503 y 504 siempre que existan SDU almacenadas que aún no se hayan probado.

- 20 Un resultado negativo en la etapa 504 significa que el nodo no encontró un nuevo padre usando las SDU almacenadas. Sin embargo, puede ser que recibiera algunas balizas que únicamente incumplieron ligeramente el objetivo de calidad de enlace. Es siempre posible que una de estas logre mejor calidad en el futuro. Adicionalmente la realización de una exploración de red requiere tal intensidad de energía que debería evitarse si únicamente existen mejores alternativas. Por lo tanto, un hallazgo positivo en la etapa 505 conduce a la selección de lo mejor que haya, es decir la baliza recibida con mejor calidad de enlace disponible, en la etapa 506 y finalizando como satisfactorio en la etapa 507.

- 30 Si no hubo ninguna baliza recibida, se necesita una exploración de red. El nodo establece un tiempo de espera igual al periodo de baliza en la etapa 508 y empieza a recibir en la etapa 509. La recepción se detendrá o bien cuando el tiempo de espera finalice (etapa 510) o bien cuando se recibe una baliza con calidad de enlace adecuada (etapa 511). Si existe un canal de red común para transmisiones de baliza, la recepción en la etapa 509 tiene lugar en el canal de red. En sistemas en los que transmisiones de baliza pueden venir en diversos canales, el nodo debe ir a través de las etapas 508 a 511 para todos tales canales hasta que encuentre una baliza. De nuevo, incluso si antes de la finalización tiempo de espera no hubiera balizas con calidad de enlace adecuada, es aconsejable seleccionar la mejor disponible yendo de la etapa 512 a etapa 506. Únicamente si no se recibió ninguna baliza el procedimiento terminará como fallo en la etapa 513.

- 40 Un enfoque ligeramente diferente a operación de nodo se presenta a continuación en forma de pseudocódigo. Este algoritmo de descubrimiento de vecino es a base de tres principios principales: mantener enlaces de comunicación redundantes, anticipar movimiento a base de los cambios de calidad de enlace y usar la información de vecino distribuida para descubrimiento de vecino eficiente energéticamente. También en otras realizaciones de la invención no es necesario esperar hasta un fallo de enlace concreto; un debilitamiento observado en calidad de enlace puede desencadenar un proceso de búsqueda y establecimiento de un nuevo enlace para sustituir el debilitado. Un enfoque proactivo de este tipo ayuda a minimizar retardos en transferencia de datos.

- 45 Para garantizar encaminamiento de datos continuo en una red dinámica, es altamente ventajosa la redundancia adecuada de enlaces de comunicación. Se supone que enlaces de comunicación se mantienen con k vecinos. El valor de k depende de la frecuencia de cambios de enlaces y, por lo tanto, el grado de dinámicas de red. Cuando un enlace de comunicación falla, otros enlaces garantizan encaminamiento de datos continuo. También, el uso de varios enlaces de comunicación paralelos es ideal para topología de red de árbol de múltiples agrupaciones, como la descrita en la publicación WO2006/067271.

- 50 Observar cambios de calidad de enlaces y sustituir enlaces de calidad baja evita roturas de enlace imprevistas y permite encaminamiento continuo. Porque redes dinámicas no permite observación a largo plazo de calidad de enlaces, a continuación se usa Indicación de Intensidad de Señal Recibida (RSSI) para evaluación de calidad de enlace rápida. También podrían usarse otras clases de procedimientos conocidos.

- 55 El algoritmo de pseudocódigo que consiste en dos funciones, NEIGHBOR_DISCOVERY que mantiene conectividad con los vecinos, y SYNCHRONIZE que es una función de utilidad que realiza recepción de baliza de acuerdo con las SDU. Se usan los siguientes símbolos:

$rss_i(n)$ calidad de enlace para el nodo n
 N_* la lista de nodos vecinos sincronizados
 N_+ la lista de nodos n con $rss_i(n)$ aumentada, $N_+ \subseteq N_*$
 N_- la lista de nodos n con $rss_i(n)$ disminuida, $N_- \subseteq N_*$
 5 S : la lista de SDU recibidas
 $source(s)$ un conjunto de nodos que ha enviado SDU s , $s \in S$
 k el número de nodos que a los que se mantiene sincronización
 q_0 un límite para calidad de enlace mínima requerida para recepción
 q_+ un límite para calidad de enlace preferida
 10 t_s temporizador de exploración de red.

```

NEIGHBOR_DISCOVERY()
1  while  $N_* = \emptyset$ 
2    if temporizador  $t_s$  ha expirado
3      realizar exploración de red
4       $N_* \leftarrow k$  nodos encontrados en exploración
5      reiniciar temporizador  $t_s$ 
6  if  $|N_*| < k$ 
7     $N \leftarrow SYNCHRONIZE(N_*, q_0, q_+, k - |N_*|)$ 
8    if  $N \neq \emptyset$ 
9       $N_* \leftarrow N_* \cup \{seleccionar\ k - |N_*| \text{ nodos de } N\}$ 
10  if  $|N_*| = k$ 
11    for each  $n \in N_*$ 
12       $N \leftarrow \emptyset$ 
13      if  $n \in N_-$ 
14        Disponer  $N_+$  en orden descendente por cambio RSSI
15         $N \leftarrow SYNCHRONIZE(N_+, q_0, q_0, 1)$ 
16      if  $N = \emptyset$  and  $n \notin N_+$  and  $rss_i(n) < q_+$ 
17         $N \leftarrow SYNCHRONIZE(N_*, q_+, q_+, 1)$ 
18      if  $N \neq \emptyset$ 
19         $N_* \leftarrow N_* - \{n\}$ 
20         $N_* \leftarrow N_* \cup \{seleccionar\ un\ nodo\ de\ N\}$ 
Escucha a los nodos determinados por SDU enviadas por vecinos en  $N_0$ . Detiene la
recepción después de encontrar  $c$  vecinos con calidad de enlace  $q_{end}$ . Devuelve una
lista de balizas con la calidad de enlace mínima  $q_{min}$ .
  SYNCHRONIZE( $N_0, q_{min}, q_{end}, c$ )
21   $U = \{s \mid s \in S \wedge (\exists n: n \in N_0 \wedge n \in source(s))\}$ 
22  Ordenar  $s$ ,  $s \in U$  por índice de  $source(s)$  en  $N_0$ 
23   $N = \emptyset$ 
24  while  $U \neq \emptyset$ 
25    seleccionar SDU  $s$  de  $U$  que envía siguiente baliza
26     $U \leftarrow U - \{s\}$ 
27    esperar hasta tiempo  $t_x$  de baliza; recibir baliza
28    if recepción satisfactoria
29      inicializar nodo  $n$  de  $s$  y la baliza recibida
30      if  $rss_i(n) \geq q_{min}$ 
31         $N \leftarrow N \cup \{n\}$ 
32      if  $rss_i(n) \geq q_{end}$ 
33         $c \leftarrow c - 1$ 
34      if  $c = 0$ 
35        return  $N$ 
36  return  $N$ 
  
```

15 Exploraciones de red se usan únicamente cuando no se conoce un vecino sincronizado (líneas 1-5). Un nodo que tiene buena calidad de enlace tiene alta probabilidad de anunciar vecino que están dentro de alcance de comunicación, mientras que un enlace de calidad baja no es fiable y podría romperse. Por lo tanto, para asegurar que no se requiere una nueva exploración de red, la exploración continua hasta que se encuentra o bien un vecino con alta RSSI o k vecinos. Se usa un temporizador para evitar exploración constante, si un vecino dentro del alcance de comunicación no existe. Después de la exploración, el nodo se sincroniza a los vecinos con mayor calidad de enlace.

20 La SDU información se usa para conseguir la conectividad con hasta k vecinos (líneas 6-9). El nodo escucha a las balizas determinadas mediante las SDU recibidas, mientras que busca un vecino con buena calidad de enlace (q_+).

Sin embargo, si escuchar a las SDU no proporciona suficientes vecinos que tienen buena calidad de enlace, también se aceptan enlaces de menor calidad (q_0). La última parte de el algoritmo supervisa información de vecinos e intenta sustituir estos enlaces de baja calidad por unos mejores (líneas 10-20).

5 El algoritmo prefiere la selección de vecinos con alta calidad de enlace (líneas 9 y 20), ya que estos tienen tasa de errores de trama baja y permiten ahorro de energía con control de potencia de transmisión. Adicionalmente, cuando se tienen varias elecciones con igual o casi igual calidad de enlace, se seleccionan vecinos que anuncian diferentes SDU. La selección permite conseguir información de vecindad global, que proporciona más elecciones de selección de vecino y por lo tanto añade robustez.

10 El algoritmo se adapta a movimiento prefiriendo vecinos que se aproximan (N_+) y evitando nodos que se alejan (N_-). Listas de N_+ y N_- se actualiza tras recepción de baliza. Pequeños cambios en calidad de enlace se filtran para evitar variación normal en la calidad de señal medida y que movimiento despacio provoque sustituciones de enlaces innecesarias.

15 Si un vecino se aleja, se busca una sustitución en las SDU anunciadas por vecinos que se aproximan (líneas 13-15). La búsqueda finaliza después de la detección de un nuevo vecino con cualquier calidad de enlace (q_0). Se acepta incluso enlace de calidad baja, ya que el nodo se mueve hacia el anunciador. Por lo tanto, es probable que la calidad de enlace de los vecinos aceptados también aumente. Las SDU de los nodos que se mueven más rápido se manejan primero (líneas 14, 21-22), porque el movimiento es hacia la vecindad del nodo en cuestión. Líneas 16-17 manejan la situación cuando el nodo está estacionario, moviéndose despacio o la calidad de enlace del vecino es mala y no se encontró una sustitución en la lista N_+ . De nuevo, se permite que los nodos que se mueven más cerca tengan una calidad de enlace baja.

20 Debería observarse que, ya que las temporizaciones se conocen exactamente, un nodo no escucha continuamente la radio. Por lo tanto, la detección de vecinos con información distribuida tiene un beneficio adicional sobre exploración de red tradicional, ya que un nodo puede estar en suspensión o comunicarse con sus vecinos mientras espera una baliza recepción en la parte de sincronización del algoritmo.

25 SELECCIÓN DE SDU Y ENLACES

Un nodo puede tener una oferta excesiva de nodos vecinos con los que podría mantener enlaces de comunicación. Para prepararse de forma más efectiva para posibles cambios en enlaces, sería ventajoso si el nodo pudiera seleccionar aquellos nodos desde los que recibe SDU de modo que se ubican en tantas direcciones diferentes como sea posible. Esto se consigue fácilmente de modo que el nodo trata de sincronizar esencialmente con aquellos otros nodos desde los que puede recibir tantas SDU diferentes como sea posible. En otras palabras, el nodo intenta evitar recibir SDU duplicadas. Maximizar el número de SDU únicas recibidas y almacenadas también maximiza la posibilidad de encontrar un nuevo enlace útil sobre la base de las SDU almacenadas. Esto es más importante en redes dispersas que únicamente tienen un número pequeño de otros nodos dentro del alcance de radio.

35 Anteriormente en la realización basada en pseudocódigo ya abordamos el objeto de supervisar los cambios en calidad de enlace. Si la calidad de un enlace parece estar mejorando, el nodo puede decidir bien mantener el mismo incluso si la calidad de enlace era baja para comenzar, porque la mejora observada sugiere que estos nodos están en un movimiento relativo entre sí, de modo que el enlace puede ser mucho mejor en el futuro. Por otra parte, un enlace debilitado es más probable que quede obsoleto y es un buen candidato para ser sustituido incluso si en la actualidad aún tuviera una calidad de enlace aceptable.

40 EJEMPLO DE UN NODO

La Figura 6 ilustra la arquitectura de un dispositivo 601 de nodo ilustrativo de acuerdo con una realización de la invención. Un subsistema 604 informático se adapta para ejecutar el protocolo MAC (Control de Acceso al Medio), los protocolos superiores y algoritmos de aplicación dependiendo de rendimiento y memoria disponibles. Una implementación física ilustrativa del subsistema informático comprende una unidad 641 de Microcontrolador (MCU) PIC18LF4620 de Microchip, que se integra en un núcleo de procesador de 8 bits con memoria de programa FLASH de 64 kB, memoria de datos RAM (memoria de acceso aleatorio) de 4 kB y EEPROM (memoria de sólo lectura eléctricamente programable borrable) de 1 kB. Puede usarse una memoria 642 externa, por ejemplo, una EEPROM de 8 kB, para proporcionar un almacenamiento de datos no volátil. El controlador tiene alta eficiencia energética y modos de ahorro de potencia versátiles y temporización de activación de energía baja con reloj de cristal externo de 32,768 kHz (no mostrado). Operación de modo activo se cronometra mediante una fuente de reloj ajustable interna. Una frecuencia de reloj utilizada ilustrativa es 4 MHz que resulta en un rendimiento de 1 MIPS. Se usa un Convertidor 632 de Analógico a Digital (ADC) interno de 10 bits para supervisión de estado de energía de batería. También puede conectarse al ADC un sensor 631 externo con salida analógica.

55 Un subsistema 605 de comunicaciones comprende un transceptor 651 de RF, una antena 652 y la parte de MCU 641 que ejecuta los protocolos de comunicación. Una implementación física ilustrativa del subsistema 605 de comunicaciones utiliza un transceptor nRF2401 de 2,4 GHz de Nordic Semiconductor que tiene tasa de datos de transmisión de 250 kbps o 1 Mbps seleccionable y 83 canales de frecuencia disponibles. Nivel de potencia de transmisión es seleccionable entre -20 dBm y 0 dBm. La radio tiene una interfaz para MCU de baja velocidad, que

consiste en 32 memorias intermedias de datos B (no mostrado) de transmisión y recepción y aborda reconocimiento y lógica de detección de error CRC. Esto simplifica procesamiento de datos en MCU y permite intercambio de datos de baja velocidad entre MCU y radio. Una antena 652 de tipo de bucle puede implementarse por ejemplo mediante un trazo de PCB que tiene un patrón de radiación de tipo dipolo. Una interfaz 653 de usuario simple se implementa mediante un pulsador y un LED.

Un subsistema 603 de detección más ventajosamente toma uso del ADC 632 interno y de la MCU 641. La MCU 641 puede usarse para la implementación de un controlador de ADC y tareas de transmisión de muestras para la capa de aplicación. Como un sensor 631 puede usarse casi cualquier tipo de sensor dependiendo de la aplicación. Además de sensores con salida analógica y conectados a ADC, también pueden usarse sensores con salida digital conectando los mismos directamente a clavijas de salida/entrada digital de MCU; por ejemplo, un sensor DS620 de Dallas Semiconductor interconectado con un bus digital I2C.

El subsistema 602 de potencia puede diseñarse de diferentes formas. El diseño ilustrativo de la Figura 6 comprende una fuente 621 de energía, que puede ser por ejemplo un circuito de recuperación de energía ambiente a base de fenómenos piezoeléctricos, una célula fotovoltaica o por ejemplo una batería de litio CR123A de 1600 mAh. Se usa un regulador 622 para regular el suministro de potencia proporcionada al resto del dispositivo de nodo. Aunque un regulador de modo conmutador podría tener mayor eficiencia, un regulador lineal tal como un regulador de tensión lineal MAX1725 puede ser aún preferible debido a su mejor corriente de reposo, menor ruido, menores interferencias electromagnéticas y menor tamaño. Como un almacenamiento temporal de energía y un depósito de demanda de cresta puede usarse una batería recargable o un supercondensador 623.

Las dimensiones de dicho prototipo son 124 mm de longitud y 21 mm de diámetro. El prototipo que consiste en dos placas separadas: una para MCU, radio, regulación de tensión y sensor de temperatura, y otra placa de extensión para batería, pulsador, LED y conector I/O.

Mediciones de consumo de potencia de prototipo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1: cifras de consumo de potencia de un nodo prototipo

Símbolo	MCU	Transceptor	Potencia (mW)
P_{rx}	1 MIPS	RX	60,17
	1 MIPS	TX (0 dBm)	42,17
P_{tx}	1 MIPS	TX (-6 dBm)	34,67
	1 MIPS	TX (-12 dBm)	31,37
	1 MIPS	TX (-20 dBm)	29,57
	1 MIPS	En espera	3,29
	1 MIPS	En suspensión	3,17
	En suspensión	En suspensión	0,037

La Figura 7 ilustra una arquitectura de software ilustrativa para un nodo como el ilustrado anteriormente en la Figura 6. Los servicios 701 de sistema operativo básicos comprenden, entre otros, una máquina 702 de estado de control de nodo general, cuya operación se planifica mediante un temporizador 703. La máquina 702 de estado de control de nodo realiza llamadas de función MAC representadas como flechas. El conjunto 704 de trama, espera 705 en cola y controlador 706 de radio (incluyendo funciones 707 de trama TX y 708 de trama RX) se asocian a datos y flujo de control. Funciones de gestión en la parte derecha de la Figura 7 se ejecutan bajo demanda e incluyen estimación 709 de distancia, exploración 710 de agrupación, asociación y disociación 711 de agrupaciones, asignación 712 de ranura y control 713 de potencia de nodo. El controlador 714 de ADC controla muestreo de sensor y constituye una parte específica de aplicación de sensor y tareas 715 de encaminamiento, que en la pila de protocolo pertenece a la capa de aplicaciones. Software puede desarrollarse usando cualquier herramienta de desarrollo disponible, tal como MPLAB C30 (v2.00) de Microchip.

ANÁLISIS DE ENERGÍA Y RENDIMIENTO

Para la determinación de los consumos de energía de una transmisión y recepción de trama y una exploración de red, se modelan mediante modelos de energía de radio que corresponde al comportamiento del nodo ilustrativo descrito anteriormente. Mientras los formatos de trama para procedimientos de red pueden variar, a continuación, se considera una trama de radio ilustrativa que tiene una longitud fija de 256 bits. Este es el tamaño de memoria intermedia de datos máximo de la radio en las implementaciones de nodo ilustrativas. Los modelos se centran en consumo de energía de radio, porque consumo de energía de MCU es en cualquier caso muy pequeña en comparación con las cifras del transceptor de radio. En los siguientes modelos se incluye consumo de potencia de MCU en los consumos de potencia de radio. Se usan los siguientes símbolos y las cantidades correspondientes pueden tener por ejemplo los siguientes valores ilustrativos:

Tabla 2: descripciones de símbolos y valores ilustrativos

Símbolo	Descripción	Valor definido
ε	tolerancia de cristal	20 ppm
f_c	tasa de transmisión de baliza de agrupación	0,5 Hz
f_n	tasa de transmisión de baliza de red	0,01 Hz - 100 Hz
k	número de nodos con los que se mantiene sincronización	1 - 4
L_f	longitud de trama	256 bits
r	alcance de radio	10 m
ρ	alcance de suficiente intensidad de señal en comparación con máximo alcance de radio	0,5
R	Tasa de datos de radio	1 Mbps
t_i	imprecisión de sincronización	50 μ s
t_{st}	tiempo de puesta en marcha de transmisor y receptor	200 μ s

5 Una transmisión de trama que consiste en un tiempo transitorio de puesta en marcha de radio (t_{st}) y transmisión de datos real definida como la relación de longitud de trama (L_f) y tasa de datos de radio (R). Durante un transitorio de puesta en marcha, el consumo de potencia de radio será aproximadamente igual al consumo de potencia de modo de transmisión (P_{tx}). Ya que el nivel de potencia de transmisión puede ajustarse dinámicamente de acuerdo con una calidad de enlace de comunicación, se aproxima que se usa de media una potencia de transmisión de -6 dBm. Por lo tanto, la energía de transmisión de trama E_{tx} se modela como

$$E_{tx} = \left(t_{st} + \frac{L_f}{R} \right) P_{tx} \quad (1)$$

10 El consumo de energía de transmisión es $E_{tx} = 15,8 \mu$ J con los valores numéricos de la tabla 1 y tabla 2, que es igual a 62 nJ por bit de capa física transmitido.

Una recepción de trama comienza con el transitorio de puesta en marcha de radio. La radio consume la potencia de modo de recepción (P_{rx}) hasta que se recibe una trama que incluye tiempo de escucha de reposo debido a imprecisión de sincronización (t_i) y tolerancia de cristal (ε). La energía de recepción de trama E_{rx} se modela como

$$E_{rx} = \left(t_{st} + t_i + \frac{2\varepsilon}{f_c} + \frac{L_f}{R} \right) P_{rx} \quad (2)$$

15 La recepción consumo de energía por paquete recibido es $E_{rx} = 35,3 \mu$ J con los valores numéricos de la tabla 1 y tabla 2, que es igual a 138 nJ por bit de datos de capa física.

Una exploración de red comienza con un transitorio de puesta en marcha de radio. A continuación, la radio está en modo RX en promedio para la duración t_{ns} . Por lo tanto, la exploración de red energía E_{ns} puede modelarse como

$$E_{ns} = (t_{st} + t_{ns}) P_{rx} \quad (3)$$

La energía adicional necesaria para el procesamiento de recepciones de baliza individuales durante la exploración es insignificamente pequeña en comparación con la energía de exploración de red y por lo tanto puede ignorarse en el modelo.

25 Para la realización del análisis del protocolo de descubrimiento de vecino independiente de intercambios de datos, se divide la energía consumida en un nodo de sensor inalámbrico en tres clases: puesta en marcha de nodo, mantenimiento de red y energías de intercambio de datos, como se ilustra en la Figura 8. La energía 801 de puesta en marcha de nodo que consiste en descubrimiento de vecino y operaciones de asociación de red. Las operaciones de mantenimiento de red e intercambio de datos se ejecutan después del periodo de puesta en marcha durante la vida útil de nodo. La energía 803 de mantenimiento de red que consiste en transmisiones y recepciones de baliza (intercambio de baliza), exploraciones de red, y posibles reasociaciones. La energía 802 de intercambio de datos se consume mediante transmisiones y recepciones de datos de cabida útil y las tramas de señalización MAC relacionadas con transmisiones de datos, tales como acuse de recibo.

35 Como las vidas útiles de nodo se esperan que sean de meses a años, la energía consumida de puesta en marcha durante el periodo 811 de puesta en marcha es insignificamente pequeña en comparación con el consumo de energía total de nodo durante el resto de la vida 812 útil de nodo. Adicionalmente, se supone que operaciones de

intercambio de datos no se ven afectadas por operaciones de mantenimiento de red. Por lo tanto, de ahora en adelante nos centramos puramente en las operaciones de mantenimiento de red.

5 Ya que todos los nodos habitualmente utilizan protocolos de descubrimiento de vecino y transmisiones de baliza de red similares, se puede asumir que la red soporta movilidad aleatoria para todos los nodos. El grado máximo de movilidad se limita más significativamente mediante un protocolo de enrutamiento, que está fuera del alcance de la presente invención. En el siguiente análisis se modela el consumo de energía de un único nodo móvil que se mueve entre un campo de sensor estacionario.

10 Primero se modela el rendimiento del protocolo de descubrimiento de vecino y a continuación la tasa de transmisión de baliza de red óptima de energía. Consumo de energía se considera en periodos de 1 s de operación, que es igual a un consumo de potencia medio. La evaluación de potencia media en lugar de energía es más conveniente debido a la independencia de tiempo.

15 Suponiendo una distribución de nodo uniforme, sea la densidad de nodo d nodos/m². Esto significa que $n = d\pi r^2$ nodos se ubican en un alcance de radio (r). Se considera un nodo que mantiene sincronización y recibe SDU desde k nodos vecinos. Como un nodo se mueve en un campo de WSN estacionario a velocidad v , un fallo de enlace de comunicación se produce cuando cualquiera de los k enlaces falla. La tasa de fallo de enlace de comunicación resultante (f_f) es

$$f_f = \frac{kv}{r} \quad (4)$$

20 A continuación, se modela la probabilidad de descubrimiento de vecino satisfactorio usando SDU recibidas. Se considera una situación presentada en la Figura 9, en la que un nodo A mantiene sincronización y recibe SDU desde los nodos B y D. La distancia entre los nodos A y B es b y sus alcances de radio forman círculos con un radio r . Además, el nodo B mantiene sincronización y recibe SDU con los nodos C y E ubicados en su alcance. Ya que el nodo E está en el área de intersección de los alcances de los nodos A y B ($S_{A \cap B}$), el nodo A puede recibir sus transmisiones (de baliza) y la SDU señalizada mediante el nodo B al nodo A es útil. El nodo C está fuera del área $S_{A \cap B}$, así que el nodo A no puede detectar sus transmisiones, que resultan en una SDU inservible. El tamaño del área de intersección $S_{A \cap B}$ se define mediante el radio r y la distancia b como

$$INTC(b) = 4 \int_{b/2}^r \sqrt{r^2 - x^2} dx \quad (5)$$

30 Por lo tanto, la probabilidad p_i de que un nodo ubicado en S_B está también en el área de intersección $S_{A \cap B}$ es igual a $INTC(b)/\pi r^2$. Además, sean los nodos A y B vecinos ubicados aleatoriamente, de modo que b consigue un valor en el intervalo $[0, r]$, y el nodo A recibe SDU desde el nodo B. La probabilidad de que una SDU recibida sea útil se determina integrando la probabilidad $INTC(b)/\pi r^2$ sobre el círculo de radio b centrado en A para b en $[0, r]$. Se obtiene

$$p_i = \int_0^r \frac{2\pi b \cdot INTC(b)/(\pi r^2)}{\pi r^2} db \approx 59\% \quad (6)$$

Como cada nodo mantiene sincronización con otros k nodos, que generan todos k SDU, la probabilidad q de que ninguna de las k^2 SDU recibidas es útil y se requiere una exploración de red se modela mediante

$$35 \quad q = \prod_{a=1}^k \left(1 - \frac{np_i}{n - (a-1)} \right)^k \quad (7)$$

El intervalo de exploración de red (I_{ns}) requerido es

$$I_{ns} = \frac{1}{f_f q} \quad (8)$$

40 En caso de un fallo de enlace, un nodo intenta recibir balizas de acuerdo con SDU hasta que se detecta un nuevo vecino con suficiente intensidad de señal. Se define que el intervalo de suficiente intensidad de señal en proporción un alcance de radio máximo (r) es ρ . El número esperado (u) de recepciones de baliza hasta que una baliza dentro de la distancia de ρr se recibe satisfactoriamente se modela mediante media ponderada como

$$u = \sum_{a=1}^{k^2-1} \left[a \left(\prod_{b=1}^{a-1} 1 - \frac{np_i \rho^2}{n - (b-1)} \right) \frac{np_i \rho^2}{n - (a-1)} \right] + k^2 \left(\prod_{a=1}^{k^2-1} 1 - \frac{np_i \rho^2}{n - (a-1)} \right) \quad (9)$$

Este modelo es una ligera modificación, ya que múltiples SDU haciendo referencia a un mismo nodo o un vecino actual no se consideran. Sin embargo, tal recepción de múltiples SDU es improbable en WSN densas, en las que el número de nodos dentro de alcance es alto.

5 Si SDU no detectan nuevos vecinos, se realiza una exploración de red. La exploración de red durará hasta que se detecte un nodo dentro de un alcance de ρr . El número n_b de recepciones de baliza hasta que se recibe una con suficiente intensidad de señal se modela mediante

$$n_b = \sum_{a=1}^{n-1} \left[a \left(\prod_{b=1}^{a-1} 1 - \frac{n\rho^2}{n-(b-1)} \right) \frac{n\rho^2}{n-(a-1)} \right] + n \left(\prod_{a=1}^{n-1} 1 - \frac{n\rho^2}{n-(a-1)} \right). \quad (10)$$

La duración de exploración de red requerida t_{ns} para la detección de un nuevo nodo con suficiente intensidad de señal se obtiene mediante

$$10 \quad t_{ns} = \frac{n_b}{f_n n}. \quad (11)$$

La duración de exploración de red requerida t_{ns} como una función de intervalo de transmisión de baliza de red se representa en la Figura 10 con valores números ilustrativos $r = 10$ m y $d = 0,1$ nodos/m². Si n es alto, t_{ns} se reduce por incluso un orden de magnitud en comparación con intervalo de baliza de red completo.

15 Un consumo de potencia de mantenimiento de red P_m se define como una suma de potencia de exploración de red P_{ns} y una potencia de intercambio de baliza P_b . La potencia de exploración de red P_{ns} depende de la energía E_{ns} de un único procedimiento de exploración y el intervalo de exploración de red medio I_{ns} . Consumo de potencia de exploración de red medio a largo plazo se obtiene mediante

$$P_{ns} = f_r q \left(t_{st} + \frac{n_b}{f_n n} \right) P_{rx}. \quad (12)$$

20 Si la WSN implica la transmisión por separado de balizas de red y agrupaciones de balizas, balizas se transmiten periódicamente en un canal de agrupación en el comienzo de cada supertrama a una tasa f_c , y en un canal de red a una tasa f_n . Además, tanto balizas de red como agrupaciones de balizas pueden recibirse en el comienzo de supertramas a una tasa f_c desde los k vecinos con los que se mantiene sincronización. Balizas de red se requiere para la adquisición de SDU y agrupaciones de balizas para la realización de intercambios de datos en supertramas. A continuación, se considera el caso de mayor energía, en el que ambos tipos de baliza se reciben siempre en el
25 comienzo de cada supertrama. La potencia media consumida por el intercambio de baliza es

$$P_b = (f_n + f_c) E_{tx} + (2f_c k + f_r u) E_{rx}. \quad (13)$$

30 Consumo de potencia de mantenimiento de red se representa como una función de tasa de transmisión de baliza de red y con movilidad de nodo de 0,1 m/s, 1 m/s y 10 m/s en las Figuras 11, 12 y 13 respectivamente (otros valores numéricos supuestos son $r = 10$ m, $d = 0,1$ nodos/m², y $\rho = 0,5$). Como se ve en las figuras, movilidad de nodo aumenta significativamente consumo de potencia de mantenimiento de red cuando no se usa el protocolo de descubrimiento de vecino. Consumo de potencia puede reducirse hasta cierto punto ajustando la tasa de transmisión de baliza de red de acuerdo con movilidad, pero se logra significativamente el menor consumo de potencia usando el protocolo de descubrimiento de vecino. Habitualmente la eficiencia energética más alta se consigue seleccionando $k = 3$.

35 Una tasa de transmisión de baliza de red óptima de energía f_n^* se determina minimizando la potencia de mantenimiento de red con respecto a la tasa de transmisión de baliza. Puede mostrarse que existe un mínimo único para f_n^* que se obtiene escribiendo $P_m = P_{ns} + P_b$ (véanse las fórmulas 11 y 12 anteriores) y estableciendo $\partial P_m / \partial f_n = 0$. Esto resulta en

$$f_n^* = \sqrt{\frac{P_{rx}}{E_{tx} I_{ns} n} \left(\sum_{a=1}^{n-1} \left[a \left(\prod_{b=1}^{a-1} 1 - \frac{n\rho^2}{n-(b-1)} \right) \frac{n\rho^2}{n-(a-1)} \right] + n \left(\prod_{a=1}^{n-1} 1 - \frac{n\rho^2}{n-(a-1)} \right) \right)}. \quad (14)$$

40 Una tasa de transmisión de baliza de red óptima se determina mediante el intervalo de exploración de red (I_{ns}), la energía de transmisión de trama de baliza (E_{tx}), el consumo de potencia de radio en modo de recepción (P_{rx}), el número de nodos dentro de alcance (n) y el intervalo de suficiente intensidad de señal (ρ). Adicionalmente, el intervalo de exploración de red I_{ns} es una función de velocidad de nodo (v), alcance de radio (r) y el número de nodos con los que se mantiene sincronización (k). La tasa de transmisión de baliza óptima de energía se representa como una función de velocidad de nodo en la Figura 14. La tasa de transmisión de baliza óptima aumenta en

45

proporción a la velocidad de nodo. Sin el protocolo de descubrimiento de vecino, la tasa de baliza óptima está ya por encima de 10 Hz con una velocidad de nodo de 1 m/s. Usando el protocolo de descubrimiento de vecino, tasas de transmisión de baliza óptimas son incluso tres órdenes de magnitud menores. Esto indica que exploraciones de red son muy poco frecuentes con el protocolo de descubrimiento de vecino.

- 5 La Figura 15 muestra la tasa de baliza óptima de energía como una función de nodos dentro de alcance. Los resultados indican que el protocolo de descubrimiento de vecino puede tener alta eficiencia energética tanto en redes dispersas como densas. En redes dispersas la tasa de baliza óptima disminuye, especialmente cuando k es 3 o 4, indicando eficiencia energética mayor. Esto se provoca mediante menos recepciones de baliza (u) hasta que se recibe una baliza con suficiente intensidad de señal. En mayores densidades de nodo se acorta el tiempo de exploración de red (t_{ns}) y disminuye la tasa de transmisión de baliza óptima.

CONSIDERACIONES ADICIONALES

En la descripción anterior se asume que un nodo mantiene sincronización con k y por lo tanto recibe SDU desde k otros nodos. Por ejemplo, en la situación de la Figura 9, en la que k es igual a 2, el nodo A no recibe SDU desde el nodo E incluso si eso fuera físicamente posible; el nodo E está bien dentro de alcance. El nodo A incluso conoce la existencia del nodo E, porque ha recibido desde el nodo B una SDU que contiene la información necesaria para recibir transmisiones de baliza desde el nodo E. Sería posible hacer que el nodo A adicionalmente reciba transmisiones de baliza de vez en cuando también desde el nodo E, con la esperanza de que de esta forma el nodo A recibiría SDU relativas a incluso más nodos vecinos de los que puede escuchando a únicamente los nodos B y D. Esto aumentaría adicionalmente la probabilidad de que cuando el enlace al nodo B o D falle, el nodo A puede encontrar un nuevo nodo con el que sincronizar yendo únicamente a través de las SDU en su memoria. Sin embargo, recepción adicional de SDU aumentará significativamente la cantidad de energía consumida en el nodo, de modo que tales recepciones adicionales se equilibrarían minuciosamente contra la dotación de energía total de la WSN.

Si la WSN incluye Dispositivos de Funcionalidad Reducida (RFD), que son capaces únicamente de actuar como sub-nodos, así como Dispositivos de Funcionalidad Completa (FFD), debería observarse que la invención puede tener un impacto ligeramente diferente en estos. Ya que un RFD nunca actuará como un nodo de cabecera, nunca hará ninguna transmisión de baliza. Por lo tanto, no es necesario hacer un RFD capaz de componer SDU que describen sus nodos vecinos; es suficiente que el RFD sea capaz de recibir SDU desde nodos de cabecera, almacenar SDU recibidas y utilizar SDU almacenadas en caso de un fallo de enlace con un nodo de cabecera anterior. FFD por otra parte también deberían configurarse para componer SDU sobre la base de sus observaciones acerca de las transmisiones de baliza de nodos de cabecera vecinos y para incorporar tales SDU en sus propias transmisiones de baliza.

Una consideración interesante es si movilidad debería tener cualquier asociación con el estado de un nodo como un nodo de cabecera o sub-nodo. Ya que nodos de cabecera se suponen que mantiene un número relativamente grande de enlaces con otros nodos, pero sub-nodos únicamente necesitan mantener enlaces con uno o unos pocos nodos de cabecera, en muchos casos tendría un efecto positivo en encaminamiento si los nodos de cabecera de la WSN no fueran móviles incluso si los sub-nodos fueran. Si los nodos de cabecera son FFD y sub-nodos RFD, podría incluso ser posible que los FFD no necesiten comprender la capacidad de utilizar SDU almacenadas para establecer nuevos enlaces, si puede asumirse que después de despliegue y configuración inicial sería muy raro que nodos de cabecera perdieran sus anteriormente establecidos enlaces con otros nodos de cabecera. En WSN en las que nodos pueden cambiar sus estados, es probablemente ventajoso definir que un nodo de cabecera que observa excesivos cambios en su entorno deduce que se ha vuelto móvil y cambia su estado a sub-nodo. También debería observarse que el movimiento físico no es la única razón para cambios en topología de red lógica. Ya que se minimiza la potencia de transmisión (a menudo incluso enlace a enlace), incluso pequeños movimientos de gente u objetos circundantes, o condiciones climáticas en aplicaciones al aire libre, pueden provocar cambios en propagación de señal que necesitan cambios en enlaces entre nodos.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (601) de nodo para una red de sensores inalámbricos, que comprende:

- un receptor (651) de recepción de transmisiones desde otros nodos en dicha red de sensores inalámbricos,
- un controlador (641) configurado para conectar selectivamente dicho receptor (651) de acuerdo con un calendario conocido para dicho controlador (641), y
- una memoria (642) configurada para almacenar información acerca de otros nodos en dicha red de sensores inalámbricos;

en el que dicho dispositivo (601) de nodo está configurado para mantener sincronización con y recibir transmisiones de baliza desde otro nodo en dicha red de sensores inalámbricos, transportando dichas transmisiones de baliza información relacionada con control de conexiones de red y transferencia de datos entre nodos,

caracterizado porque dicho controlador (641) está configurado para leer a partir de la información de transmisiones de baliza recibida acerca de nodos vecinos desde los que dicho dispositivo (601) de nodo no recibe dichas transmisiones de baliza y con los que dicho dispositivo (601) de nodo no mantiene sincronización, cuya información incluye información de tiempo que describe temporización de transmisiones de baliza desde nodos vecinos desde los que dicho dispositivo (601) de nodo no recibe dichas transmisiones de baliza en relación con la temporización de transmisiones de baliza desde el nodo desde el que el dispositivo (601) de nodo recibió dicha transmisión de baliza que incluye dicha información de tiempo, y para almacenar tal información en dicha memoria (642), y dicho controlador (641) está configurado para utilizar tal información almacenada para conectar selectivamente dicho receptor (651) para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde tal nodo vecino como una respuesta a un fallo o debilitamiento observado en calidad de enlace en sincronización mantenida anteriormente.

2. Un dispositivo (601) de nodo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho controlador (641) está configurado para leer a partir de transmisiones de baliza recibidas información de canal que describe canales en los que nodos vecinos hacen transmisiones de baliza.

3. Un dispositivo (601) de nodo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho controlador (641) está configurado para responder a un fallo observado en sincronización mantenida anteriormente mediante

- conectar selectivamente dicho receptor (651) para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde un nodo vecino, y
- establecer y mantener la sincronización con dicho nodo vecino, si la recepción de una transmisión de baliza desde dicho nodo vecino tiene éxito con calidad de enlace adecuada.

4. Un dispositivo (601) de nodo de acuerdo con la reivindicación 3, en el que

- dicho dispositivo (601) de nodo está configurado para mantener simultáneamente sincronización con y recibir transmisiones de baliza desde más de un otro nodo en dicha red de sensores inalámbricos, y
- dicho controlador (641) está configurado para responder a un fallo observado en cualquiera de las sincronizaciones simultáneamente mantenidas.

5. Un dispositivo (601) de nodo de acuerdo con la reivindicación 3, en el que, si la recepción de una transmisión de baliza desde dicho nodo vecino no tiene éxito con calidad de enlace adecuada, dicho controlador (641) está configurado para repetir la conexión selectiva de dicho receptor (651) para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde otros nodos vecinos acerca de los cuales el dispositivo (601) de nodo ha recibido información anteriormente, hasta que o bien se reciba con éxito una transmisión de baliza desde tal nodo vecino con calidad de enlace adecuada o bien no existan más de tales nodos vecinos desde los que el dispositivo (601) de nodo aún no haya intentado recibir una transmisión de baliza.

6. Un dispositivo (601) de nodo de acuerdo con la reivindicación 5, en el que, si no existen más de tales nodos vecinos desde los que el dispositivo (601) de nodo aún no ha intentado recibir una transmisión de baliza, pero el dispositivo (601) de nodo ha recibido una transmisión de baliza desde al menos un nodo vecino con calidad de enlace inadecuada, dicho controlador (641) está configurado para conectar selectivamente dicho receptor (651) para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde ese nodo vecino desde el que se recibió una transmisión de baliza con mejor calidad de enlace.

7. Un dispositivo (601) de nodo de acuerdo con la reivindicación 5, en el que, si no existen más de tales nodos vecinos desde los que el dispositivo (601) de nodo aún no ha intentado recibir una transmisión de baliza y el dispositivo (601) de nodo no ha recibido ninguna transmisión de baliza desde nodos vecinos incluso con calidad de enlace inadecuada, el controlador (641) está configurado para conectar dicho receptor (651) durante una duración no mayor que un intervalo de baliza de dicha red de sensores inalámbricos, para realizar una exploración de red.

8. Un dispositivo (601) de nodo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho controlador (641) está configurado para componer una unidad de datos de sincronización que contiene información acerca de tal nodo con el que dicho dispositivo (601) de nodo mantiene sincronización, cuya información incluye información de tiempo que describe temporización de transmisiones de baliza desde nodos vecinos en relación con la temporización de

transmisiones de baliza desde el nodo que compone dicha unidad de datos de sincronización y dicho controlador (641) está configurado para hacer que dicho transmisor (651) transmita dicha unidad de datos de sincronización como una parte de una transmisión de baliza.

9. Un dispositivo (601) de nodo de acuerdo con la reivindicación 8, en el que

- 5 - dicho dispositivo (601) de nodo está configurado para mantener simultáneamente sincronización con y recibir transmisiones de baliza desde más de un otro nodo en dicha red de sensores inalámbricos,
- dicho controlador (641) está configurado para componer unidades de datos de sincronización que contienen información acerca de todos los nodos con los que dicho dispositivo (601) de nodo mantiene sincronización, y
- 10 - dicho controlador (641) está configurado para hacer que dicho transmisor (651) transmita dichas unidades de datos de sincronización como partes de transmisiones de baliza.

10. Un dispositivo (601) de nodo de acuerdo con la reivindicación 8, en el que

- el dispositivo (601) de nodo comprende una memoria configurada para almacenar información acerca de otros nodos en dicha red de sensores inalámbricos,
- 15 - dicho controlador (641) está configurado para leer a partir de la información de transmisiones de baliza recibida acerca de nodos vecinos con los que dicho dispositivo (601) de nodo no mantiene sincronización y para almacenar tal información en dicha memoria, y
- dicho controlador (641) está configurado para utilizar tal información almacenada para conectar selectivamente dicho receptor (651) para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde tal nodo vecino como una respuesta a un fallo observado en sincronización mantenida anteriormente.

20 11. Un procedimiento de control de la operación de un dispositivo (601) de nodo en una red de sensores inalámbricos, que comprende:

- recibir transmisiones de baliza desde otro nodo en dicha red de sensores inalámbricos y mantener sincronización con el nodo desde el que se reciben transmisiones de baliza, transportando dichas transmisiones de baliza información relacionada con control de conexiones de red y transferencia de datos entre nodos, y
- 25 - almacenar información acerca de otros nodos en dicha red de sensores inalámbricos;

caracterizado porque el procedimiento comprende:

- leer a partir de información de transmisiones de baliza recibida acerca de nodos vecinos desde los que dicho dispositivo (601) de nodo no recibe dichas transmisiones de baliza y con los que dicho dispositivo (601) de nodo no mantiene sincronización, cuya información incluye información de tiempo que describe temporización de transmisiones de baliza desde nodos vecinos desde los que dicho dispositivo (601) de nodo no recibe dichas transmisiones de baliza en relación con la temporización de transmisiones de baliza desde el nodo desde el que se recibieron dichas transmisiones de baliza recibidas que incluyen dicha información de tiempo y almacenar tal información en dicha memoria, y
- 30 - sobre la base de tal información almacenada, conectar selectivamente (502) un receptor (651) en el dispositivo (601) de nodo para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde tal nodo vecino como una respuesta a un fallo (501) o debilitamiento observado en calidad de enlace en sincronización mantenida anteriormente.

12. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, en el que como una respuesta a un fallo (501) observado en sincronización mantenida anteriormente el procedimiento comprende:

- 40 - conectar selectivamente (502) dicho receptor (651) para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde un nodo vecino, y establecer y mantener (507) sincronización con dicho nodo vecino, si la recepción de una transmisión de baliza desde dicho nodo vecino tiene éxito con calidad de enlace adecuada,
- si la recepción de una transmisión de baliza desde dicho nodo vecino no tiene éxito con calidad de enlace adecuada, conectar (502, 503, 504) selectiva y repetidamente dicho receptor (651) para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde otros nodos vecinos acerca de los cuales el dispositivo (601) de nodo ha recibido información anteriormente, hasta que o bien se reciba con éxito una transmisión de baliza desde tal nodo vecino con calidad de enlace adecuada o bien no existan más de tales nodos vecinos desde los que el dispositivo (601) de nodo aún no ha intentado recibir una transmisión de baliza,
- 45 - si no existen más de tales nodos vecinos desde los que el dispositivo (601) de nodo aún no ha intentado recibir una transmisión de baliza, pero el dispositivo (601) de nodo ha recibido una transmisión de baliza desde al menos un nodo vecino con calidad de enlace inadecuada, conectar (506) selectivamente dicho receptor (651) para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde ese nodo vecino desde el que se recibió una transmisión de baliza con mejor calidad de enlace, y
- 50 - si no existen más de tales nodos vecinos desde los que el dispositivo (601) de nodo aún no ha intentado recibir una transmisión de baliza y el dispositivo (601) de nodo no ha recibido ninguna transmisión de baliza desde nodos vecinos incluso con calidad de enlace inadecuada, conectar (509) dicho receptor (651) durante una duración no mayor que un intervalo de baliza de dicha red de sensores inalámbricos, para realizar una exploración de red.
- 55

13. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, cuyo procedimiento comprende:

- componer una unidad de datos de sincronización que contiene información acerca de tal nodo con el que dicho dispositivo (601) de nodo mantiene sincronización, cuya información incluye información de tiempo que describe temporización de transmisiones de baliza desde nodos vecinos en relación con la temporización de transmisiones de baliza desde el nodo que compone dicha unidad de datos de sincronización, y
- transmitir (401, 402, 403) dicha unidad de datos de sincronización como una parte de una transmisión de baliza.

14. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, en el que

- leer a partir de la información de transmisiones de baliza recibida acerca de nodos vecinos con los que dicho dispositivo (601) de nodo no mantiene sincronización y almacenar tal información en dicha memoria, y
- sobre la base de tal información almacenada, conectar (502) selectivamente un receptor (651) en el dispositivo (601) de nodo para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde tal nodo vecino como una respuesta a un fallo (501) observado en sincronización mantenida anteriormente.

15. Un producto de programa informático que comprende medios de código de programa informático, en el que está cargado dicho programa, para hacer que el ordenador ejecute un procedimiento para:

- hacer que un dispositivo (601) de nodo de una red de sensores inalámbricos reciba transmisiones de baliza desde otro nodo en dicha red de sensores inalámbricos y mantenga sincronización con el nodo desde el que se reciben transmisiones de baliza, transportando dichas transmisiones de baliza información relacionada con control de conexiones de red y transferencia de datos entre nodos, y
- hacer que dicho dispositivo (601) de nodo almacene información acerca de otros nodos en dicha red de sensores inalámbricos;

caracterizado porque el producto de programa informático comprende medios de código de programa informático, en el que está cargado dicho programa, para hacer que el ordenador ejecute un procedimiento para:

- leer, a partir de las transmisiones de baliza que dicho dispositivo (601) de nodo recibió, información acerca de nodos vecinos desde los que dicho dispositivo (601) de nodo no recibe dichas transmisiones de baliza y con los que dicho dispositivo (601) de nodo no mantiene sincronización, cuya información incluye información de tiempo que describe temporización de transmisiones de baliza desde nodos vecinos desde los que dicho dispositivo (601) de nodo no recibe dichas transmisiones de baliza en relación con la temporización de transmisiones de baliza desde el nodo desde el que se recibieron dichas transmisiones de baliza que incluyen dicha información de tiempo,
- almacenar tal información en dicha memoria, y
- sobre la base de tal información almacenada, conectar selectivamente un receptor (651) en el dispositivo (601) de nodo para intentar la recepción de una transmisión de baliza desde tal nodo vecino tipo como una respuesta a un fallo o debilitamiento observado en calidad de enlace en sincronización mantenida anteriormente.

16. Un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 15, que comprende medios de código de programa informático, en el que está cargado dicho programa, para hacer que el ordenador ejecute un procedimiento para:

- componer una unidad de datos de sincronización que contiene información acerca de tal nodo con el que dicho dispositivo (601) de nodo mantiene sincronización, cuya información incluye información de tiempo que describe temporización de transmisiones de baliza desde nodos vecinos en relación con la temporización de transmisiones de baliza desde el nodo que compone dicha unidad de datos de sincronización, y
- hacer que el dispositivo (601) de nodo transmita dicha unidad de datos de sincronización como una parte de una transmisión de baliza.

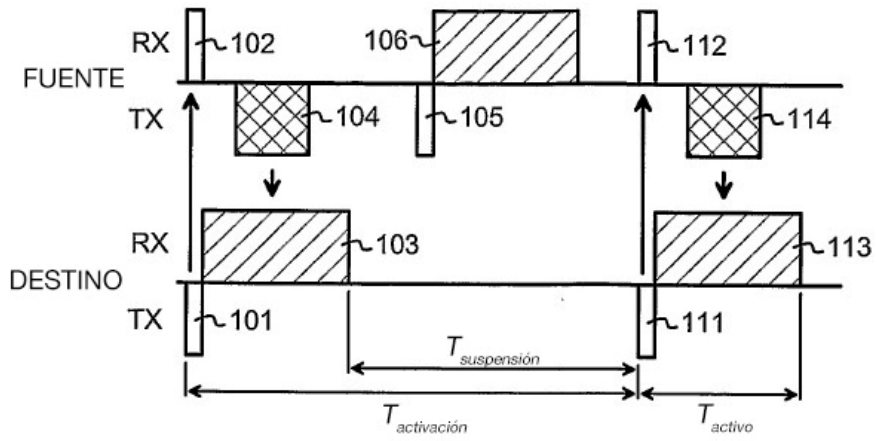


Fig. 1
TÉCNICA ANTERIOR

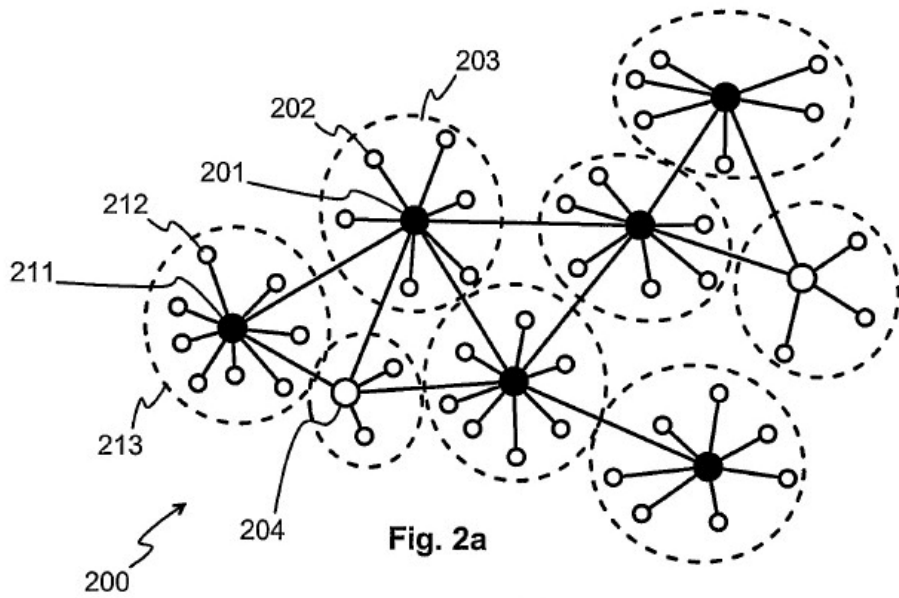


Fig. 2a

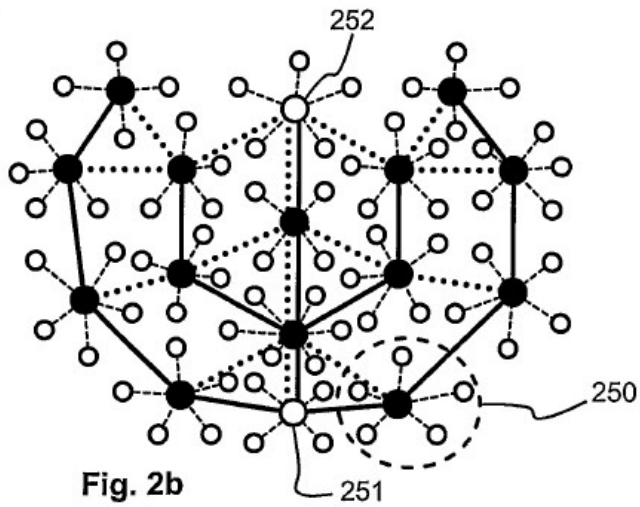


Fig. 2b

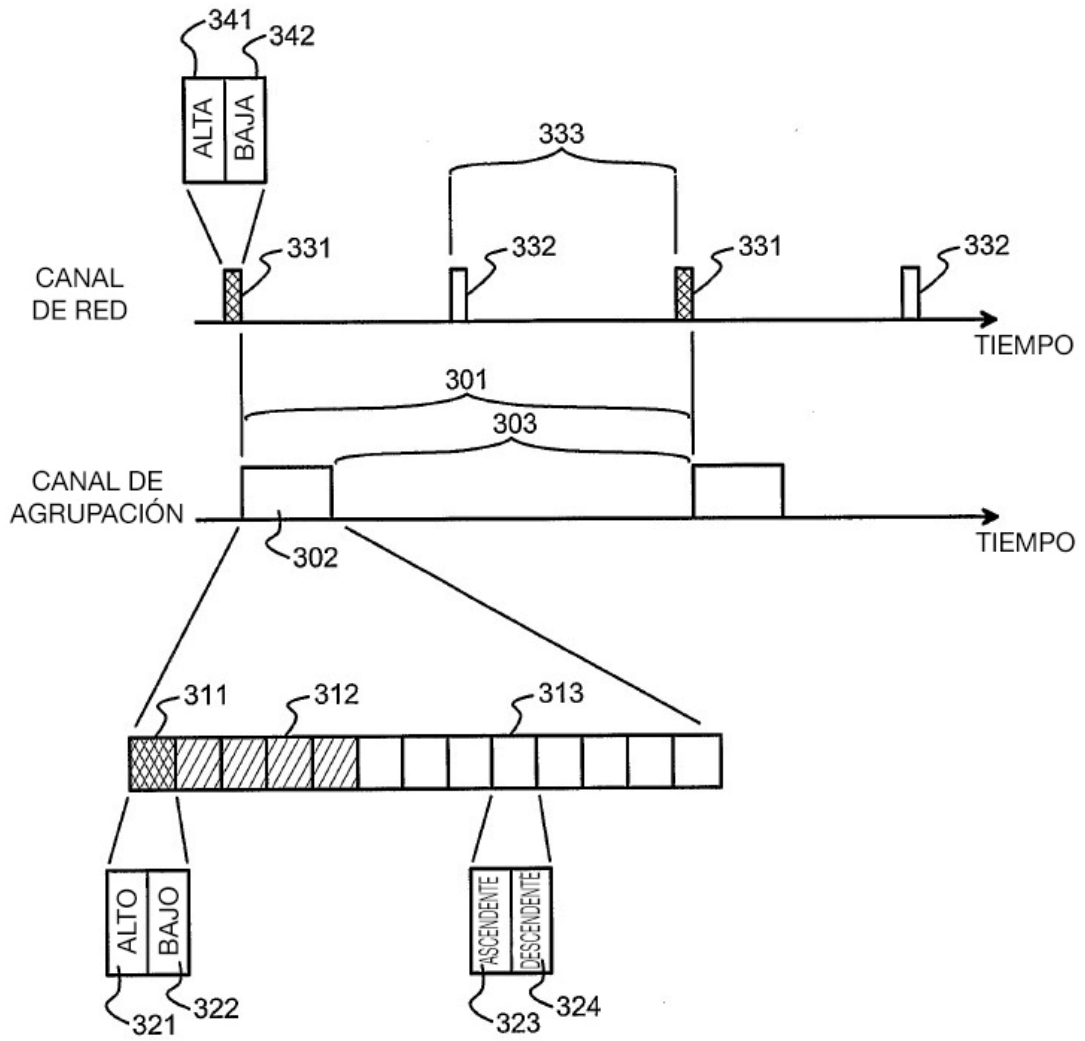


Fig. 3

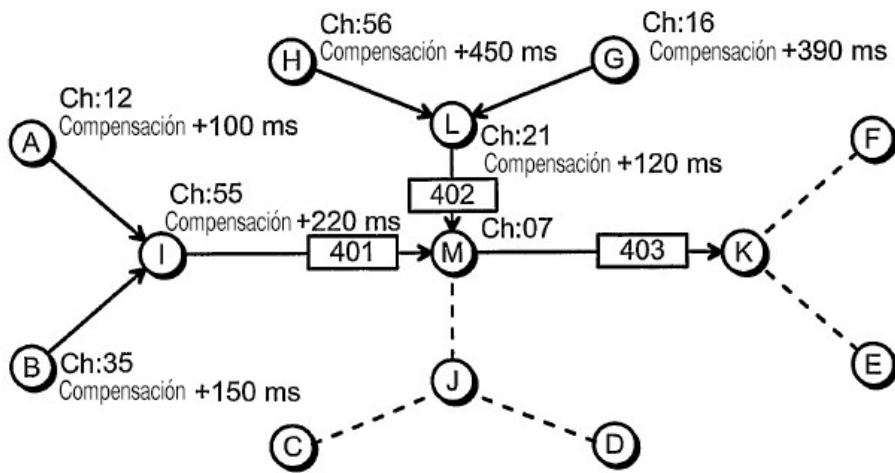


Fig. 4

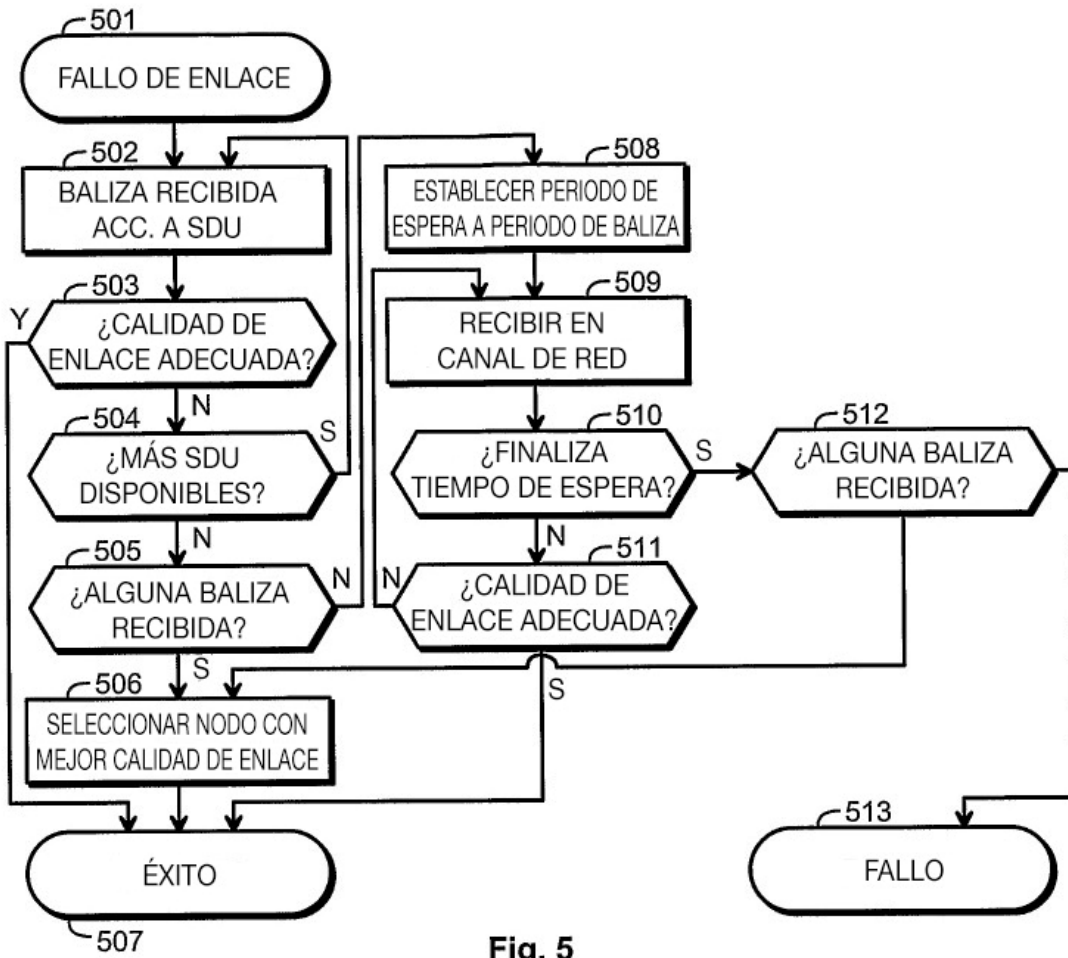


Fig. 5

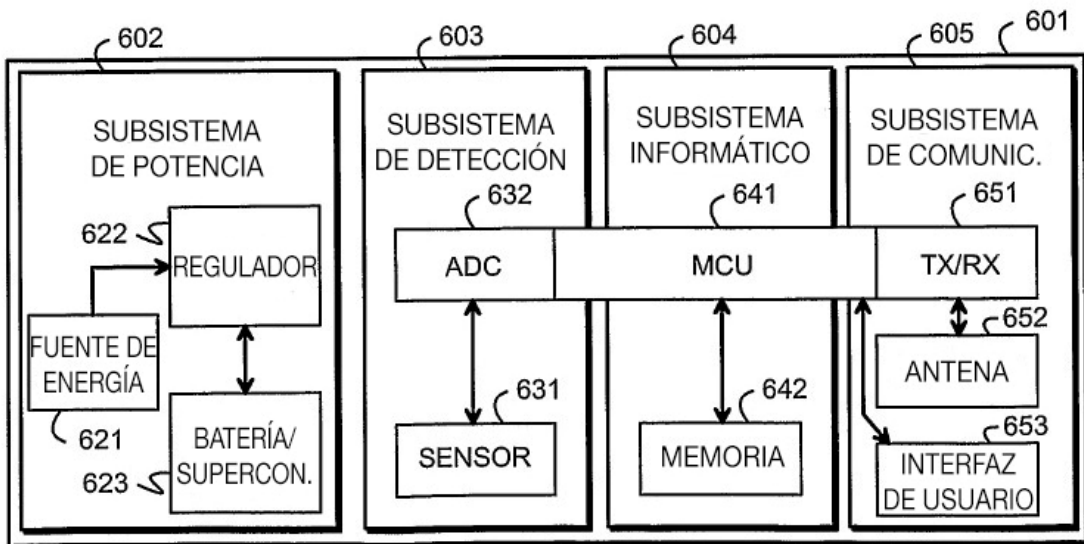


Fig. 6

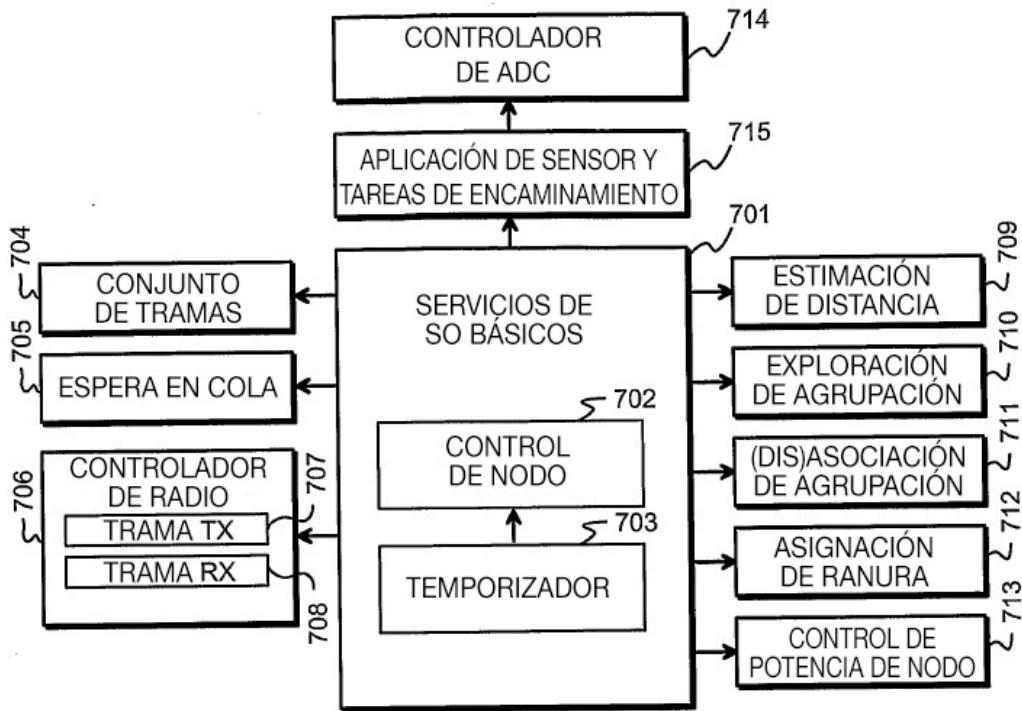


Fig. 7

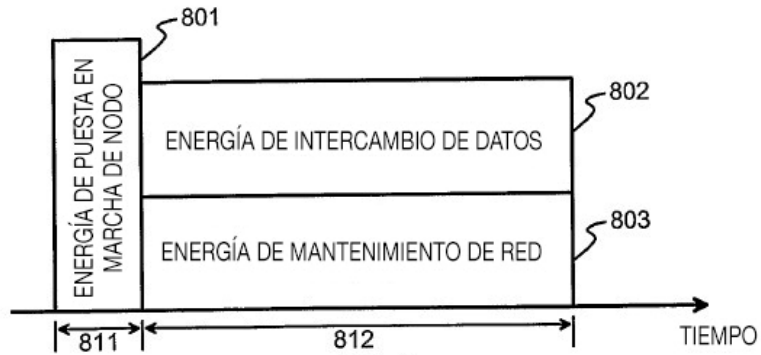


Fig. 8

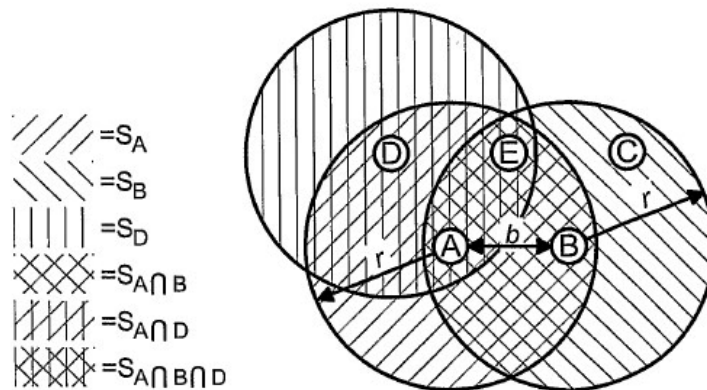


Fig. 9

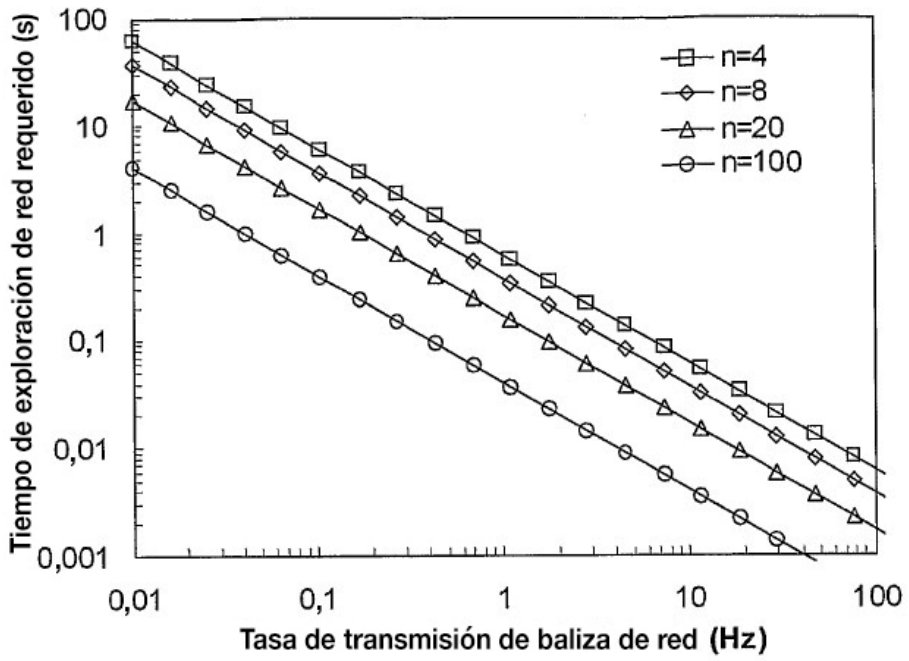


Fig. 10

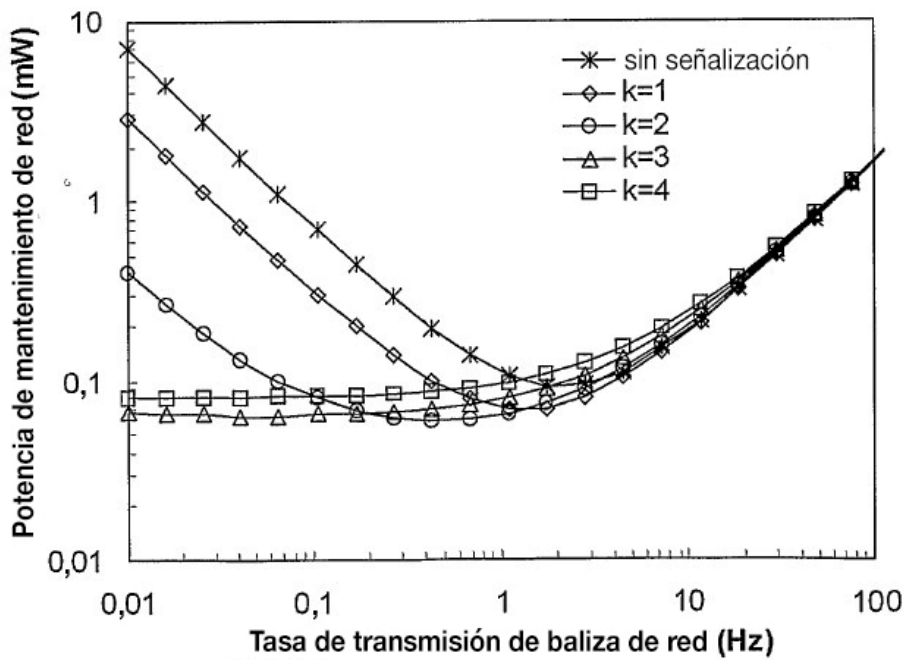


Fig. 11

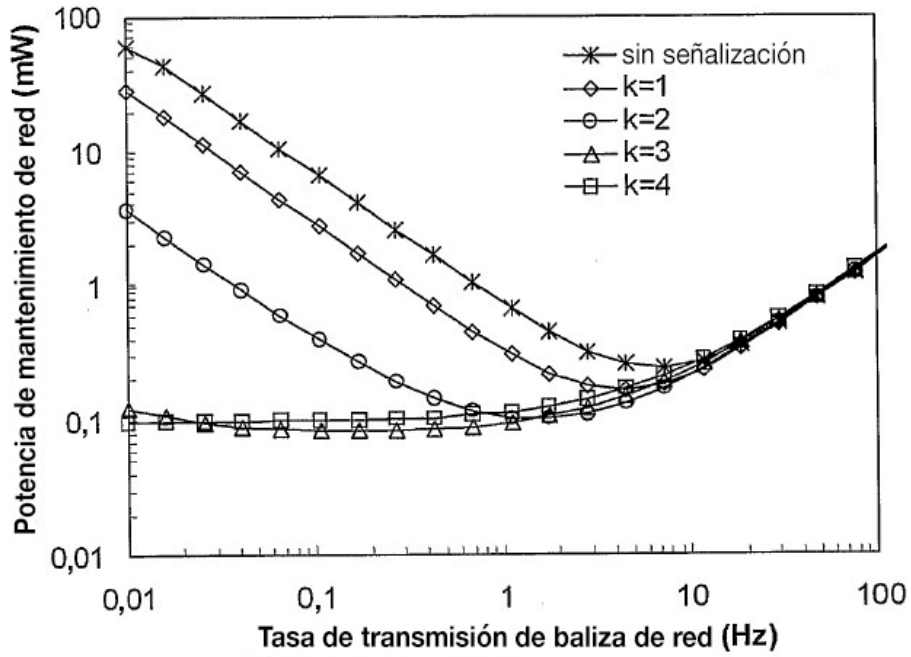


Fig. 12

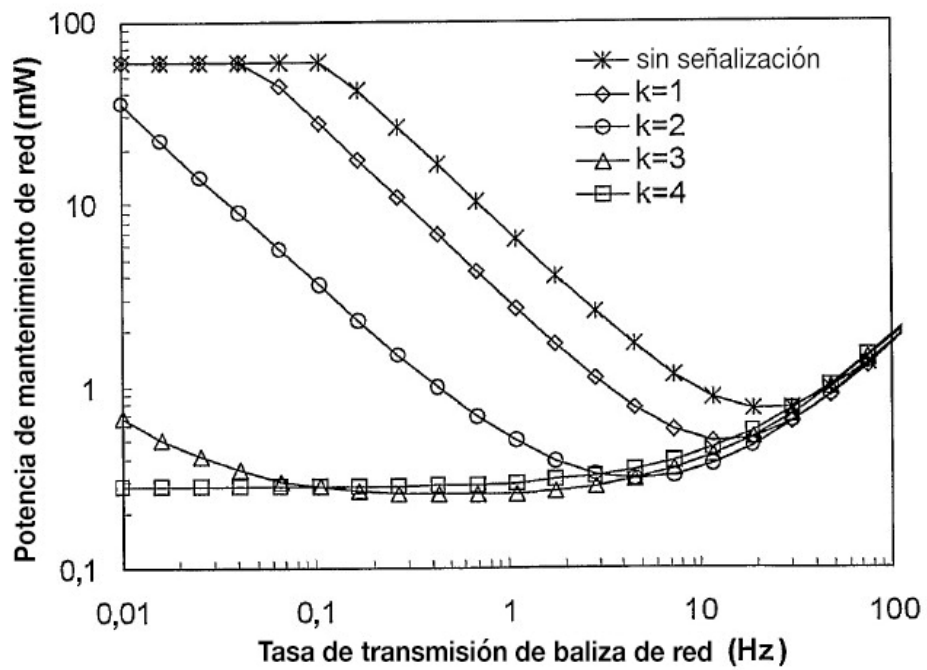


Fig. 13

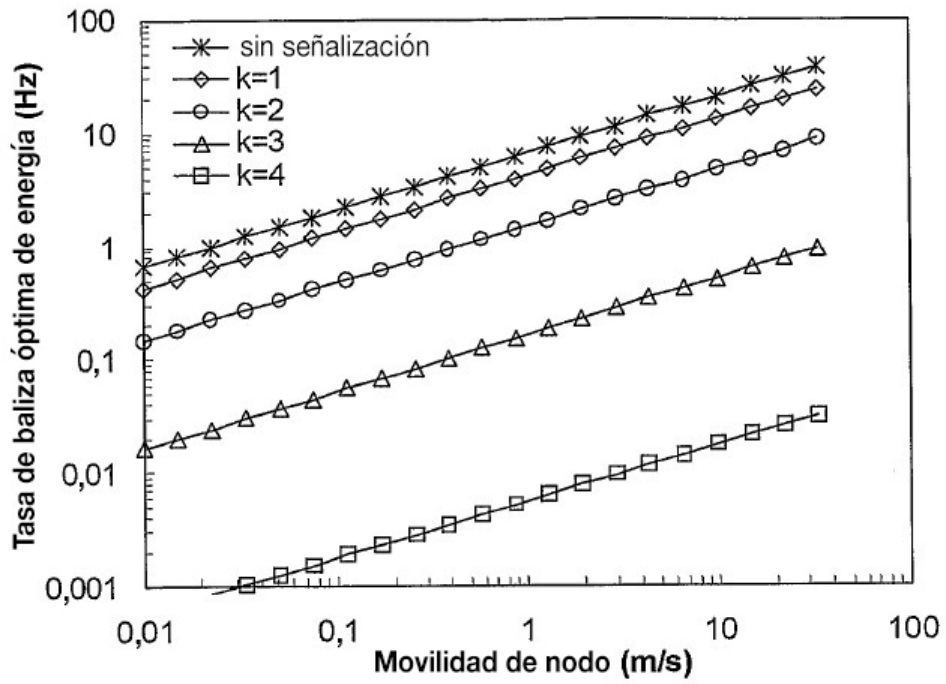


Fig. 14

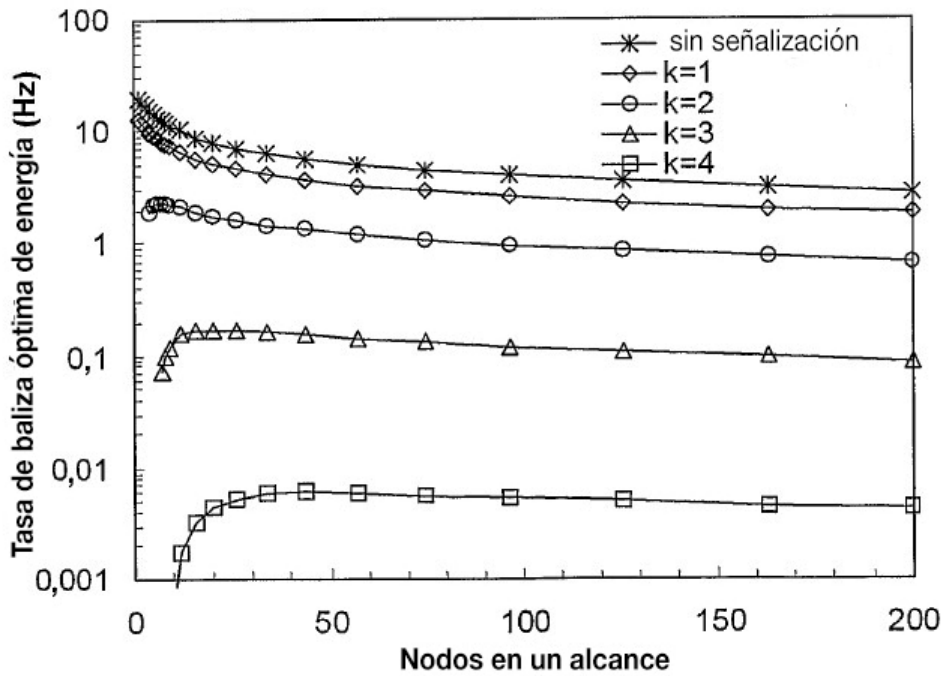


Fig. 15