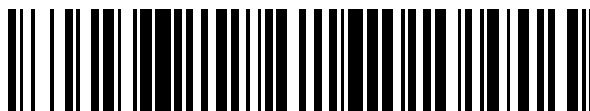


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 029**

51 Int. Cl.:

H04W 4/00 (2008.01)

H04W 74/02 (2009.01)

H04W 80/02 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.05.2013 PCT/EP2013/061296**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.12.2014 WO14191052**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2013 E 13726001 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2019 EP 3005739**

54 Título: **Procedimiento y aparato para enviar y recibir datos en una red inalámbrica máquina a máquina**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.02.2020

73 Titular/es:
**FUNDACIO PER A LA UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA (UOC) (100.0%)
Avenida del Tibidabo, 39-43
08035 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:
**TUSET PEIRÓ, PERE y
VILAJOSANA GUILLEN, XAVIER**

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 742 029 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

Procedimiento y aparato para enviar y recibir datos en una red inalámbrica máquina a máquina

Campo de la invención

5 La presente invención tiene su aplicación en el sector de las telecomunicaciones y, en particular, en los protocolos de control de acceso al medio en una red de comunicaciones inalámbricas máquina a máquina.

Antecedentes de la invención - Técnica relacionada

10 Las redes de comunicación máquina a máquina (M2M) proporcionan la gestión remota de una pluralidad de nodos distribuidos con capacidades de detección y/o accionamiento y permiten obtener datos de manera remota desde dichos nodos o dispositivos de control conectados a dichos nodos. Los nodos están controlados por una o más pasarelas, siendo las pasarelas también responsables de las comunicaciones con otros elementos de la red (tales como servidores o aplicaciones) y con redes externas. La comunicación entre la pasarela y los nodos puede ser por cable o inalámbrica, en este último caso típicamente operando en las bandas industrial, científica y médica (ISM en inglés). Las redes de comunicaciones inalámbricas M2M se pueden aplicar a una diversidad de campos, incluyendo la medición inteligente (los servicios de electricidad, agua y gas), la detección remota de constantes físicas (los niveles de agua de los ríos, la seguridad de los puentes, etc.), la identificación y la localización por radiofrecuencia de objetos y el accionamiento remoto sobre dispositivos físicos (las farolas, los semáforos), entre otros.

15 En una red inalámbrica M2M típica, resulta necesario soportar un gran número de nodos, produciendo cada uno de los mismos pequeñas cantidades de tráfico. Típicamente, el tráfico de enlace ascendente (tráfico desde el nodo hasta la pasarela) se genera de manera simultánea en una pluralidad de nodos como resultado de una solicitud de la pasarela. Como consecuencia, se puede generar tráfico escalonado (es decir, un gran aumento repentino en la carga de tráfico de la red), cuando una gran cantidad de nodos intenta acceder al medio de manera simultánea, incluso si cada uno de los mismos está intentando enviar una pequeña cantidad de datos. Además de como respuesta a las solicitudes de la pasarela (comunicaciones de atracción), el tráfico se puede generar de manera simultánea en los nodos (comunicaciones de empuje), por ejemplo, como resultado de una alarma activada por un sensor. En este caso, los retrasos en la comunicación son, en particular, críticos y la información del nodo necesita enviarse sin esperar una encuesta periódica desde la pasarela. Asimismo, un evento particular puede generar una alarma de manera simultánea en múltiples nodos, haciendo que intenten acceder al medio al mismo tiempo. Este escenario también da como resultado un tráfico escalonado que necesita ser manejado de manera adecuada por la red.

20 Por lo tanto, las redes M2M requieren protocolos de MAC (control de acceso al medio) que sean capaces de manejar de manera eficaz tanto un escenario de comunicación de baja carga en el que el tráfico se genera de manera aleatoria en los nodos como una situación en la que un número muy grande de nodos intenta acceder al medio de manera simultánea de conformidad con la solicitud de la pasarela. Esto es un desafío para los protocolos de MAC convencionales ya que los protocolos basados en la contención no pueden manejar el tráfico pesado, mientras que los protocolos deterministas requieren un conocimiento *a priori* de los requisitos de QoS (calidad de servicio) de la aplicación (el ancho de banda, los retrasos, etc.), ya que estos incurrir en graves penalizaciones por eficacia energética y de red cuando necesitan adaptarse a condiciones cambiantes.

25 Algunos problemas adicionales inherentes a las redes inalámbricas M2M necesitan abordarse mediante el protocolo de MAC. En primer lugar, el número de nodos puede ser desconocido *a priori* y puede variar durante la operación de la red M2M, a medida que se implementan nodos adicionales o se retiran algunos de los nodos. Por tanto, el protocolo de MAC debe ser capaz de sincronizar los nuevos nodos y permitirles recibir y transmitir datos de manera determinista y eficaz, es decir, sin colisiones de paquetes. En segundo lugar, las bandas ISM no requieren licencia, lo que puede causar la interferencia de redes adyacentes que operan en la misma banda de frecuencia. De este modo, el protocolo de MAC debe ser capaz de soportar esta interferencia y reducir su impacto en las comunicaciones en curso. En tercer lugar, los nodos en una red inalámbrica M2M típicamente operan usando baterías, que tienen que durar largos períodos de tiempo ya que no se pueden cambiar con frecuencia debido a los gastos generales que representaría. Por lo tanto, resulta de vital importancia que el protocolo de MAC minimice el consumo de energía derivado de la transmisión y recepción de datos.

30 Todas las particularidades anteriores de las redes inalámbricas M2M necesitan abordarse al diseñar un protocolo de MAC adecuado y, en particular, al diseñar la sincronización de la red, la transmisión de datos y la robustez frente a las interferencias.

35 En cuanto a la sincronización de la red, se conocen dos alternativas principales: el muestreo de preámbulos y la sincronización horaria. En los sistemas basados en el muestreo de preámbulos, los nodos permanecen por defecto en un estado de suspensión (medios de comunicación por radio apagados), encendiendo de manera periódica la radio para muestrear el canal de comunicación durante un corto período de tiempo. Durante dichos cortos períodos, los nodos miden el nivel de energía presente en el canal de comunicación y determinan si se está transmitiendo un paquete. En caso de que haya energía presente en el canal y se reciba un paquete con éxito, esta se usa para sincronizar el nodo, que mantiene la radio encendida para transmitir o recibir un paquete inmediatamente después o

vuelve al estado de suspensión y se programa para activarse en el futuro (por ejemplo, después de un específico período de tiempo determinado por el contenido del paquete). Se conocen diferentes mecanismos de muestreo de preámbulos. Por ejemplo, este concepto se puede implementar mediante la modulación de una portadora, permitiendo al nodo receptor detectar que la señal está presente en el canal y decodificar dicha señal. En otro ejemplo, la pasarela envía una pluralidad de paquetes cortos, por lo que el nodo puede detectar que se está transmitiendo una señal a través del canal y es capaz de recibir de manera correcta el paquete.

Mediante el uso del procedimiento de muestreo de preámbulos en un contexto de M2M, siempre que la pasarela tenga que recibir algunos datos de los nodos finales, esta envía un tren de paquetes pequeños (paquetes de activación) para, al menos, la misma duración del tiempo de muestreo de los nodos finales, garantizando, por lo tanto, que todos los nodos reciban al menos uno de los paquetes y actúen en consecuencia, es decir, que mantengan la radio encendida para recibir un paquete. Los procedimientos de muestreo de preámbulos evitan mantener una sincronización permanente entre la pasarela y los nodos, lo que resulta interesante para las redes que necesitan soportar una alta movilidad de nodos. Este procedimiento se puede usar tanto en comunicaciones de enlace ascendente como de enlace descendente, reduciendo de este modo el consumo de energía tanto en la pasarela como en los nodos. Sin embargo, mediante el encendido de manera periódica de la radio, se sigue consumiendo una cantidad considerable de energía. Asimismo, si los nodos están en estado de suspensión durante largos períodos, se reduce el consumo de energía en dichos nodos, pero, como compensación, la pasarela necesita enviar más paquetes de activación, aumentando, por tanto, su consumo de energía y reduciendo la capacidad de datos del canal. También se debe tener en cuenta que en escenarios con alta carga de tráfico, el procedimiento de muestreo de preámbulos necesita realizarse de manera constante, aumentando el consumo de energía.

Como alternativa, la sincronización horaria se basa en un reloj maestro común entre la pasarela y todos los nodos. El reloj maestro proporciona una referencia de tiempo común para todos los elementos de la red, sincronizando, por tanto, todas las comunicaciones. Una vez que todos los elementos están sincronizados, la pasarela distribuye la programación de la red a todos los nodos, lo que, por lo tanto, permite determinar cuándo activarse para la transmisión y/o recepción de paquetes de datos. La principal desventaja de esta configuración es que si se espera que se produzca una ráfaga de tráfico (grandes cantidades de tráfico concentrado en cortos períodos de tiempo), resulta necesario reservar intervalos de tiempo que rara vez se van a usar, abusando, por lo tanto, de los recursos de la red y aumentando el consumo de energía. Asimismo, siempre que un nodo se una o abandone la red, resulta necesario volver a calcular y distribuir la programación, lo que implica un gran coste energético y una reducción significativa de la eficacia de la red.

Existen dos tipos de sincronización horaria, a saber, dura y blanda. La sincronización dura se produce cuando un nodo desea unirse a la red y necesita alinear su reloj interno con el reloj maestro. Para este fin, la pasarela transmite de manera periódica un paquete de control (baliza) que comprende información del reloj maestro. Con el fin de sincronizarse con la pasarela, los nodos encienden la radio y esperan hasta recibir una baliza de la pasarela. Tras recibir la baliza, el reloj de nodo se alinea con la pasarela, permitiendo que el nodo se comunique con la pasarela. La principal ventaja de la sincronización horaria sobre el muestreo de preámbulos es que reduce la sobrecarga de energía derivada del muestreo periódico del canal para la actividad en curso. Sin embargo, si se pierde la sincronización, el nodo necesita iniciar el procedimiento de sincronización. De este modo, el mantenimiento de la sincronización es un aspecto crucial de las redes sincronizadas en el tiempo. Se requiere sincronización blanda (también denominada resincronización) para compensar de manera periódica las derivas relativas entre los relojes maestros y de nodo, es decir, las imperfecciones de la construcción y los cambios de temperatura, y evitar la pérdida de la sincronización. Típicamente, los nodos se resincronizan de manera periódica usando la baliza transmitida por la pasarela.

La sincronización de red necesita combinarse con una técnica de acceso al medio que permita la transmisión de datos, que en los protocolos de MAC tradicionales para las comunicaciones M2M se basan en un acceso aleatorio o determinista. Por ejemplo, se puede usar un sistema de muestras de preámbulos basado en trenes de paquetes de activación en combinación con un acceso al medio aleatorio, tal como el Aloha ranurado, para permitir la transmisión de datos para los nodos. Igualmente, el acceso aleatorio también se puede aplicar a redes sincronizadas con un reloj maestro transmitido por la pasarela en el paquete de baliza.

En los protocolos de MAC de acceso aleatorio, siempre que un nodo tenga un paquete para transmitir a la red, el nodo sigue un conjunto predefinido de reglas sin coordinación central desde la pasarela. Puesto que los nodos pueden acceder al medio compartido en cualquier momento aleatorio, se puede producir una colisión entre dos paquetes (es decir, dos nodos envían datos de manera simultánea usando el mismo canal). En caso de colisión entre dos o más paquetes de datos, los datos no se pueden decodificar correctamente y los paquetes de datos necesitan transmitirse de nuevo hasta que no se produzca una colisión.

El primer protocolo de MAC de acceso aleatorio fue Aloha, en el que los nodos pueden intentar transmitir un paquete en cualquier momento, independientemente de otras estaciones. En los escenarios de poco tráfico, la posibilidad de colisión es baja, pero cuando el tráfico aumenta, también lo hacen las colisiones, reduciendo considerablemente el rendimiento de la red (rendimiento de la red hasta el 18 %). Este mecanismo se mejoró con el Aloha ranurado, en el que los nodos solo pueden comenzar a transmitir al comienzo de los intervalos de tiempo de duración fija. Esto reduce la posibilidad de colisión, pero sigue proporcionando un rendimiento deficiente en los escenarios con mucho

tráfico (hasta el 36 %).

A fin de aumentar adicionalmente el rendimiento de la red, se introdujeron mecanismos de acceso múltiple con detección de portadora (CSMA en inglés), en los que los nodos controlan el medio de comunicación antes de la transmisión de paquetes. Si un nodo detecta una transmisión en curso desde otro modo, este se abstiene de enviar cualquier transmisión adicional durante un determinado período de tiempo, evitando de este modo la colisión de paquetes. Según diferentes implementaciones, cuando un nodo detecta una transmisión en curso, el nodo puede seguir controlando el medio hasta el final de la transmisión (CSMA 1-persistente) o solo verificar el medio de nuevo después de un determinado tiempo (CSMA no persistente). El CSMA 1-persistente mejora el rendimiento de la red, mientras que el CSMA no persistente reduce el consumo de energía. No obstante, se pueden seguir produciendo colisiones en los sistemas de CSMA. Por ejemplo, dos nodos diferentes que están fuera del rango de comunicación entre sí pueden transmitir datos a la misma pasarela. Puesto que las transmisiones desde el primer nodo no llegan al segundo nodo, dicho segundo nodo puede considerar que el medio está libre y comenzar a transmitir, lo que da como resultado una colisión y, por lo tanto, requiere que los datos se transmitan.

Este problema se puede resolver mediante el uso de solicitudes de comunicación de datos (RTS en inglés, solicitud de emisión), que se responden mediante permisos de la pasarela (CTS en inglés, libre para emitir). Antes de transmitir un paquete de datos, el nodo transmite una RTS con el fin de reservar el canal y espera recibir un CTS de la pasarela. Puesto que los nodos no pueden transmitir sin recibir un mensaje de CTS, se evitan las colisiones entre paquetes de datos, aunque se pueden seguir produciendo colisiones entre los mensajes de RTS. De manera adicional, este sistema reduce la eficacia de la red, en especial, en escenarios de poco tráfico, como consecuencia del tiempo usado para transmitir y recibir paquetes de RTS/CTS.

En el protocolo de MAC de acceso determinista, los recursos de red se asignan a los nodos (ya sea de manera estática o dinámica), por medio de multiplexación por tiempo, frecuencia y/o código. El acceso determinista estático no resulta adecuado para las comunicaciones inalámbricas M2M porque la red tiene recursos finitos que se dividirían entre un gran número de nodos que muy rara vez los usarían para transmitir datos, reduciendo considerablemente la eficacia de la red. El acceso determinista dinámico tampoco resulta adecuado para las redes inalámbricas M2M, ya que el número de nodos es altamente dinámico y requeriría reasignar de manera constante los recursos de la red, lo que implica recalcular y redistribuir la programación de la red cada vez que un nodo se une o abandona el sistema. De manera adicional, con el fin de unirse a la red y solicitar recursos, los nodos necesitan ser capaces de comunicarse con la pasarela sobre una base *ad hoc*, es decir, sin ningún conocimiento previo del estado de la red de comunicaciones. Esto da como resultado una asignación estática de recursos para la gestión del tráfico, como consecuencia, una reducción en el rendimiento de la red.

Finalmente, se conocen varias técnicas para aumentar la robustez de comunicación frente a las interferencias. Este problema es particularmente crítico en las redes de comunicaciones inalámbricas M2M, puesto que no se requiere licencia para operar en las bandas ISM. Por lo tanto, las redes M2M cercanas pueden ser operativas en frecuencias superpuestas, lo que obstaculiza, por tanto, las comunicaciones, a menos que se tomen medidas específicas contra este problema. Algunas de las alternativas conocidas en el estado de la técnica son el espectro extendido de secuencia directa (DSSS en inglés), el espectro extendido de salto de frecuencia (FHSS en inglés) y el salto de canal (CH en inglés).

El espectro extendido de secuencia directa se basa en extender una señal de banda de base en un ancho de banda mayor que el estrictamente requerido para mejorar la resistencia contra el ruido y la interferencia. Este también permite que múltiples usuarios compartan un solo canal mediante el uso de diferentes códigos en sus comunicaciones. Con el fin de obtener una señal de DSSS, los datos a transmitir se multiplican mediante una señal pseudoaleatoria, es decir, una secuencia de valores positivos y negativos (1 y -1), a una frecuencia mayor que la de la señal de banda de base.

El espectro extendido de salto de frecuencia se basa en cambiar de manera periódica una portadora que modula la señal de banda de base. La portadora que modula la señal de banda de base se selecciona usando una secuencia pseudoaleatoria que es conocida tanto por el transmisor como por el receptor. Se debe tener en cuenta que en un esquema de FHSS, la velocidad a la que cambia la portadora es del mismo orden de magnitud que la velocidad de la señal de banda de base.

Finalmente, el salto de canal se basa en cambiar el canal usado para la transmisión de cada paquete, siguiendo una secuencia conocida por el transmisor y el receptor. La principal diferencia entre el FHSS es la velocidad a la que cambia la frecuencia de la portadora. Mientras que en el FHSS el cambio puede tener lugar a nivel de símbolo (cada símbolo se transmite con una portadora diferente), en el CH el canal se cambia para cada paquete completo.

Recientemente, se han propuesto protocolos de MAC híbridos para la transmisión de datos. Estos protocolos de MAC híbridos no requieren que una entidad central calcule y distribuya la programación de la red, sino que permiten que los nodos se comuniquen entre sí al mismo tiempo que minimizan la probabilidad de colisión de paquetes. Un ejemplo de un protocolo de MAC híbrido es la cola distribuida (DQ en inglés), desarrollado originalmente para distribuir señales de televisión por cable y, posteriormente, adaptado a los sistemas celulares inalámbricos (GSM en inglés) y las redes inalámbricas de área local (WLAN en inglés). En los sistemas basados en DQ, la transmisión de

paquetes de datos se autoorganiza entre los nodos usando dos colas. La primera cola, denominada cola de resolución de colisión (CRQ en inglés), permite que los nodos que compiten por la transmisión de paquetes resuelvan su estado por medio de la aplicación de un algoritmo de árbol binario (STA en inglés) bloqueado en intentos consecutivos. La segunda cola, denominada cola de transmisión de datos (DTQ en inglés), permite que los nodos que han resuelto con éxito su colisión por medio del uso de la CRQ y el STA transmitan un paquete de datos en la red sin contención. Los documentos US 6.292.493 B1 y US 6.408.009 B1 presentan dos ejemplos de acceso al medio híbrido usando una cola distribuida. No obstante, estos ejemplos no se han optimizado para redes inalámbricas M2M y, por lo tanto, no abordan sus problemas particulares, tales como el uso de un canal compartido para comunicaciones de enlace ascendente y enlace descendente entre un número alto y variable de nodos. Asimismo, estos no proporcionan comunicaciones robustas contra las interferencias ni son energéticamente eficaces. La técnica anterior se desvela en Alonso-Zarate y col., "A near-optimum cross-layered distributed queuing protocol for wireless LAN", IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS, vol. 14, febrero de 2008, páginas 48-55.

Teniendo en cuenta todos los aspectos presentados anteriormente, los protocolos de MAC conocidos en el estado de la técnica no pueden proporcionar una solución eficaz para el control de acceso al medio en redes inalámbricas M2M con un número grande y variable de nodos con recursos de energía limitados y que pueden operar tanto en comunicaciones de atracción como de empuje. Por tanto, existe la necesidad de un procedimiento y un aparato para la transmisión y recepción de datos en tales redes, que proporcione una alta eficacia de red tanto en escenarios de tráfico ligero como pesado, al tiempo que conserve el bajo consumo de energía en los nodos y la robustez de comunicación contra las interferencias.

Sumario de la invención

La presente invención se define mediante las reivindicaciones independientes. La presente invención resuelve los problemas mencionados anteriormente mediante la divulgación de un protocolo de MAC de acceso híbrido para redes inalámbricas M2M capaces de manejar un gran número de nodos tanto en comunicaciones de empuje como de atracción, con bajo consumo de energía y robustez contra las interferencias. En un primer aspecto de la invención, se desvela un procedimiento para enviar y recibir datos en una red inalámbrica M2M. La red comprende al menos una pasarela y una pluralidad de nodos gestionados por dicha al menos una pasarela. Tanto los nodos como la pasarela comparten el mismo medio, para comunicaciones de enlace ascendente y enlace descendente, que se organiza en intervalos de tiempo de una duración fija. El medio comprende una o más frecuencias de transmisión. Por tanto, se puede usar una única frecuencia de transmisión común para la transmisión de ambos intervalos de enlace ascendente (intervalos con comunicaciones desde el nodo hasta la pasarela) e intervalos de enlace descendente (intervalos con comunicaciones desde la pasarela hasta el nodo). Las frecuencias de transmisión típicamente se localizan en la banda ISM. Según el procedimiento de la invención, los intervalos de tiempo de enlace ascendente se dividen en tres subperíodos de diferente duración:

- un primer subperíodo (período de retroalimentación), en el que la pasarela envía información de retroalimentación a los nodos (FBP en inglés, paquete de retroalimentación) con respecto al intervalo anterior. El FBP comprende información que determina el estado de las solicitudes de acceso recibidas en la pasarela durante el intervalo de tiempo anterior. Preferentemente, el FBP también comprende información que determina el estado de las transmisiones de datos recibidas durante el intervalo de tiempo anterior.
- Un segundo subperíodo (subperíodo de acceso), en el que los nodos envían solicitudes de transmisión de datos (ARP en inglés, paquetes de solicitud de acceso) a la pasarela. El subperíodo de acceso se divide preferentemente en mini-intervalos, es decir, una pluralidad de marcos de tiempo de una duración correspondiente a la duración de un ARP. Según el número de nodos que envían mensajes de ARP de manera simultánea, cada mini-intervalo del subperíodo de acceso puede tener tres resultados: vacío (ningún ARP enviado), éxito (un solo ARP enviado) o colisión (múltiples ARP enviados).
- Un tercer subperíodo (subperíodo de datos), en el que un nodo final al que se le ha concedido acceso al medio transmite un paquete de datos a la pasarela.

El procedimiento comprende determinar en la pasarela si se produce una colisión durante cada mini-intervalo del subperíodo de acceso, es decir, si dos o más nodos envían un ARP de manera simultánea. Preferentemente, la detección de colisión comprende realizar una validación de CRC de los mensajes de ARP. La información con respecto a la producción de colisiones se envía mediante la pasarela en los paquetes de retroalimentación, informando, por lo tanto, a los nodos si su solicitud de acceso se recibió correctamente o si necesita transmitirse de nuevo. En caso de que la pasarela reciba un ARP enviado por un nodo sin colisiones, el nodo se pone en cola en una primera cola (DTQ, cola de transmisión de datos), mientras que si el ARP enviado por el nodo es parte de una colisión (que se notifica al nodo en el FBP), el nodo se pone en cola en una segunda cola (CRQ, cola de resolución de colisión). La DTQ determina qué nodo obtiene permiso para transferir datos durante el subperíodo de datos (es decir, solo el nodo a la cabeza de la DTQ puede enviar transmisiones de datos), mientras que la CRQ determina cuándo se concede permiso a un nodo que ha sido parte de una colisión para intentar enviar un ARP de nuevo en el subperíodo de acceso. Los nodos también usan la información en el FBP para actualizar su posición en la CRQ. Es decir, los nodos en cola en la CRQ solo pueden enviar ARP cuando están a la cabeza de la cola. Cuando un ARP de un nodo a la cabeza de la cola se recibe correctamente, el resto de los nodos en cola actualizan su posición en consecuencia.

Preferentemente, la pasarela también usa el FBP para informar a los nodos si un paquete de datos se recibió correctamente en el intervalo de tiempo anterior, típicamente mediante la realización de una verificación de CRC. De esta manera, si el paquete de datos se recibió correctamente, el nodo a la cabeza de la DTQ puede abandonar la cola y todos los nodos gestionados por la pasarela pueden actualizar su posición en la DTQ. Si el paquete de datos no se recibe correctamente (por ejemplo, debido a interferencia o colisión), el nodo a la cabeza de la cola intenta enviar el paquete de datos de nuevo en los siguientes intervalos de tiempo de enlace ascendente y el resto de los nodos en la DTQ mantienen su posición.

Con este esquema de cola distribuida, el rendimiento de la red se optimiza para cargas de tráfico tanto ligero como pesado. Cuando la carga de tráfico de la red es ligera, el procedimiento se comporta como un mecanismo de acceso aleatorio ya que los nodos pueden transmitir sus paquetes de datos poco después de que estén disponibles. Cuando aumenta la carga de tráfico, por ejemplo, como resultado de una solicitud de difusión de la pasarela, el procedimiento pasa a un esquema basado en reservas que reduce las colisiones de paquetes, permitiendo mantener un buen rendimiento de la red.

Preferentemente, puesto que la información necesaria para actualizar las colas se transmite en cada subperíodo de retroalimentación, los nodos pueden programar de manera eficaz el apagado de sus radios para conservar la energía. En particular, durante el subperíodo de datos, todos los nodos, excepto el nodo a la cabeza de la DTQ (y la pasarela), pueden apagar sus radios. Asimismo, los nodos sin paquetes de datos en espera de ser enviados pueden apagar sus radios durante el subperíodo de acceso. Los nodos con paquetes de datos a enviar, pero que están en espera en la CRQ, también pueden apagar sus radios, a excepción del nodo a la cabeza de la CRQ. Mediante el uso de este procedimiento, resulta posible lograr velocidades de ciclo de trabajo muy bajas que permitan a los nodos operar usando baterías durante largos períodos de tiempo.

Preferentemente, el procedimiento comprende transmitir desde la pasarela una señal de control periódica (baliza) que define qué intervalos de tiempo se reservan para transmisiones de datos de enlace descendente (intervalos de tiempo de enlace descendente) y qué intervalos de tiempo se conservan para transmisiones de datos de enlace ascendente (intervalos de tiempo de enlace ascendente). Asimismo, preferentemente, los nodos usan la baliza para sincronizar sus relojes con la pasarela.

Preferentemente, el procedimiento implementa una estrategia de salto de canal mediante el cambio del canal usado para transmitir en cada intervalo de tiempo. Más preferentemente, la secuencia de canales a través de la que se transmiten los intervalos de tiempo está determinada por la pasarela y se transmite a los nodos en la señal de baliza. Por lo tanto, el procedimiento mitiga los efectos de la interferencia y la propagación de múltiples rutas en la capa física en las bandas ISM. El esquema de salto de canal por intervalo permite adaptarse a la interferencia causada por redes adyacentes que operan en la misma banda, así como reducir los efectos de la propagación por múltiples rutas causados por la réplica y el desvanecimiento.

En otra opción preferida, los ARP se transmiten usando una primera modulación y los datos y el FBP se transmiten usando una segunda modulación, en la que la primera modulación es menos robusta que la segunda modulación contra las interferencias de otros nodos. De esta manera, dos ARP simultáneos con poderes dispares tienen más probabilidades de ser detectados como una colisión.

En un segundo aspecto de la presente invención, se desvela una pasarela de una red inalámbrica M2M, gestionando la pasarela una pluralidad de nodos con un medio compartido para comunicaciones de enlace ascendente y enlace descendente. El medio está organizado en una pluralidad de intervalos de tiempo de una duración fija, dividiéndose cada intervalo de tiempo de enlace ascendente en tres subperíodos (subperíodo de retroalimentación, subperíodo de acceso, subperíodo de datos). La pasarela está configurada para recibir ARP de los nodos en el subperíodo de acceso, paquetes de datos de los nodos en el subperíodo de datos y para enviar información de retroalimentación en el subperíodo de retroalimentación. Asimismo, la pasarela está configurada para detectar colisiones en el subperíodo de acceso e informar a los nodos de dichas colisiones por medio de la información de retroalimentación. La pasarela también está configurada para enviar en el FBP la información que necesitan los nodos para organizarse en dos colas, dependiendo de la producción de colisiones durante el subperíodo de acceso. Si se recibe un ARP sin colisión, el nodo que envía el ARP entra en la DTQ en su última posición. Si un ARP es parte de una colisión con otros mensajes, el nodo que envía el ARP se pone en cola en la CRQ.

En un tercer aspecto de la presente invención, se desvela un nodo de una red de comunicaciones inalámbricas M2M, comprendiendo la red, además, una pluralidad de nodos gestionados por una pasarela. La pasarela y los nodos comparten el mismo medio para las comunicaciones de enlace ascendente y enlace descendente, estando organizado dicho medio en una pluralidad de intervalos de tiempo de duración fija. El nodo de la invención está configurado para enviar un ARP durante un primer subperíodo de un intervalo de tiempo de enlace ascendente cuando dicho nodo tiene paquetes de datos para transmitir. Cuando se concede acceso al medio al nodo, el nodo envía los paquetes de datos durante un segundo subperíodo del intervalo de tiempo. Finalmente, el nodo recibe información de retroalimentación de la pasarela durante un tercer subperíodo del intervalo de tiempo. La información de retroalimentación indica si se ha recibido un ARP del nodo en la pasarela con o sin colisiones. Dependiendo de la información de retroalimentación, el nodo se pone en cola en la DTQ (sin colisiones) o en la CRQ (cuando se ha producido una colisión).

En un cuarto aspecto de la presente invención, se desvela una red de comunicaciones inalámbricas M2M, comprendiendo la red al menos una pasarela y una pluralidad de nodos con un medio compartido para comunicaciones de enlace ascendente y enlace descendente, que se organizan en intervalos de tiempo de una duración fija. Los nodos y la pasarela están configurados para dividir cada intervalo de tiempo de enlace ascendente en tres subperíodos (subperíodo de acceso, subperíodo de datos y subperíodo de retroalimentación). Los nodos están configurados para enviar solicitudes de comunicación de datos a la pasarela en el subperíodo de acceso y comunicaciones de datos en el subperíodo de datos cuando se concede a los nodos sus solicitudes de comunicación de datos. La pasarela está configurada para determinar si se produce una colisión en el subperíodo de acceso y los nodos de cola que envían ARP en dicho subperíodo de acceso según la presencia o ausencia de colisiones, informando a los nodos de dichas colisiones en el subperíodo de retroalimentación. Si se produce una colisión, el nodo se pone en cola en la cola de resolución de colisión, mientras que si el ARP se recibe sin colisiones, el nodo se pone en cola en una cola de transmisión de datos.

Finalmente, En un quinto aspecto de la presente invención, se desvela un programa informático, que comprende medios de código de programa informático adaptados para realizar las etapas del procedimiento descrito cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señales digitales, una matriz de puerta programable en campo, un circuito integrado específico de la aplicación, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.

Por lo tanto, la invención desvelada proporciona un control de acceso al medio optimizado para redes inalámbricas máquina a máquina, capaz de manejar de manera eficaz escenarios de carga de tráfico ligero y pesado con alto rendimiento de red. Este también reduce el número de colisiones y proporciona una detección de colisión mejorada. Asimismo, este reduce el consumo de energía en los nodos y mejora la robustez contra las interferencias. Estas y otras ventajas resultarán evidentes con la descripción detallada de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Con el fin de ayudar a comprender las características de la invención, según una realización práctica preferida de la misma, y con el fin de complementar la presente descripción, se adjuntan las siguientes figuras como parte integrante de la misma, que tienen un carácter ilustrativo y no limitante:

La Figura 1 muestra un ejemplo esquemático de una red de comunicaciones inalámbricas máquina a máquina a la que se aplica el procedimiento de la invención.

La Figura 2 representa los elementos de una pasarela según una realización particular de la invención.

La Figura 3 muestra los elementos de un nodo según una realización particular de la invención.

La Figura 4 ejemplifica la multiplexación en el tiempo de una realización particular de la invención.

La Figura 5 muestra los elementos y subperíodos comprendidos dentro de un intervalo de tiempo de enlace ascendente.

La Figura 6 es un diagrama de flujo de las etapas seguidas por una pasarela.

La Figura 7 es un diagrama de flujo de las etapas seguidas por un nodo.

La Figura 8 presenta un ejemplo de salto de frecuencia que sigue una realización particular de la invención.

Descripción detallada de la invención

Los asuntos definidos en la presente descripción detallada se proporcionan para ayudar a una comprensión integral de la invención. Por consiguiente, aquellos expertos habituales en la materia reconocerán que varios cambios y modificaciones de las realizaciones descritas en el presente documento se pueden realizar sin apartarse del ámbito de la invención, que se define mediante las reivindicaciones.

Se tiene en cuenta que, en este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (tales como "que comprende/n", etc.) no se debe entender en un sentido excluyente, es decir, estos términos no se deben interpretar como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define puede incluir elementos, etapas adicionales, etc.

La Figura 1 muestra una red de comunicaciones máquina a máquina que opera en un área 1 de detección y/o accionamiento. La red comprende una pluralidad de pasarelas 2, teniendo cada pasarela una determinada cobertura 3. Dentro de la cobertura 3 de cada pasarela 2, la red comprende una pluralidad de nodos 4, que se accionan y/o miden parámetros del área 1 de detección y/o accionamiento. Las pasarelas 2 también están conectadas a un sistema anfitrión 5, que también está conectado a un administrador 6 de M2M. El administrador recibe las mediciones de los sensores de los nodos 4 a través de las pasarelas 2 y también envía comandos a los nodos 4 a través de la misma pasarela 2. Las comunicaciones entre los nodos 4 y las pasarelas 2 se realizan de manera inalámbrica, preferentemente usando las bandas ISM (es decir, de 169 MHz, 315 MHz, 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz y 2,45 GHz, entre otros). Las comunicaciones entre las pasarelas 2 y el sistema anfitrión 5 y entre el sistema anfitrión 5 y el administrador 6 de M2M pueden ser tanto por cable como inalámbricas. Algunos ejemplos de redes M2M son la detección remota de constantes físicas, la medición remota de servicios (electricidad, agua, gas, etc.) y el accionamiento remoto sobre dispositivos físicos, tales como los semáforos.

La Figura 2 muestra un diagrama de una pasarela 2 de M2M, que comprende una batería 7 y un sistema 8 de recolección de energía, ambos conectados a una unidad 9 de administración de potencia (PMU en inglés). Se

observa que, en algunas realizaciones particulares de la invención, la pasarela 2 también puede operar solo con la batería 7 y solo con energía externa a través del sistema 8 de recolección de energía. Asimismo, en otra realización particular, la pasarela puede recoger energía directamente de la potencia principal. La pasarela 2 comprende, además, una interfaz 10 de red para comunicarse con el sistema anfitrión 5, una unidad de procesamiento central (CPU en inglés) 11 y una radio 12 para comunicarse con los nodos. Esta también comprende una memoria 13 para el almacenamiento de datos y relojes 14.

La Figura 3 muestra un esquema de un nodo 4 de la red, que también comprende la batería 7, el sistema 8 de recolección de energía y la PMU 9. Se observa que, en algunas realizaciones particulares de la invención, el nodo 4 también puede operar solo con la batería 7 y solo con energía externa a través del sistema 8 de recolección de energía. En todos los casos, resulta deseable tener bajo consumo de energía, siendo este problema especialmente crítico en los nodos que operan con baterías 7. El nodo también comprende una CPU 11, una radio 12 para enviar y recibir comunicaciones desde la pasarela, una memoria 13 y relojes 14. Asimismo, el nodo comprende sensores 15 y/o accionadores 16 para interactuar con el área 1 de detección y/o accionamiento.

Las comunicaciones entre cada pasarela 2 y los nodos 4 dentro de su cobertura 3 siguen un protocolo de control de acceso al medio (MAC) sincronizado en el tiempo, es decir, los relojes 14 de la pasarela 2 y los nodos 4 están alineados. Tal como se muestra en la Figura 4, el protocolo de MAC divide el tiempo en intervalos 19 de tiempo de duración fija. Un número (k) predefinido de intervalos 19 de tiempo consecutivos constituye un marco 18, estando cada marco, que se repite a lo largo del tiempo, precedido por una señal de control (baliza) 17 usada para fines de sincronización y gestión.

El descubrimiento de la red se logra por medio de las balizas 17 transmitidas de manera periódica por la pasarela 2 en cualquiera de los canales disponibles. Tanto el tiempo en que se envían las balizas 17 como el canal usado para transmitir las balizas 17 se configura dependiendo de los requisitos de la aplicación particular. Además, las balizas 17 pueden contener información con respecto al reloj 14 de la pasarela 2 (reloj maestro) con el que los nodos 4 necesitan sincronizarse con el fin de unirse a la red. Se observa que, en algunas realizaciones, la red se puede sincronizar sin baliza 17, incluyendo el valor del reloj maestro. Si el nodo conoce la duración de los intervalos 19 de tiempo y la baliza 17 informa del número de intervalos de 19 en un marco 18, el nodo puede determinar exactamente cuándo comienza cada intervalo y cada subperíodo.

La baliza 17 también comprende otra información necesaria para la operación de la red, tal como la cantidad de intervalos 19 que siguen a la baliza 17, cuáles de los intervalos 19 se reservan para las comunicaciones de enlace descendente y qué intervalos 19 se conservan para las comunicaciones de enlace ascendente, y el siguiente canal en el que tendrán lugar las comunicaciones.

Cuando un nuevo nodo 4 se activa dentro de la cobertura 3 de una pasarela 2 y desea unirse a la red, el nodo 4 necesita sincronizarse con la pasarela 2. Para este fin, el nodo 4 enciende la radio 12 y explora el medio hasta que se recibe una baliza 17 de una o más pasarelas 2. Esta exploración típicamente se realiza en todos los canales en los que tienen lugar las comunicaciones de red. De todas las balizas 17 recibidas, el nodo 4 decide cuál es la más adecuada para su operación y sincroniza sus relojes 14 con el reloj maestro. Se tiene en cuenta que las balizas 17 se usan para la sincronización horaria no solo durante el descubrimiento de la red, sino también durante la operación normal de la red, ya que las derivas relativas entre los relojes de la pasarela 2 y los nodos 4 se pueden producir como consecuencia de los cambios de temperatura, el envejecimiento de componentes, etc.

En los nodos 4 que no tienen datos para transmitir, la sincronización se realiza exclusivamente a través de las balizas 17, mediante el encendido de la radio 12 un poco antes de que se espere que se reciba la baliza 17. Si la baliza 17 no se recibe, la sincronización se considera perdida y el procedimiento de sincronización comienza de nuevo. De lo contrario, los nodos 4 con datos a transmitir pueden realizar de manera automática la resincronización mediante la corrección de las derivas de tiempo con el comienzo de cada intervalo de tiempo.

Una vez que un nodo 4 se ha unido a la red y su reloj 14 está sincronizado, se pueden realizar comunicaciones con la pasarela 2. Puesto que el medio es compartido por las comunicaciones de enlace ascendente y enlace descendente, la pasarela 2 determina qué intervalos 19 de tiempo de cada marco 18 se usan para comunicaciones de enlace descendente y qué intervalos 19 de tiempo se usan para comunicaciones de enlace ascendente y transmite esta información de programación a los nodos 4 en la baliza 17. Para cada intervalo 19 de enlace descendente, la baliza 17 también determina a qué nodos 4 se dirigen los datos comprendidos en ese intervalo 19. Los nodos 4 dirigidos de cada intervalo 19 de tiempo pueden ser un solo nodo (unidifusión), un grupo de nodos (multidifusión) o todos los nodos (difusión). Esta información permite a los nodos 4 apagar la radio cuando los datos del enlace descendente no están dirigidos a los mismos, reduciendo, por lo tanto, el consumo de energía. Asimismo, este esquema permite flexibilidad de programación, ya que cuando no se requiere comunicación de enlace descendente en un marco 18 dado, todos los intervalos 19 pueden dedicarse a las comunicaciones de enlace ascendente, maximizando de este modo el rendimiento del paquete de red.

La Figura 5 muestra la organización de un intervalo 19 de tiempo de enlace ascendente, usado por la red para implementar un protocolo de MAC de acceso híbrido. El intervalo 19 de tiempo se divide en tres subperíodos, a saber, el subperíodo 20 de retroalimentación, el subperíodo 21 de acceso y el subperíodo 22 de datos. Los espacios

entre marcos cortos (SIFS en inglés) y los espacios entre marcos largos (LIFS en inglés) 24 se incluyen al final del subperíodo 22 de datos y el subperíodo 20 de retroalimentación con el fin de permitir que la pasarela y los nodos procesen el paquete y ejecuten reglas de protocolo.

5 El subperíodo 21 de acceso de cada intervalo 19 permite a los nodos 4 solicitar permiso para transmitir un paquete 26 de datos a la red durante un subperíodo 20 de datos. Estas solicitudes se realizan mediante el envío de paquetes de solicitud de acceso (ARP) 25. Para este fin, el subperíodo 21 de acceso se divide en una pluralidad de mini-intervalos (típicamente tres, aunque se puede usar un número diferente). Cuando un nodo 4 desea transmitir un paquete 26 de datos, envía un ARP 25 durante un mini-intervalo del subperíodo 21 de acceso. El mini-intervalo específico se selecciona de manera aleatoria entre los mini-intervalos disponibles. Puesto que no hay arbitraje en la transmisión de ARP 25, múltiples nodos pueden enviar ARP 25 durante el mismo mini-intervalo de un intervalo 19 de tiempo dado, dando como resultado una colisión. Por lo tanto, existen tres posibles resultados para cada mini-intervalo: el mini-intervalo está vacío (no hay transmisión de ARP 25), un ARP 25 se transmite de manera correcta (solo un nodo 4 que envía ARP) o se produce una colisión (múltiples ARP 25 enviados desde múltiples nodos 4 durante un mini-intervalo). Durante el subperíodo 21 de acceso de los intervalos 19 de tiempo de enlace ascendente, la pasarela 2 escucha el medio y usa los medios de detección de colisión comprendidos en su CPU 14 para determinar cuál de los resultados mencionados anteriormente se produce en cada mini-intervalo. Para este fin, la pasarela 2 combina mediciones de energía y técnicas de detección y validación de ARP.

20 En primer lugar, la pasarela 2 determina el nivel de energía del canal. Si se detecta energía, es decir, si la energía entrante en el canal supera un umbral predefinido, se considera que se ha enviado al menos un ARP 25 durante el mini-intervalo. Si la energía está por debajo del umbral, la pasarela 2 considera que no se ha enviado ningún ARP 25. Sin embargo, las interferencias y las pérdidas de propagación pueden dar como resultado falsos positivos y falsos negativos. Por esta razón, la pasarela 2 también determina si la señal recibida durante un mini-intervalo con energía por encima del nivel de umbral corresponde a un ARP 25 válido. Si hay energía presente, pero la señal no corresponde a un ARP 25 válido, la pasarela 2 considera que se ha producido una colisión. Con el fin de evitar falsos positivos incluso con la detección de ARP 25, lo que se podría producir si hay una colisión entre dos nodos 4 perfectamente sincronizados, la CRC se incorpora al ARP 25. Por lo tanto, si se detecta un ARP 25 y la CRC es válida, la pasarela 2 considera que se ha enviado un solo ARP 25. Si se detecta un ARP 25 y la CRC no es válida, la pasarela 2 considera que se ha producido una colisión.

30 Se debe tener en cuenta que el ARP 25 no incluye información sobre el nodo 4 que lo transmitió. En su lugar, el ARP 25 comprende un campo con un número generado de manera aleatoria. Este número generado de manera aleatoria se incluye para permitir que la pasarela 2 informe a los nodos 4 qué ARP 25 se recibió correctamente (mediante la inclusión de dicho número generado de manera aleatoria en un paquete 23 de retroalimentación). Esto resulta particularmente importante ya que existe la posibilidad de que dos nodos 4 transmitan un ARP 25 en el mismo mini-intervalo y, sin embargo, el resultado del mini-intervalo es el éxito en lugar de la colisión. Por ejemplo, mediante el uso de una modulación robusta, tal como FSK (manipulación por desplazamiento de frecuencia) o MSK (manipulación por desplazamiento mínimo) resulta posible que la pasarela pueda decodificar con éxito el paquete debido al efecto de captura (la señal de la segunda transmisión actúa como interferencia, pero no afecta a la correcta recepción de la otra señal). Después de enviar un ARP 25 con un número generado de manera aleatoria, el nodo 4 verifica el siguiente FBP 23. Si el FBP 23 comprende ese mismo número, el nodo 4 considera que la transmisión de ARP 25 fue un éxito y entra en la DTQ. De otra manera, el nodo determina que el ARP 25 no se recibió con éxito y entra en la CRQ.

45 La pasarela 2 comunica los resultados de cada mini-intervalo a los nodos 4 durante el subperíodo 20 de retroalimentación por medio de un paquete de retroalimentación (FBP) 23. Con el fin de notificar de manera adecuada a los nodos 4 que obtienen acceso al medio, alguna identificación de nodo se debe incluir tanto en el ARP 25 como en el FBP 23. La identificación de nodo puede ser un número aleatorio generado por cada nodo 4. En ese caso, se debe tener en cuenta que la posibilidad de que dos nodos 4 colisionen y tengan la misma identificación aleatoria es lo suficientemente baja como para no interferir con la operación del protocolo.

50 Una vez que se le ha concedido permiso a un nodo 4 para enviar paquetes 26 de datos, dichos paquetes 26 de datos se envían durante el subperíodo 22 de datos. El acceso de los nodos 4 al medio durante el subperíodo 22 de datos es gestionado por la pasarela 2 por medio de la información de retroalimentación comprendida en el FBP 23 transmitido durante el subperíodo 20 de retroalimentación. De manera específica, el FBP 23 comprende información con respecto a la resolución del subperíodo 21 de acceso, es decir, el resultado de cada mini-intervalo (vacío, colisión o ARP 25 con éxito). En cada ARP 25 con éxito, el FBP 23 comprende, además, el número generado de manera aleatoria incluido en dicho ARP 25, con el fin de resolver el efecto de captura mencionado anteriormente.

55 Se observa que una alternativa opcional para mitigar el efecto de captura es usar una modulación menos robusta para el ARP 25, tal como la manipulación por todo o nada (OOK en inglés) o la manipulación por desplazamiento de amplitud (ASK en inglés). De esta manera, la interferencia entre dos ARP 25 con potencias significativamente diferentes es más probable que se detecte como una colisión. No obstante, se debe tener en cuenta que el uso de estas modulaciones reduce la eficacia energética del protocolo. El FBP 23 y los paquetes 26 de datos se pueden transmitir con una modulación más robusta, tal como la manipulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) o la manipulación por desplazamiento mínimo (MSK).

El FBP 23 comprende, además, el resultado de la validación de CRC de los paquetes 26 de datos recibidos durante el subperíodo 22 de datos. Si la CRC es válida, el nodo 4 considera que los datos se han transmitido correctamente. De otra manera, el nodo 4 vuelve a intentar enviar los datos en intervalos 19 de tiempo posteriores. El FBP 23 puede comprender información con respecto al número de intervalos 19 restantes en el marco 18 actual. De manera adicional, el FBP 23 comprende, además, información con respecto a la resolución de acceso y las colas de transmisión de datos del sistema de cola distribuida.

La cola distribuida se basa en dos colas virtuales, a saber, la cola de resolución de colisión (CRQ) y la cola de transmisión de datos (DTQ). Cada cola se representa en cada nodo 4 mediante dos valores enteros: la longitud global de la cola, es decir, el número de nodos 4 actualmente esperando en la cola; y la posición de la cola, es decir, la posición actual del nodo 4 particular en la cola. Los valores que representan cada cola se actualizan constantemente mediante todos los nodos 4 tras recibir el FBP 23 en el subperíodo 20 de retroalimentación. En cualquier momento dado, un nodo 4 no se puede posicionar en ambas colas. El nodo 4 puede estar esperando en la CRQ para enviar un ARP 25, esperando en la DTQ para enviar un paquete 26 de datos o en ninguno de los mismos. Los nodos 4 en cola en cualquiera de las colas necesitan encender la radio 12 durante el subperíodo de retroalimentación con el fin de actualizar su posición en las colas. Sin embargo, los nodos 4 que no tienen paquetes de datos para enviar pueden permanecer con sus radios 12 apagadas, ahorrando, por lo tanto, energía.

La CRQ se usa para permitir el acceso a la red mediante la resolución de colisiones que se producen en los mini-intervalos de ARP 25. Los nodos finales que han transmitido un ARP en cualquiera de los mini-intervalos de ARP 25 del intervalo 19 de tiempo actual y han recibido retroalimentación negativa (notificación de producción de colisión) desde la pasarela 2 a través del FBP 23, entran en la CRQ en las últimas posiciones. En una realización particular, la posición en la que un nodo entra en la CRQ depende del mini-intervalo usado para la transmisión de ARP 25. Por ejemplo, si se seleccionó el primer mini-intervalo, el nodo 4 entra en la CRQ en la última posición más uno. Si se seleccionó el tercer mini-intervalo, el nodo 4 entra en la CRQ en la última posición más tres. Cuando los nodos 4 alcanzan la primera posición de la CRQ, se les permite enviar un ARP 25 en el subperíodo 21 de acceso. Cuando un ARP 25 del nodo 4 a la cabeza de la CRQ se transmite con éxito a la pasarela, el resto de los nodos 4 en cola en la CRQ actualizan su posición.

La DTQ se usa para programar la transmisión de paquetes 26 de datos de los nodos 4 que ya han transmitido un ARP 25. Tras recibir una retroalimentación positiva para un ARP 25 (ya sea directamente o después de pasar por la CRQ), el nodo 4 se une a la DTQ en su última posición. Cuando el nodo 4 llega a la primera posición de la cola, a este se le permite enviar el paquete 26 de datos en el subperíodo 22 de datos. Siempre que un paquete 26 de datos del nodo a la cabeza de la DTQ se reciba correctamente en la pasarela 2 (y el FBP 23 informe a los nodos 4 de este evento), el nodo 4 a la cabeza de la DTQ abandona la cola y el resto de los nodos 4 actualizan su posición.

Uno de los principales inconvenientes de la cola distribuida tradicional es que el protocolo requiere que todos los nodos 4 escuchen al medio durante el subperíodo 20 de retroalimentación en todo momento. Con la presente invención, los nodos 4 que no tienen paquetes 26 de datos para transmitir, pueden permanecer con su radio 12 apagada durante el subperíodo 20 de retroalimentación hasta que un paquete 26 de datos esté listo para ser transmitido. Asimismo, solo el nodo 4 a la cabeza de la DTQ enciende la radio 12 durante el subperíodo 22 de datos. Asimismo, entre los nodos 4 en la CRQ, solo los nodos 4 a la cabecera de dicha cola encienden la radio durante el subperíodo de acceso, reduciendo adicionalmente el consumo global de energía.

La Figura 6 presenta un diagrama de flujo de la operación de la pasarela 2. La pasarela 2 inicia su operación y prepara y transmite la baliza 17. A continuación, la pasarela 2 verifica si el marco 18 comprende más intervalos 19 de tiempo. Si el marco 18 no comprende más intervalos 19 de tiempo, la pasarela 2 inicia de nuevo su operación. De otra manera, la pasarela comienza el subperíodo de retroalimentación 20, en el que prepara y transmite el FBP 23. A continuación, en el subperíodo 21 de acceso, la pasarela escucha al medio para recibir el ARP 25 de los nodos. Finalmente, en el subperíodo 22 de datos, la pasarela recibe o transmite paquetes 26 de datos dependiendo de si el intervalo 19 de tiempo actual es de enlace ascendente o descendente y, a continuación, vuelve a verificar si el marco 18 actual comprende más intervalos 19 de tiempo.

La Figura 7 presenta un diagrama de flujo de la operación del nodo 4. El nodo 4 inicia la operación en un estado no sincronizado, en el que permanece hasta la recepción de la baliza 17. Una vez sincronizado, el nodo 4 verifica si hay más intervalos 19 de tiempo en el marco 18 actual. Si no es así, el nodo vuelve al inicio de su operación. De otra manera, el nodo 4 inicia el subperíodo 20 de retroalimentación y espera durante el SIFS 24 con el fin de permitir que la pasarela 2 prepare el FBP 23 y, a continuación, el nodo 4 recibe dicho FBP. Si el nodo 4 tiene paquetes 26 de datos para enviar, el nodo envía el ARP 25 durante el subperíodo 21 de acceso. A continuación, en el subperíodo 22 de datos, el nodo recibe paquetes 26 de datos en intervalos 19 de tiempo de enlace descendente y transmite paquetes 26 de datos en intervalos 19 de tiempo de enlace ascendente (después de pasar por la DTQ).

El protocolo de MAC comprende reglas adicionales con respecto a la transmisión de paquetes y la gestión de colas. En primer lugar, con respecto a la transmisión de ARP 25, un nodo 4 puede transmitir un ARP 25 si no hay colisiones pendientes de resolución (la CRQ está vacía) y el nodo no está esperando en ninguna de las dos colas. Si la transmisión de ARP 25 da como resultado una colisión y el nodo 4 entra en la CRQ, el nodo 4 solo puede

transmitir un ARP 25 una vez que alcanza la cabeza de la CRQ. Con respecto a la transmisión de paquetes 26 de datos, un nodo 4 solo puede transmitir un paquete 26 de datos si y solo si su posición en la DTQ está a la cabeza de dicha DTQ.

5 Tras recibir un FBP 23, todos los nodos 4 que están actualmente en la CRQ o la DTQ actualizan el estado de sus colas respectivas según la información comprendida en el FBP 23. La longitud de la DTQ se aumenta en una unidad por cada ARP 25 recibido con éxito por la pasarela. La longitud de la DTQ se reduce en una unidad por cada paquete 26 de datos recibido con éxito por la pasarela. Si hay colisiones pendientes por resolver, disminuye el valor de la posición del nodo en la CRQ en una unidad para tener en cuenta la resolución de colisión intentada durante el intervalo 19 de tiempo actual por los nodos 4 a la cabeza de la cola.

10 Si un nodo 4 transmite un ARP 25 en el intervalo 19 de tiempo actual y se produce una colisión, el nodo 4 se posiciona en sí en la última posición de la CRQ, es decir, ajusta su posición en la CRQ en un número entero mayor que la longitud anterior de la CRQ. Si un nodo 4 transmite un ARP 25 y se recibe con éxito en la pasarela 2 sin colisiones, el nodo 4 se posiciona en sí al final de la DTQ.

15 Si un nodo ya está esperando en la CRQ, disminuye su posición en una unidad (considerando que la cabeza de la cola es la posición 1), a continuación, aumenta su posición en una unidad por cada ARP 25 que se ha marcado como una colisión en el subperíodo 21 de acceso actual. Si un nodo 4 está esperando en la DTQ, el nodo 4 disminuye su posición en una unidad por cada paquete de datos recibido con éxito por la pasarela.

20 La Figura 8 presenta el salto de canal implementado por la invención con el fin de mitigar la interferencia de redes adyacentes que operan en la misma banda o en bandas adyacentes, así como añadir robustez contra la propagación por múltiples rutas, en el que cada intervalo 19 de tiempo de un marco 18 se transmite a través de un canal 44 diferente, por ejemplo, a diferentes frecuencias. A fin de implementar este esquema de salto de canal por intervalo, la baliza 17 transmitida por la pasarela 2 comprende un identificador para el siguiente canal 44 y un patrón pseudoaleatorio. Los nodos 4 usan el identificador y el patrón pseudoaleatorio para calcular a qué frecuencia tendrá lugar cada intervalo. Esto también permite apagar la radio 12 de los nodos 4 durante determinados intervalos 19 de tiempo y seguir pudiendo recibir intervalos 19 de tiempo en su canal 44 correcto después de encender la radio 12 de nuevo. Un procedimiento sencillo para calcular la frecuencia de cada intervalo 19 es transmitir el primer intervalo 19 en el canal 44 indicado por el identificador y, a continuación, aplicar el patrón pseudoaleatorio como desplazamientos de canal relativos de los siguientes intervalos 19. No obstante, el experto en el campo reconocerá que se pueden adoptar otros procedimientos para comunicar los canales 44 de los intervalos 19 de tiempo en la baliza 17 dentro del ámbito de la presente invención, tal como se ha reivindicado.

30 La descripción y los dibujos ilustran meramente los principios de la invención. De esta manera, se apreciará que aquellos expertos en la materia podrán idear diversas disposiciones que, aunque no se describen o se muestran en el presente documento de manera explícita, incorporan los principios de la invención y se incluyen dentro de su ámbito. Asimismo, todos los ejemplos citados en el presente documento pretenden principalmente ser expresamente solo para fines pedagógicos para ayudar al lector a entender los principios de la invención y los conceptos aportados por el/los inventor/es a la promoción de la técnica y se deben interpretar como que son sin limitación a tales ejemplos y condiciones citados de manera específica. Por otra parte, todas las afirmaciones en el presente documento que citan principios, aspectos y realizaciones de la invención, así como ejemplos específicos de la misma, pretenden abarcar equivalentes de la misma.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para enviar y recibir datos en una red inalámbrica máquina a máquina, comprendiendo la red de comunicaciones inalámbricas máquina a máquina al menos una pasarela (2) y una pluralidad de nodos (4) que comparten al menos una frecuencia de transmisión común, las comunicaciones entre la al menos una pasarela (2) y la pluralidad de nodos (4) se organizan en marcos (18), repetidos a lo largo del tiempo, comprendiendo cada marco una pluralidad de intervalos (19) de tiempo de una duración fija, incluyendo los intervalos (19) de tiempo intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente e intervalos (19) de tiempo de enlace descendente, en el que, dentro de cada marco (18), cada intervalo (19) de tiempo se transmite a través de una frecuencia diferente y el procedimiento comprende:
- 5 - enviar información (23) de retroalimentación desde la pasarela (2) hasta los nodos (4), durante un primer subperíodo (20) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente, indicando si se produjeron colisiones durante el intervalo de tiempo anterior;
 - 10 - enviar solicitudes (25) de transmisión de datos desde los nodos (4) hasta la pasarela (2) durante un segundo subperíodo (21) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente;
 - 15 - enviar transmisiones (26) de datos desde los nodos (4) hasta la pasarela (2) durante un tercer subperíodo (22) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente;
 - determinar en la pasarela (2) si se produce una colisión durante el segundo subperíodo (21), produciéndose la colisión cuando se envían múltiples solicitudes (25) de transmisión de datos de manera simultánea a la pasarela por diferentes nodos;
 - 20 - si las solicitudes (25) de transmisión de datos se reciben en la pasarela (2) sin colisiones, posicionar los nodos (4) que envían las solicitudes (25) de transmisión de datos en una primera cola, definiendo la primera cola la posición en la que un nodo en cola puede enviar una transmisión (26) de datos;
 - si las solicitudes (25) de transmisión de datos dan como resultado colisiones, posicionar los nodos (4) que envían solicitudes (25) de transmisión de datos en una segunda cola, definiendo la segunda cola la posición en la que un nodo en cola puede enviar una solicitud (25) de transmisión de datos;
- comprendiendo el procedimiento, además, que la pasarela transmita, precediendo a cada marco, una señal (17) de control que incluye información sobre qué intervalos de tiempo del marco se reservan para transmisiones de datos de enlace descendente y qué intervalos de tiempo se reservan para transmisiones de datos de enlace ascendente, incluyendo también información de sincronización usada por la pluralidad de nodos para sincronizar e incluyendo también información sobre la secuencia de frecuencia a través de la que se transmiten los intervalos de tiempo del marco.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de determinar si se produce una colisión durante el segundo subperíodo (21) comprende, además, una detección de energía y una validación de verificación de redundancia.
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo subperíodo (21) se divide en una pluralidad de divisiones de tiempo y en el que la información (23) de retroalimentación indica si se producen colisiones en cada una de las divisiones de tiempo.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo la información (23) de retroalimentación, además, información con respecto a si una transmisión (26) de datos se recibe con éxito en la pasarela (2) en el intervalo (19) de tiempo anterior y comprendiendo el procedimiento, además, modificar la posición de los nodos (4) en cola en la primera cola según dicha información de retroalimentación.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, que comprende, además, programar el apagado de los medios (12) de comunicación de todos los nodos durante el tercer subperíodo (22), excepto el nodo a la cabeza de la primera cola.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, programar el apagado de los medios (12) de comunicación durante el segundo subperíodo (21) de todos los nodos (4) en cola en la segunda cola, excepto el nodo (4) a la cabeza de dicha segunda cola.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal de control también comprende un identificador de la frecuencia usada en el primer intervalo de tiempo de un marco y un patrón pseudoaleatorio y el procedimiento comprende, además, la pluralidad de nodos (4) que usan el identificador de la frecuencia usada en el primer intervalo de tiempo de un marco y el patrón pseudoaleatorio para calcular la frecuencia de transmisión de cada intervalo de tiempo del marco.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que el patrón pseudoaleatorio determina el desplazamiento de frecuencia entre cada intervalo de tiempo del marco.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las solicitudes (25) de transmisión de datos se transmiten usando una primera modulación y las transmisiones (26) de datos y la información (23) de retroalimentación se transmiten usando una segunda modulación, siendo la primera modulación menos robusta contra las interferencias de otros nodos.

10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la información (23) de retroalimentación comprende, además, una confirmación de la pasarela (2) con respecto a la presencia o ausencia de errores en las transmisiones de datos de enlace ascendente.

5 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, seleccionar de manera individual la frecuencia de transmisión de cada intervalo (19) de tiempo entre una pluralidad de frecuencias de transmisión.

10 12. Pasarela (2) para una red de comunicaciones inalámbricas máquina a máquina, comprendiendo la red de comunicaciones inalámbricas máquina a máquina una pluralidad de nodos (4) que comparten al menos una frecuencia de transmisión común con la pasarela (2), las comunicaciones entre la pasarela (2) y la pluralidad de nodos (4) se organizan en marcos (18), repetidos a lo largo del tiempo, comprendiendo cada marco una pluralidad de intervalos (19) de tiempo de una duración fija, comprendiendo los intervalos (19) de tiempo intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente e intervalos (19) de tiempo de enlace descendente, en la que, dentro de cada marco (18), cada intervalo (19) de tiempo se transmite a través de una frecuencia diferente y la pasarela (2) comprende medios (12) de comunicación y medios (11) informáticos configurados para:

15 - enviar información (32) de retroalimentación a los nodos (4), durante un primer subperíodo (20) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente, indicando la información (32) de retroalimentación si se produjo una colisión durante el segundo subperíodo (21) del intervalo (19) de tiempo anterior; determinando dicha información si los nodos (4) que envían solicitudes (25) de transmisión de datos se deben poner en cola en una primera cola, que define la posición en la que un nodo (4) en cola puede enviar una transmisión (26) de datos si el nodo ha
20 enviado una solicitud de transmisión de datos en el segundo subperíodo del intervalo (21) de tiempo de enlace ascendente anterior y dicha solicitud de transmisión de datos se ha recibido en la pasarela sin colisión, o en una segunda cola, que define la posición en la que un nodo (4) en cola puede enviar una solicitud (25) de transmisión de datos si el nodo ha enviado una solicitud de transmisión de datos en el segundo subperíodo del intervalo (21) de tiempo de enlace ascendente anterior y dicha solicitud de transmisión de datos ha dado como resultado colisión;
25 - recibir solicitudes (33) de transmisión de datos desde los nodos (4) hasta la pasarela (4) durante el segundo subperíodo (21) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente;
- recibir transmisiones (34) de datos desde los nodos (4) durante un tercer subperíodo (22) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente;
30 - determinar si se produce una colisión durante cada mini-intervalo del segundo subperíodo (21), produciéndose la colisión cuando se envían múltiples solicitudes (25) de transmisión de datos a la pasarela de manera simultánea por diferentes nodos;
- transmitir, precediendo a cada marco, una señal (17) de control que incluye información sobre qué intervalos de tiempo del marco se reservan para transmisiones de datos de enlace descendente y qué intervalos de tiempo se reservan para transmisiones de datos de enlace ascendente, incluyendo también información de sincronización usada por la pluralidad de nodos para sincronizar e incluyendo también información sobre la secuencia de frecuencia a través de la que se transmiten los intervalos de tiempo del marco.
35

40 13. Nodo (4) para una red de comunicaciones inalámbricas máquina a máquina, comprendiendo la red de comunicaciones inalámbricas máquina a máquina una pluralidad de nodos (4) que comparten al menos una frecuencia de transmisión común con una pasarela (2), las comunicaciones entre la pasarela (2) y la pluralidad de nodos (4) se organizan en marcos (18), repetidos a lo largo del tiempo, comprendiendo cada marco una pluralidad de intervalos (19) de tiempo de una duración fija, comprendiendo los intervalos (19) de tiempo intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente e intervalos (19) de tiempo de enlace descendente, en el que, dentro de cada marco (18), cada intervalo (19) de tiempo se transmite a través de una frecuencia diferente y el nodo (4) comprende medios (12) de comunicación y medios (11) informáticos configurados para:

45 - recibir información (41) de retroalimentación de la pasarela (2), durante un primer subperíodo (20) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente, indicando la información (23) de retroalimentación si una colisión causada por múltiples solicitudes (25) de transmisión de datos que se envían a la pasarela de manera simultánea por diferentes nodos se produce durante el segundo subperíodo del intervalo (21) de tiempo de enlace ascendente anterior;
50 - según la información (23) de retroalimentación recibida, determinar que el nodo (4) se debe poner en cola en una primera cola, que define la posición en la que un nodo (4) en cola puede enviar una transmisión (26) de datos, si el nodo ha enviado una solicitud de transmisión de datos en el segundo subperíodo del intervalo (21) de tiempo de enlace ascendente anterior y dicha solicitud de transmisión de datos se ha recibido en la pasarela sin colisión, o determinar que el nodo (4) se debe poner en cola en una segunda cola, que define la posición en la que un nodo (4) en cola puede enviar una solicitud (25) de transmisión de datos, si el nodo ha enviado una solicitud de transmisión de datos en el segundo subperíodo del intervalo (21) de tiempo de enlace ascendente anterior y dicha solicitud de transmisión de datos ha dado como resultado colisión;
55 - enviar solicitudes (42) de transmisión de datos a la pasarela (2) durante un segundo subperíodo (21) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente y enviar transmisiones (26) de datos a la pasarela (2) durante un tercer subperíodo (22) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente;
60 - recibir de la pasarela, precediendo a cada marco, una señal (17) de control que incluye información sobre qué

intervalos de tiempo del marco se reservan para transmisiones de datos de enlace descendente y qué intervalos de tiempo se reservan para transmisiones de datos de enlace ascendente, incluyendo también información de sincronización usada por la pluralidad de nodos para sincronizar e incluyendo también información sobre la secuencia de frecuencia a través de la que se transmiten los intervalos de tiempo del marco.

5 14. Red de comunicaciones inalámbricas máquina a máquina que comprende al menos una pasarela (2) y una pluralidad de nodos (4) que comparten al menos una frecuencia de transmisión común, las comunicaciones entre la al menos una pasarela (2) y la pluralidad de nodos (4) se organizan en marcos (18), repetidos a lo largo del tiempo, comprendiendo cada marco una pluralidad de intervalos (19) de tiempo de una duración fija, comprendiendo los intervalos (19) de tiempo intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente e intervalos (19) de tiempo de enlace descendente, en la que, dentro de cada marco (18), cada intervalo (19) de tiempo se transmite a través de una frecuencia diferente y porque y en la que los nodos (4) están configurados para:

- enviar solicitudes (25) de transmisión de datos durante un segundo subperíodo (21) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente;
- enviar transmisiones (26) de datos durante un tercer subperíodo (22) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente;

en la que:

- al menos una pasarela (2) está configurada para determinar si se produce una colisión durante el segundo subperíodo (21), produciéndose la colisión cuando se envían múltiples solicitudes (25) de transmisión de datos a la pasarela (2) de manera simultánea por diferentes nodos; y para enviar información (23) de retroalimentación a los nodos (4), durante un primer subperíodo (20) de los intervalos (19) de tiempo de enlace ascendente posteriores, indicando si se producen colisiones;

- los nodos (4) están configurados, además, para, según la información (23) de retroalimentación, determinar si el nodo (4) se debe poner en cola en una primera cola, que define la posición en la que un nodo (4) en cola puede enviar una transmisión (26) de datos, si el nodo ha enviado una solicitud de transmisión de datos en el segundo subperíodo del intervalo (21) de tiempo de enlace ascendente anterior y dicha solicitud de transmisión de datos se ha recibido en la pasarela sin colisión, o en una segunda cola, que define la posición en la que un nodo (4) en cola puede enviar una solicitud (25) de transmisión de datos, si el nodo ha enviado una solicitud de transmisión de datos en el segundo subperíodo del intervalo (21) de tiempo de enlace ascendente anterior y dicha solicitud de transmisión de datos ha dado como resultado colisión;

- estando la pasarela configurada, además, para, precediendo a cada marco, transmitir una señal (17) de control que incluye información sobre qué intervalos de tiempo del marco se reservan para transmisiones de datos de enlace descendente y qué intervalos de tiempo se reservan para transmisiones de datos de enlace ascendente, incluyendo también información de sincronización usada por la pluralidad de nodos para sincronizar e incluyendo también información sobre la secuencia de frecuencia a través de la que se transmiten los intervalos de tiempo del marco.

15. Un programa informático que comprende medios de código de programa informático adaptados para realizar las etapas del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señales digitales, una matriz de puerta programable en campo, un circuito integrado específico de la aplicación, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.

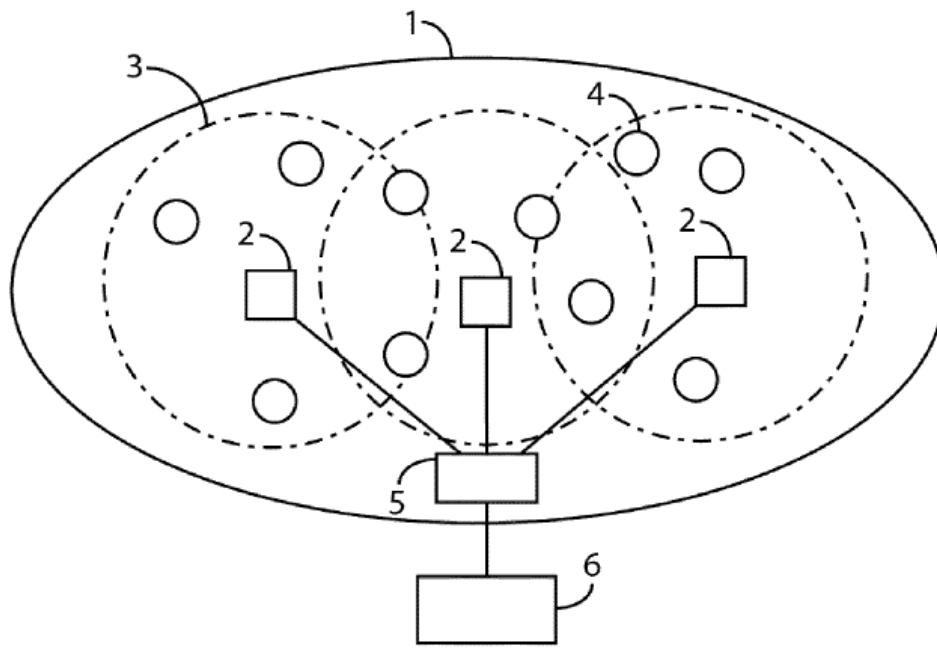


Fig. 1

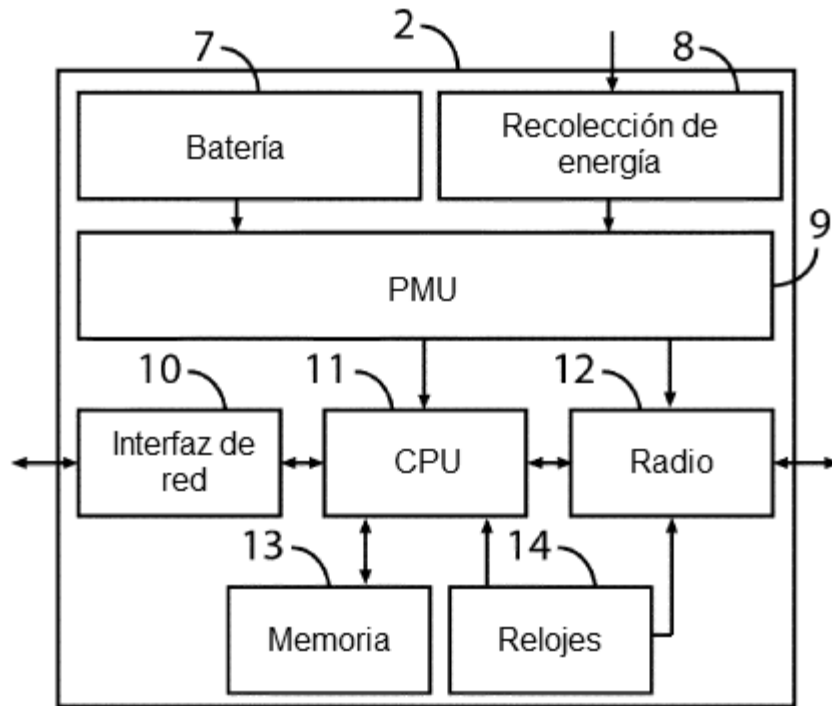


Fig. 2

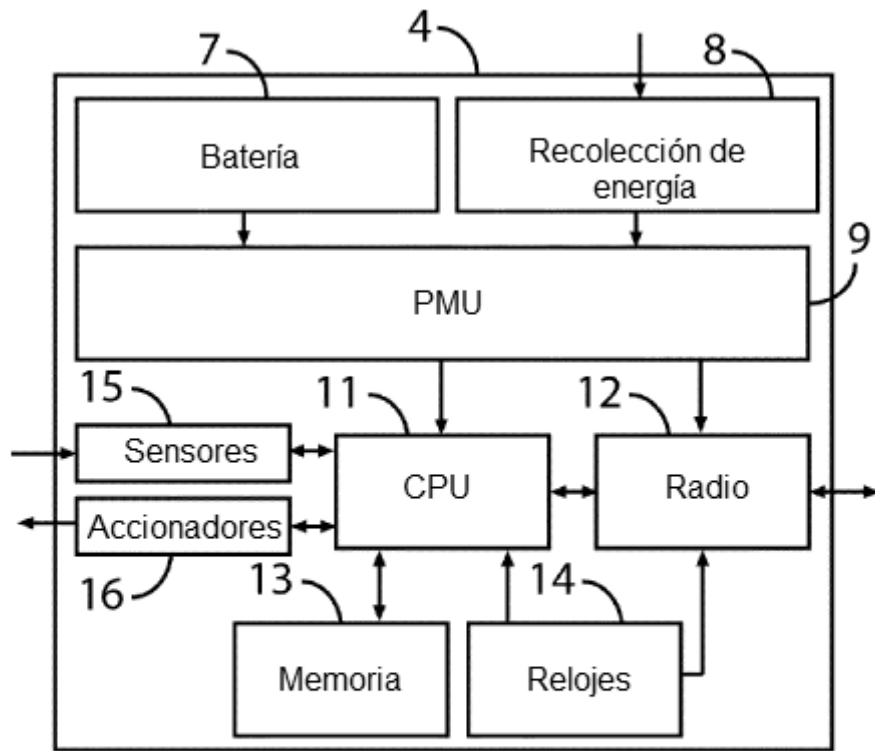


Fig. 3

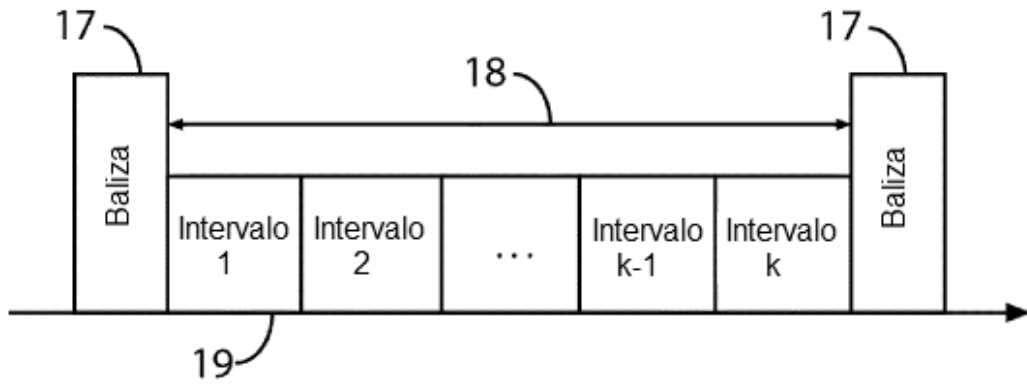


Fig. 4

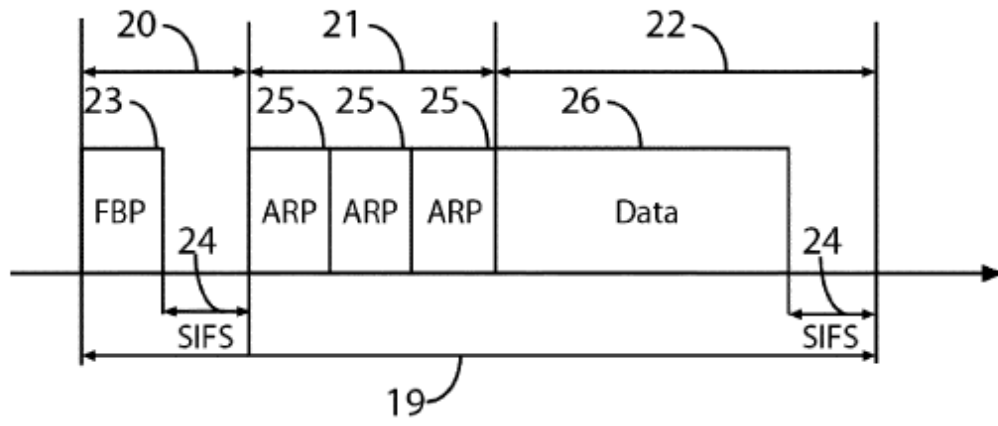


Fig. 5

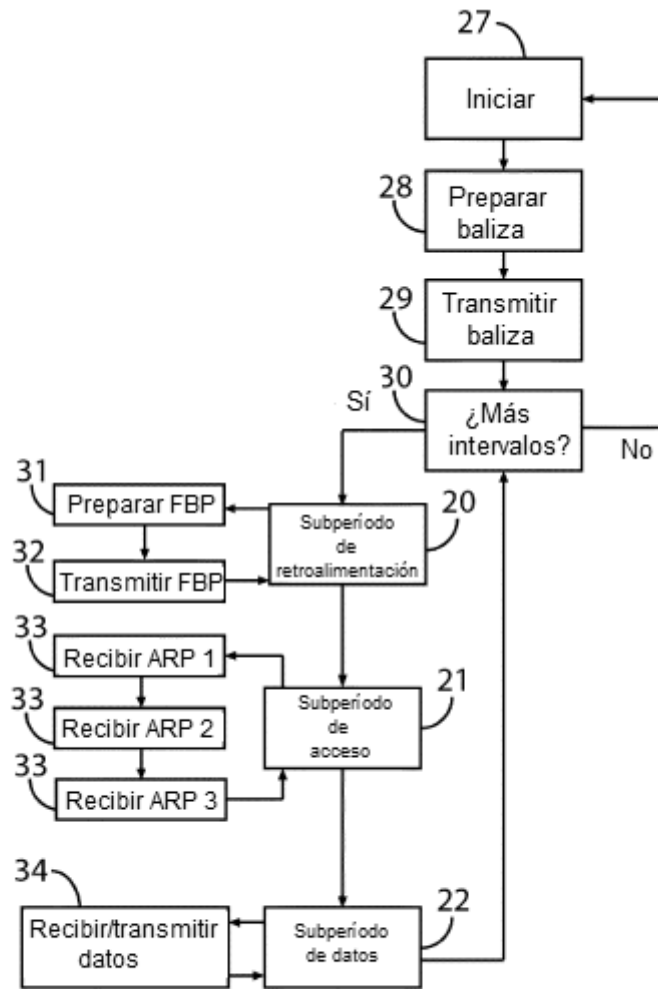


Fig. 6

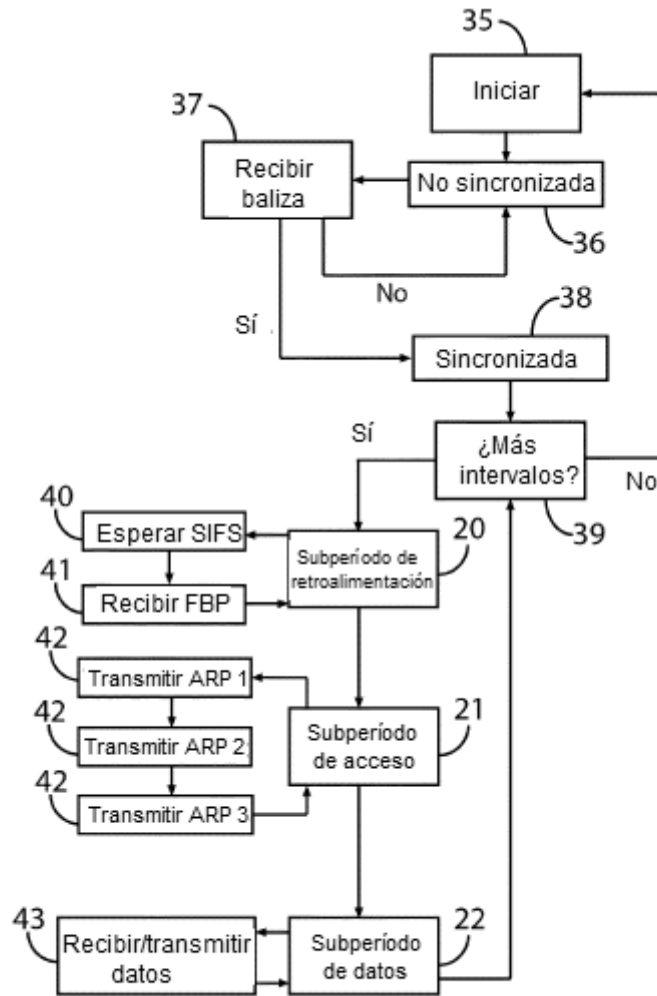


Fig. 7

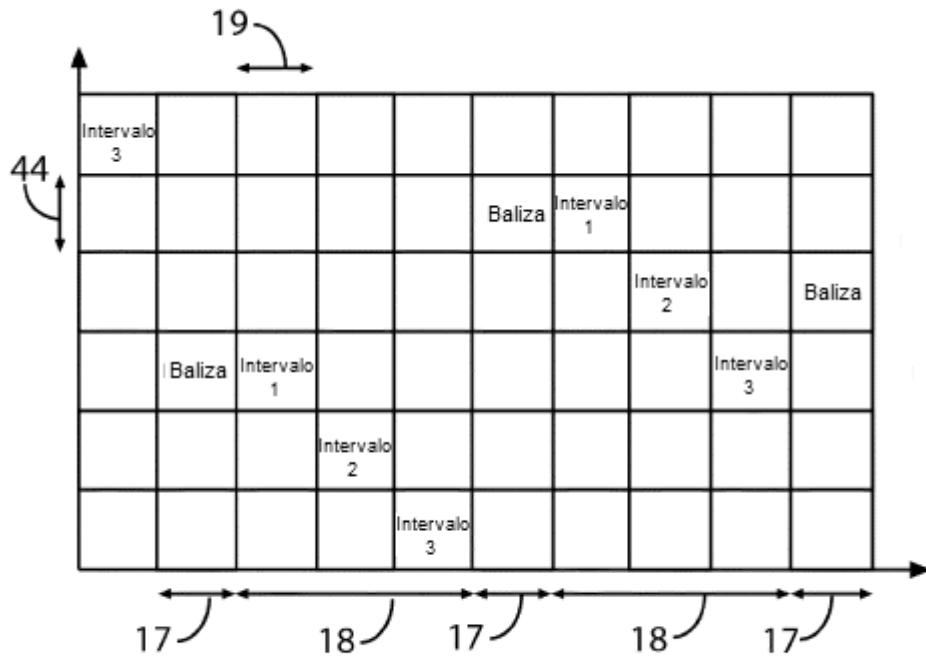


Fig. 8