

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 844**

51 Int. Cl.:
H04W 84/18 (2009.01)
G01D 5/48 (2006.01)
H04W 74/08 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09171733 .0**
96 Fecha de presentación: **30.09.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2173134**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.04.2010**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de una red de sensores inalámbricos sensible al retardo, activada por acontecimientos**

30 Prioridad:
03.10.2008 US 245217

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.06.2012

73 Titular/es:
**ROBERT BOSCH GMBH
POSTFACH 30 02 20
70442 STUTTGART, DE**

72 Inventor/es:
**Keshavarzian, Abtin y
Venkatraman, Lakshmi**

74 Agente/Representante:
Ponti Sales, Adelaida

ES 2 381 844 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

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la invención

5 [0002] La presente invención se refiere a redes de sensores inalámbricos y, más particularmente, a redes de sensores inalámbricos que transportan mensajes sensibles al retardo.

2. Descripción de la técnica relacionada

10 [0003] La recogida de mensajes poco frecuentes pero sensibles al retardo de un grupo de nodos emisores es un proceso clave en muchas aplicaciones de redes de sensores inalámbricos. Esto resulta particularmente importante para aplicaciones relacionadas con la seguridad, como sistemas para detectar intrusos y alarmas antiincendios. Un suceso detectado por varios nodos emisores en la red puede desencadenar la transmisión simultánea de varios mensajes. En tales casos, es importante que el primer mensaje sea recibido rápidamente y que todos los mensajes sean recogidos finalmente con bajos niveles de tiempo de espera.

15 [0004] Con la transmisión de varias tareas automatizadas desde un dominio alámbrico a uno inalámbrico, las redes de sensores inalámbricos (WSNs) están sujetas cada vez más a nuevos dominios de aplicación. Las aplicaciones de naturaleza crítica han sido el punto fuerte de redes alámbricas debido a los altos niveles de fiabilidad de las redes alámbricas. A pesar del uso tradicional de las redes alámbricas, la fiabilidad cada vez mayor de WSNs junto con su rentabilidad ha originado la adopción gradual de WSNs también para tales aplicaciones críticas. La naturaleza de tales aplicaciones, sin embargo, requiere nuevos protocolos de Control de Acceso al Medio (MAC, del inglés *Media Access Control*) para WSNs que superen estos requisitos y proporcionen suficiente confianza en el uso de WSNs.

20 [0005] Los requisitos de las aplicaciones de naturaleza crítica pueden ser fundamentalmente diferentes a los de las aplicaciones para las que se han diseñado los protocolos MAC conocidos. Por ejemplo, la energía es un recurso valioso en dispositivos sensores y la mayoría de los protocolos MAC existentes se optimizan para conservar energía, compensar el tiempo de espera, el rendimiento y otras métricas de rendimiento similares del proceso. Los mismos protocolos típicamente no son adecuados cuando la aplicación requiere un mejor rendimiento a expensas de energía adicional. Si la reducción del tiempo de espera es el elemento principal, siendo la reducción del consumo de energía solo un tema secundario, es necesario rediseñar los protocolos a partir de esta perspectiva de aplicación.

30 [0006] En algunas aplicaciones, es necesario que los sensores inalámbricos transporten mensajes urgentes a una estación base centralizada con un retraso mínimo contado a partir del momento en que se generan los mensajes urgentes. Estos mensajes vienen provocados por los sucesos detectados por nodos emisores, y los mensajes están destinados a informar a la estación base, de modo que la estación base puede realizar cualquier acción posible. Tales mensajes se originan muy raramente, y se puede desear reducir el tiempo de espera cuando tales mensajes se originan, incluso si se utiliza algo de energía adicional en ese momento. Las aplicaciones para la detección de intrusos y las alarmas antiincendios, por ejemplo, pueden requerir tales niveles bajos de tiempo de espera. Aunque los mensajes típicamente son correlativos, la recogida de todos los mensajes en contraposición a solo un subconjunto de los mensajes proporciona información valiosa que se puede utilizar para la detección de falsos positivos o el análisis posterior al evento. Por ejemplo, el Estándar Europeo EN 54-25 sobre sistemas de alarmas antiincendios especifica la duración en la que la primera alarma debería ser informada y todas las alarmas se deberían recibir en la estación base. Los retos en el diseño de protocolos MAC WSN para tales aplicaciones incluye el manejo de un número de mensajes simultáneos sin saber cuántos mensajes se enviarán simultáneamente, y la planificación de posibles interferencias. Adicionalmente, es importante asegurar la implementación de viabilidad teniendo en cuenta las limitaciones adicionales impuestas en los WSNs, como la sincronización temporal, el cálculo limitado y las capacidades de almacenamiento.

45 [0007] Los protocolos MAC para redes de sensores inalámbricos se pueden clasificar principalmente en protocolos libres de contención, basados en la contención y de ahorro energético. Los protocolos libres de contención son principalmente los que se basan en el Acceso Múltiple por división de Tiempo (TDMA, del inglés *Time-Division Multiple Access*), en el que los espacios de tiempo son asignados a cada nodo por la estación base y cada nodo envía su mensaje (si lo tiene) solo durante este espacio de tiempo asignado. Tales protocolos basados en TDMA tienen un rendimiento muy bajo cuando el número de nodos implicados se desconoce o varía continuamente. En algunas aplicaciones, el número de nodos apenas se conoce, haciendo que los esquemas basados en TDMA no sean apropiados. Otros procesos libres de contención, p. ej., Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA, del inglés *Frequency-Division Multiple Access*), se encuentran con las mismas limitaciones.

55 [0008] Los protocolos basados en la contención se pueden dividir en Acceso Múltiple por Detección de Portadora (basados en CSMA, del inglés *Carrier Sense Multiple Access-based*) o no basados en CSMA. Los protocolos IEEE 802.11 y 802.15.4 son ejemplos de protocolos CSMA, estando el último diseñado específicamente para aplicaciones proporcionadas por redes de sensores inalámbricos. Estos protocolos utilizan una ventana de contención de tamaño variable cuyo tamaño se ajusta en cada nodo según el éxito del nodo al enviar el mensaje, escogiendo cada nodo un intervalo de tiempo en esta ventana mediante el uso de una distribución de probabilidad uniforme. Estos protocolos hacen un buen trabajo a la hora de manejar escenarios con un número reducido de nodos, pero no funcionan bien

con un número elevado de mensajes simultáneos. El protocolo Sift, descrito en KYLE JAMIESON ET AL: "Sift: A MAC Protocol for Event-Driven Wireless Sensor Networks", WIRELESS SENSOR NETWORKS LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE; LNCS, SPRINGER, BERLIN, DE, vol. 3868, 1 de enero de 2006 (2006-01-01), páginas 260-275, XP019027949, ISBN: 978-3-540-32158-3, fue diseñado para superar estas deficiencias en aplicaciones WSN que necesitan tratar con tal número elevado de mensajes guiados por los datos y correlacionados espacialmente. El sift también está basado en CSMA pero utiliza una ventana de contención del tamaño. Los nodos escogen los intervalos de tiempo a partir de una distribución de probabilidad geométrica de tal modo que solo unos pocos nodos son contenidos en los primeros intervalos de tiempo, y así el Sift trata un gran número de mensajes fácilmente. Los protocolos basados en Aloha, por el contrario, no detectan el canal antes de la transmisión y confían en cada nodo escogiendo de forma aleatoria un intervalo de tiempo para transmitirlo, dependiendo la probabilidad de transmisión del número de mensajes implicados. Cuando este número de mensajes contenidos no se conoce, estos protocolos no funcionan bien. En general, los protocolos basados en CSMA superan a los protocolos basados en Aloha cuando el tiempo de propagación entre nodos es suficientemente bajo para hacer que la detección del portador sea útil.

[0009] Lo que no se describe ni se sugiere en la técnica anterior es un procedimiento para manejar mensajes sensibles al retardo en una red de sensores inalámbricos con un tiempo de espera reducido.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0010] La presente invención proporciona un procedimiento para recoger mensajes urgentes desencadenados por un acontecimiento a partir de un grupo de nodos emisores con un tiempo de espera reducido y sin requerir ninguna cooperación o preparación previa entre los emisores o entre el emisor y el receptor durante la ejecución del protocolo. La invención puede reducir la contención entre los nodos mediante la utilización de una combinación de multiplexación temporal y multiplexación de frecuencia. Los canales de frecuencia múltiple se pueden utilizar en los intervalos de tiempo, y la contención se puede reducir controlando la probabilidad de seleccionar cada canal por parte de los nodos. A pesar de la utilización de canales múltiples, se puede considerar la presencia de solo un transceptor en todos los nodos incluyendo el receptor.

[0011] La presente invención puede utilizar una distribución no uniforme para controlar la contención entre los nodos, y no está basada en CSMA. La presente invención separa las transmisiones de mensajes por diferentes canales de frecuencia con esta distribución no uniforme. Así, el procedimiento de la presente invención puede estar libre de problemas terminales ocultos. Al utilizar diferentes canales de frecuencia para separar nodos emisores, la presente invención no requiere un tiempo de sincronización ajustado.

[0012] La invención comprende, en una forma de la misma, un procedimiento para hacer funcionar dispositivos inalámbricos, incluyendo proporcionar una pluralidad de nodos emisores, teniendo cada uno un mensaje respectivo para ser enviado de forma inalámbrica a un nodo receptor. Una distribución de probabilidad se asigna a una pluralidad de canales de frecuencia de tal modo que una probabilidad respectiva de selección se asigna a cada canal de frecuencia. Al menos dos de las probabilidades de selección pueden ser desiguales. Un canal de frecuencia respectivo se selecciona de forma aleatoria para cada uno de los nodos emisores según la distribución de probabilidad. Los mensajes se envían de forma inalámbrica desde los nodos emisores al nodo receptor en los canales de frecuencia seleccionados. El nodo receptor se utiliza para muestrear el primer canal de frecuencia y el segundo canal de frecuencia. El segundo canal de frecuencia puede tener una probabilidad de selección respectiva mayor que el primer canal de frecuencia. Si el nodo receptor detecta una señal en el primer canal de frecuencia durante el muestreo, el nodo receptor se sintoniza con el primer canal de frecuencia y recibe lo que queda del mensaje en el primer canal de frecuencia. Si el nodo receptor no detectó ninguna señal en el primer canal de frecuencia, se utiliza el nodo receptor para muestrear un segundo canal de frecuencia con el menor nivel prioridad.

[0013] La invención comprende, en otra forma de la misma, un procedimiento para hacer funcionar dispositivos inalámbricos, incluyendo una pluralidad de nodos emisores, teniendo cada uno un mensaje respectivo para enviarse de forma inalámbrica a un nodo receptor. Una distribución de probabilidad se asigna a una pluralidad de canales de frecuencia de tal modo que una probabilidad respectiva de selección se asigna a cada canal de frecuencia. Cada una de las probabilidades de selección puede ser desigual. Un canal de frecuencia respectivo se selecciona de forma aleatoria para cada uno de los nodos emisores según la distribución de probabilidad. Los mensajes se envían de forma inalámbrica desde los nodos emisores al nodo receptor en los canales de frecuencia seleccionados. El nodo receptor se utiliza para muestrear cada uno de los canales de frecuencia. Al menos uno ocupa uno de los canales de frecuencia muestreados en el que se identifica una señal enviada por el nodo receptor durante el muestreo. Se determina un canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad que tenga una probabilidad de selección inferior asignada entre los canales de frecuencia ocupados. El nodo receptor se sintoniza con canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad y recibe el resto del mensaje en el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad.

[0014] La invención comprende, en otra forma de la misma, un procedimiento para hacer funcionar dispositivos inalámbricos, incluyendo una pluralidad de nodos emisores, teniendo cada uno un mensaje respectivo para enviarse de forma inalámbrica a un nodo receptor. Se proporciona una pluralidad de canales de frecuencia en los que los mensajes se pueden enviar. Se selecciona un primer subconjunto de canales de frecuencia. Las prioridades de

- 5 asignan entre los canales de frecuencia seleccionados en el primer subconjunto. Los mensajes se envían de forma inalámbrica desde los nodos emisores al nodo receptor en los correspondientes canales de frecuencia seleccionados en el primer subconjunto. El nodo receptor se utiliza para muestrear cada uno de los canales de frecuencia en el primer subconjunto. Al menos uno ocupa uno de los canales de frecuencia muestreados en el que se identifica una señal enviada por el nodo receptor durante el muestreo. Se determina un canal de con mayor prioridad en los canales de frecuencia ocupados. El nodo receptor se sintoniza con el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad y recibe el resto del mensaje en el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad. Las etapas de selección, asignación, envío, muestreo, identificación, determinación y sintonización se repiten en cada uno de una pluralidad de subconjuntos seleccionados subsiguientes en los canales de frecuencia. Cada uno de los subconjuntos seleccionados subsiguientes es diferente del primer subconjunto y de cada uno de los otros subconjuntos seleccionados subsiguientes.
- 10 [0015] Una ventaja de la presente invención es que resiste a la pérdida de paquetes y las interferencias. Por ejemplo, el cambio dinámico de canales de frecuencia puede proporcionar resistencia a la interferencia.
- 15 [0016] Otra ventaja es que la presente invención maneja múltiples mensajes instantáneos de forma eficaz y reduce de forma fiable tanto el retraso general para recoger los mensajes como el retraso en el momento de recoger el primer mensaje.
- [0017] Otra ventaja es que la presente invención trata con un gran número de mensajes simultáneos sin provocar retrasos excesivos en los casos en los que solo es necesario tratar pocos mensajes.
- 20 [0018] Otra ventaja es que la presente invención puede actuar con un protocolo de detección no portador, y por tanto no le afecta el problema del terminal escondido.
- [0019] Otra ventaja más es que la presente invención se puede implementar de forma fácil en los nodos detectores limitados computacionalmente.
- [0020] Otra ventaja más es que la presente invención puede incluir características de adaptación que permiten el funcionamiento sin saber el número de nodos de contención.
- 25 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**
- [0021] Las características arriba mencionadas y otros rasgos y objetos de esta invención, así como el modo de lograrlos, se clarificarán, y la propia invención se entenderá mejor en referencia a la siguiente descripción de las realizaciones de la invención, tomadas en consideración con los dibujos adjuntos, en los que:
- 30 La figura 1 es un diagrama de bloques de una realización de un sistema inalámbrico adecuado para utilizar el procedimiento de la presente invención.
- La figura 2a es un diagrama que ilustra la probabilidad de selección de canales de frecuencia según la prioridad de canales según una realización de un procedimiento de la presente invención.
- La figura 2b es un diagrama temporal que ilustra las transmisiones entre un nodo emisor y un nodo receptor según una realización de un procedimiento de la presente invención.
- 35 La figura 3 es un diagrama temporal que ilustra la variación de canales de frecuencia utilizados en cada intervalo de tiempo según una realización de un procedimiento de la presente invención.
- La figura 4a es un diagrama que ilustra una distribución medida de forma experimental del número de intervalos de tiempo necesarios para enviar y recibir con éxito un primer mensaje para una primera configuración experimental.
- 40 La figura 4b es un diagrama que ilustra una distribución medida de forma experimental del número de intervalos de tiempo necesarios para enviar y recibir con éxito el primer mensaje en una segunda configuración experimental.
- La figura 4c es un diagrama que ilustra la distribución teórica del número de intervalos de tiempo necesarios para enviar y recibir con éxito el primer mensaje.
- La figura 4d es un diagrama que ilustra una distribución medida de forma experimental del número de intervalos de tiempo necesarios para enviar y recibir con éxito todos los mensajes en una primera configuración experimental.
- 45 La figura 4e es un diagrama que ilustra una distribución medida de forma experimental del número de intervalos de tiempo necesarios para enviar y recibir con éxito todos los mensajes en una segunda configuración experimental.
- La figura 4f es un diagrama que ilustra la distribución teórica del número de intervalos de tiempo necesarios para enviar y recibir todos los mensajes.
- 50 La figura 5 es un diagrama temporal que ilustra varios turnos de muestreo de canales de frecuencia según otra realización de un procedimiento de la presente invención.

La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra una realización de la presente invención para hacer funcionar dispositivos inalámbricos.

La figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra otra realización de la presente invención para hacer funcionar dispositivos inalámbricos.

5 La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra otra realización más de la presente invención para hacer funcionar dispositivos inalámbricos.

[0022] Los caracteres de referencia correspondientes indican partes correspondientes en las diferentes vistas. Aunque la ejemplificación aquí expuesta ilustra realizaciones de la invención, en diferentes formas, las realizaciones descritas a continuación no están destinadas a ser exhaustivas o a construirse para limitar el ámbito de la invención en las formas precisas descritas.

DESCRIPCIÓN DE LA PRESENTE INVENCION

[0023] La presente invención se puede describir aquí en términos de algoritmos e operaciones sobre bits de datos en un ordenador. Se ha demostrado que es conveniente, principalmente por motivos de la utilización común entre los expertos en la técnica, describir la invención en términos de algoritmos y operaciones en bits de datos. Se debe entender, sin embargo, que estos y otros términos similares deben asociarse con elementos físicos adecuados, y son simplemente etiquetas convenientes aplicadas a estos elementos físicos. A no ser que se indique de otro modo, o sea evidente por la descripción, los términos como «cálculo», «determinación», «proceso», «asignación», «selección», «envío», «muestreo», «sintonización», «recepción» o «computación», o términos similares, hacen referencia a las acciones de un dispositivo de computación que puede realizar estas acciones automáticamente, es decir, sin intervención humana, tras ser programado para tal fin.

[0024] En referencia ahora a los dibujos y particularmente a la figura 1, se muestra una realización de una red inalámbrica 20 adecuada para utilizarse junto con el procedimiento de la presente invención. La red 20 incluye una estación base, es decir, una estación central 22, una pluralidad de sensores 241, 242,..., 24n, una sirena 26, un mando 28 y un panel de control 30 que pueden incluir un teclado 32. El panel de control 30 puede estar cableado a una estación central 22, mientras que los sensores 241-n, la sirena 26 y el mando 28 tienen una comunicación inalámbrica con la estación central 22, como se indica mediante las líneas discontinuas en la figura 1.

[0025] La estación base 22 y el panel de control 30 pueden alimentarse mediante una corriente alterna doméstica, y los sensores 241 242,..., 24n, la sirena 26 y el mando 28 pueden llevar una batería. Los sensores 241, 242,..., 24n, la sirena 26 y el mando 28, la estación base 22 es la puerta de entrada al panel de control 30, que puede utilizar el usuario para interactuar con el sistema.

[0026] Las acciones del protocolo de la presente invención se pueden dividir en los que son tomados por un nodo emisor, es decir, un nodo que tiene un mensaje para enviar, y aquellos tomados por un nodo receptor, es decir, un nodo cuya tarea es recoger estos mensajes enviados. Por ejemplo, un sensor 24 puede ser un nodo emisor, y una estación central 22 puede ser un nodo receptor. Sin embargo, debe comprenderse que es posible dentro del ámbito de la invención que cualquiera de los nodos sea un nodo emisor, un nodo receptor, o ambos un nodo emisor y un nodo receptor, según la aplicación particular. El tiempo puede ser intervalos, y cada intervalo de tiempo se puede utilizar para intercambiar un paquete de datos y su reconocimiento entre el par de nodos emisor-receptor. Todos los nodos de la red están sincronizados entre sí. Por ejemplo, un protocolo de sincronización puede ser responsable del mantenimiento de un reloj de red en el sistema. Un procedimiento sencillo pero eficiente para mantener la red sincronizada puede ser emitir mensajes de alerta temporales a todos los nodos desde un nodo central, como una estación base 22.

[0027] En cada intervalo de tiempo, múltiples canales de frecuencia pueden ser utilizados por los nodos emisores o los nodos receptores. Estos canales pueden tener diferentes niveles de prioridad. El nodo receptor puede muestrear los canales uno a uno basándose en su nivel de prioridad y puede intentar recibir un paquete de uno de los nodos emisores.

[0028] Cada nodo emisor puede seleccionar un canal de frecuencia aleatoriamente y con independencia del resto de nodos emisores, pero puede que los canales no se seleccionen con la misma probabilidad. Un canal con mayor prioridad se puede tener menos probabilidades de ser seleccionado. Es decir, la probabilidad de selección puede disminuir con el aumento de la prioridad de canal. La prioridad puede indicar el orden en el que se comprueba un canal de frecuencia, siendo los canales con mayor prioridad comprobados antes que los canales de menor prioridad.

Un ejemplo de esta característica se muestra en la figura 2a, en la que se utilizan tres canales en cada intervalo de tiempo. La probabilidad de que un nodo emisor seleccione el primer canal f1 con la mayor prioridad es $p_1=10\%$; la probabilidad de que un nodo emisor seleccione el segundo canal f2 con la segunda mayor prioridad es $p_2=30\%$; y la probabilidad de que un nodo emisor selecciona el tercer canal con la menor prioridad es $p_3=60\%$. Esta distribución de probabilidad no uniforme se puede especificar previamente y ser conocida y ejecutada por todos los nodos emisores.

[0029] La distribución de probabilidad no uniforme puede reducir la posibilidad de colisión entre los nodos emisores en el canal de mayor prioridad, que es seleccionados por cualquier nodo emisor, que es el canal desde el que un mensaje es extraído y recibido. Es decir, la distribución de probabilidad no uniforme puede aumentar la posibilidad de que el canal de mayor prioridad seleccionado por cualquier nodo emisor sea seleccionado por exactamente uno de los nodos emisores. Debido a que los nodos receptores comprueban los canales de frecuencia en orden de prioridad, la distribución de probabilidad no uniforme puede reducir el número de canales de frecuencia que el nodo receptor debe comprobar antes de encontrar un canal en el que no hay colisión, es decir, un canal que ha sido seleccionado por solo un nodo emisor. Además, la distribución de probabilidad no uniforme puede reducir el número de canales de frecuencia que se deben utilizar para proporcionar una probabilidad razonablemente alta en la que al menos uno de los canales sea escogido por exactamente uno de los nodos emisores en un intervalo de tiempo determinado.

[0030] Después de que el nodo emisor haya seleccionado de forma aleatoria un canal de frecuencia basándose en las probabilidades de selección de canal especificadas previamente, el nodo emisor pasa a comprobar la frecuencia seleccionada y envía un preámbulo o tono largo al nodo receptor. Después el nodo emisor envía su paquete de datos, como se muestra en la figura 2b. Tras enviar el paquete de datos, el nodo emisor espera un paquete de reconocimiento (Ack) del nodo receptor. Si el paquete de reconocimiento es recibido correctamente por el nodo emisor, el nodo emisor para. Si esto no ocurre, el nodo emisor intenta enviar su mensaje de nuevo en el próximo intervalo de tiempo.

[0031] Al principio de cada intervalo de tiempo, el receptor puede muestrear el nivel de señal en cada uno de los canales de frecuencia empezando con el canal de mayor prioridad. Si un nivel de alta señal, es decir, un Indicador de Intensidad de la Señal de Recepción (RSSI, del inglés *Received Signal Strength Indicator*), es detectado por el nodo receptor, entonces el nodo receptor puede quedarse en el mismo canal de frecuencia, cerrándose a este canal, y no muestrear más canales. Entonces el nodo receptor puede esperar a recibir el paquete. Si un paquete se recibe correctamente, el nodo receptor puede enviar un paquete de reconocimiento de vuelta al nodo emisor como respuesta. Si esto no ocurre, tras un periodo de tiempo fijo, el nodo receptor puede dejar de esperar la recepción del paquete y continuar con el siguiente intervalo de tiempo. Si la señal de alta intensidad detectada en un canal se debe a la transmisión simultánea de preámbulos por más de un nodo emisor, es posible que los paquetes recibidos estén corruptos. Sin embargo, un paquete todavía puede ser recibido correctamente debido al efecto de captura, como si el paquete recibido correctamente tuviera una fuerza de señal mayor que el otro paquete transmitido simultáneamente. Si la señal de alta intensidad se debe a interferencias o ruidos, entonces un paquete no llega desde ningún nodo, y el nodo receptor puede simplemente repetir el proceso en el siguiente intervalo de tiempo. Si no se detecta ninguna señal de alta intensidad en ninguno de los canales durante un número de intervalos de tiempo consecutivos, el nodo receptor puede asumir que no hay más emisores y puede para de controlar las señales.

[0032] Un nodo transmisor puede no ser darse cuenta de si un nodo receptor se ha «cerrado» satisfactoriamente en el canal de frecuencia seleccionado del nodo transmisor, y por tanto puede transmitir el paquete aunque el nodo receptor esté esperando en cualquier otro canal. En algunas aplicaciones, un nodo emisor tiene un mensaje para enviar en muy pocas ocasiones. Por ejemplo, la instalación de un sistema de seguridad típico puede encontrarse en una situación que requiere enviar alarmas de incendio solo uno o dos veces al año. La poca frecuencia de las alarmas permite que se haga un esfuerzo mayor en la reducción el tiempo de espera incluso aunque el coste sea utilizar más energía. El nodo receptor, o estación base centralizada, puede estar alimentado desde una toma de corriente de pared y por tanto su consumo de energía no representa un problema.

[0033] Mientras que el número de canales se queda igual, los canales de frecuencia que están disponibles para su selección, y las respectivas prioridades de los canales de frecuencia, pueden cambiar según los intervalos de tiempo, como se ilustra en la figura 3. La tabla de frecuencia de la figura 3 muestra una realización sencilla en la que hay dieciséis canales de frecuencia numerados de 0 a 15 y $f_m(k)$ representa el canal de frecuencia m th en el intervalo de tiempo k th:

$$f_m(k) = [5k + 9(m-1)] \text{ mod } 16 \quad m = 1, 2, 3$$

[0034] El patrón de variación de la frecuencia puede ser fijo, predeterminado y/o especificado previamente, y todos los nodos de la red pueden conocer este patrón. La variación o el cambio (es decir, disponibles para su selección) de los canales de frecuencia tras un intervalo de tiempo puede aumentar la fiabilidad y firmeza del procedimiento en cuanto a la pérdida de interferencia de canales.

[0035] El protocolo de la presente invención puede evitar colisiones entre los nodos emisores que se producen en cada canal de un intervalo de tiempo, de tal modo que en la mayoría de los intervalos de tiempo (es decir, con probabilidad alta) el mensaje se recibe correctamente. Por tanto, el protocolo puede recoger mensajes de todos los emisores en un número reducido de intervalos de tiempo.

[0036] Si solo hay un nodo emisor, entonces no habrá colisión y no importa el canal de frecuencia que haya seleccionado el nodo emisor porque el nodo receptor puede encontrar y bloquear el canal de frecuencia escogido

por el nodo emisor. Si dos nodos emisores están compitiendo para enviar sus mensajes, el nodo emisor que selecciona el canal de prioridad mayor puede tener éxito, porque el nodo receptor puede oír primero el preámbulo/tono del nodo emisor y quedarse esperando el paquete. Si ambos nodos emisores seleccionan el mismo canal, entonces se produce una colisión. Las probabilidades de selección de canal se pueden escoger para reducir la posibilidad de que se produzca una colisión en cada canal de frecuencia dentro de un intervalo de tiempo determinado. Las probabilidades de selección de canal se pueden escoger para reducir la posibilidad de que se produzca una colisión particularmente en canales de frecuencia de prioridad alta.

[0037] Las probabilidades de colisión pueden depender del número de nodos emisores enviando activamente un mensaje de forma simultánea. Con un nodo emisor, no habrá colisión y no importa el canal de frecuencia que haya seleccionado el nodo emisor. Con cinco nodos emisores en total haciendo la transmisión según la distribución de probabilidad de selección de canal de la figura 2a, hay un probabilidad alta de que solo uno de los nodos escoja al segundo canal (es decir, el canal intermedio que tiene un 30% de posibilidades de ser escogido en cada selección). A medida que aumenta el número de nodos emisores, es más probable que al menos uno de los nodos emisores seleccione un canal de prioridad mayor. Con, por ejemplo, trece nodos emisores, es muy probable que un nodo emisor escoja el canal de mayor prioridad (es decir, el canal que tiene un 10% de posibilidades de ser escogido en cada selección). En el caso de que solo un nodo emisor seleccione el canal de mayor prioridad, el mensaje de este nodo emisor será recibido con éxito.

[0038] Según la descripción del protocolo anterior, queda claro que los dos parámetros de diseño son el número de canales de frecuencia que se utilizan y la distribución de probabilidad por los canales. Los valores asociados a estos dos parámetros se pueden seleccionar para reducir el tiempo total necesario para leer todos los mensajes. Un gran número de canales debería disminuir la contención entre los nodos que tienen mensajes para enviar. Sin embargo, un aumento en el número de canales también aumenta la duración de un intervalo de tiempo, lo que tiene como resultado un menor número de intervalos de tiempo en un período de tiempo determinado. Por tanto, puede haber una compensación entre el nivel de contención y el número de mensajes que podrían comunicarse por unidad de tiempo. La distribución de probabilidad de canal puede controlar la contención entre los nodos. Cuando el número de nodos con mensajes para enviar es grande, la asignación de pocas probabilidades a los canales de mayor prioridad puede asegurar una menor contención para estos canales. Este menor nivel de contención puede aumentar la posibilidad de que solo un nodo escoja el canal de prioridad de mayor prioridad. Por el contrario, cuando el número de mensajes simultáneos para enviar es reducido, es decir, la carga es baja, la asignación de pocas probabilidades a los canales de mayor prioridad puede conllevar la infrautilización de estos canales y una mayor utilización de los canales de prioridad baja, resultando en colisiones y en un aumento del tiempo de espera general. Como se ha descrito anteriormente, la presente invención puede incluir un procedimiento para seleccionar los valores de estos parámetros de diseño con el fin de mejorar el rendimiento del protocolo.

[0039] Para el uso final, cada nodo puede cargarse previamente con información sobre el número de canales que se utilizarán en un intervalo de tiempo y la distribución de probabilidad sobre la que los canales se seleccionan. Estos valores de parámetro se pueden escoger teniendo en cuenta la información sobre la aplicación bajo consideración, como el número esperado de mensajes y los niveles de interferencia que se pueden esperar y/o tolerar.

[0040] Para determinar los parámetros deseados que se utilizarán en el protocolo de la presente invención, los requisitos de aplicación particulares se pueden tener en cuenta. En cuanto a la distribución de probabilidad de selección del canal, $p = (p_1, p_2, \dots, p_M)$ representa un vector de fila de probabilidades de canal correspondientes a cada canal 1, 2, ..., M, donde M representa el número de canales de frecuencia en cada intervalo de tiempo. La distribución óptima p puede depender de la información disponible sobre el número de nodos (como el número máximo de nodos que se pueden enviar simultáneamente, el número medio de nodos que se pueden enviar simultáneamente, etc.), información sobre la probabilidad de interferencia y la pérdida de paquetes, y la métrica de rendimiento que se debe optimizar. A continuación se describen los procedimientos que se pueden utilizar para llegar a la distribución p deseada.

[0041] Si minimizar el retardo en la recepción del mensaje es la métrica de rendimiento que se debe optimizar, entonces la distribución p se puede calcular de tal modo que múltiples nodos se envíen al mismo tiempo, y el retardo en la recepción del primer mensaje es tan reducido como sea posible. Una realización de un procedimiento para encontrar un p deseable es calcular la probabilidad de éxito de que un mensaje se envíe con éxito en un solo intervalo de tiempo y se extiende a la cuantificación del número de intervalos de tiempo que se requerirán para leer el primer mensaje, o todos los mensajes, como se ha tratado anteriormente.

[0042] Si minimizar el retardo en la recogida de todos los mensajes es la métrica de rendimiento que se debe optimizar, entonces la distribución p se puede calcular para que se minimice el tiempo total para recoger todos los mensajes de todos los emisores. De nuevo, la probabilidad de éxito en cada intervalo de tiempo se calcula primero y los resultados se pueden extender para encontrar el número medio de intervalos de tiempo requeridos para todos los mensajes.

[0043] Si maximizar la probabilidad de éxito dentro de un rango de números posibles de nodos emisores es la métrica de rendimiento que se debe optimizar, entonces la distribución p se puede calcular mediante un modelo que

combina los dos modelos anteriores. Tal solución puede proporcionar niveles aceptables de retraso para recibir el primer mensaje y también para recoger todos los mensajes.

5 [0044] Otro requisito de aplicación que se puede considerar en la selección de los parámetros de diseño es el número óptimo de canales de frecuencia en cada intervalo de tiempo. Cuando múltiples nodos compiten para enviar mensajes en un intervalo de tiempo, un gran número de canales disminuye la contención entre los nodos emisores aumentando la probabilidad de que los nodos emisores seleccionen diferentes canales. Por tanto, se podría pensar que se deben utilizar tantos canales como sea posible por intervalo de tiempo. Sin embargo, existen consideraciones prácticas que presentan una compensación. Por ejemplo, para cada canal utilizado, el receptor tiene que muestrear el canal y cambiar al siguiente canal. Así, para cada canal utilizado, hay un retraso debido a la detección del canal y al cambio de canal añadido a la duración de un intervalo de tiempo. Por una parte, a medida que aumenta el número de canales de frecuencia, la longitud de cada intervalo de tiempo aumenta. Por otra parte, a medida que el número de canales disminuye, puede haber una mayor probabilidad de éxito, y por tanto todos los mensajes se pueden recoger en menos intervalos de tiempo. Así, la selección del número de canales de frecuencia plantea una compensación. El procedimiento de la presente invención puede incluir la determinación de un número de canales de frecuencia que optimiza la compensación arriba descrita y minimiza el retraso total.

10 [0045] El rendimiento del procedimiento de la presente invención se puede evaluar a través de la implementación de un hardware básico y también mediante simulaciones. En una realización, nodos inalámbricos basados en Bosch cc2420 se utilizan como los nodos emisores y receptores. El cuadro de nodo Bosch utiliza la radio Chipcon/TI CC2420 que es un transceptor compilante IEEE 802.15.4 que funciona en una banda de 2,4 GHz con Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS, del inglés, *Direct Sequence Spread Spectrum*) con modulación O-QPSK y velocidad de datos de 250 Kbps. Utilizando este hardware, los inventores actuales implementaron el procedimiento de la invención con la siguiente distribución de probabilidad fija para cinco canales de frecuencia:

15 [0046] En una primera etapa experimental, los inventores distribuyeron quince nodos emisores por su oficina de Bosch en Palo Alto, California, en varias habitaciones cerca y lejos de una estación base receptora. La estación base receptora mantuvo todos los nodos sincronizados enviando mensajes de alerta temporales periódicamente. Cada segundo, todos los nodos enviaron un mensaje simultáneamente. El receptor midió el número de intervalos de tiempo necesarios para recibir el primer mensaje y el número de intervalos de tiempo necesarios para recoger los quince mensajes de todos los nodos.

20 [0047] Las figuras 4a-f ilustran las distribuciones empíricas y teóricas del número de intervalos de tiempo necesarios para recibir el primer mensaje y todos los mensajes. Más particularmente, las figuras 4a y 4b ilustran la distribución medida de forma experimental del número de intervalos de tiempo necesarios para enviar y recibir con éxito el primer mensaje en una primera configuración experimental descrita anteriormente y la segunda configuración experimental descrita anteriormente, respectivamente. La figura 4c ilustra los resultados analíticos y teóricos para el primer mensaje. Las figuras 4d y 4e ilustran la distribución medida de forma experimental del número de intervalos de tiempo necesarios para enviar y recibir con éxito todos los mensajes en una primera configuración experimental descrita anteriormente y la segunda configuración experimental descrita anteriormente, respectivamente. La figura 4f ilustra los resultados analíticos o teóricos para todos los mensajes.

25 [0048] Una comparación de las figuras 4d y 4f revela que el protocolo funciona mejor en la implantación en el mundo real (la primera configuración experimental descrita anteriormente) que lo que el análisis predice. Los cálculos muestran que, como media, se necesitan teóricamente 24,82 intervalos de tiempo para que el nodo receptor recoja todos los mensajes de los quince nodos emisores. Sin embargo, en la primera configuración experimental, se necesitan como media solo 17,60 intervalos de tiempo para que el nodo receptor recoja todos los mensajes de los quince nodos emisores. La razón por la que el rendimiento actual fue mejor que el rendimiento teórico puede estar en el efecto de captura. Es decir, los cálculos teóricos asumieron que cuando dos nodos envían mensajes teóricamente de forma simultánea, el nodo receptor no es capaz de recibir ningún mensaje y se produce un fallo. Sin embargo, en la actualidad, en muchos casos el nodo receptor puede descodificar correctamente uno de los paquetes y tratar la señal del otro nodo emisor como ruido. Dado que la radio CC2420 utiliza técnicas de espectro ensanchado, puede tolerar un mayor nivel de interferencia, y esto ayuda a aumentar la posibilidad del efecto de captura.

30 [0049] Para reducir la posibilidad del efecto de captura y validar el modelo analítico, el experimento se repitió con una segunda configuración diferente en la que todos los quince nodos emisores se colocaron unos cerca de los otros y cerca del receptor en una mesa en la misma habitación. Como todos los nodos están cerca unos de los otros, el nodo receptor recibe el mismo nivel alto e igual de energía de todos los nodos emisores, lo que reduce la posibilidad del efecto de captura. Los resultados de esta configuración experimental se muestran en las figuras 4b y 4e. Una comparación de las figuras 4b y 4e con los resultados teóricos mostrados en las figuras 4c y 4f revela que la distribución de mediciones con la segunda configuración concuerda con lo que el análisis predice.

35 [0050] En la descripción del procedimiento de la presente invención descrito anteriormente, cada nodo emisor que tiene un mensaje puede seleccionar uno de los canales de frecuencia y enviar su paquete en todos los intervalos de tiempo hasta que recibe un paquete de reconocimiento desde el nodo receptor. Sin embargo, en otra realización del procedimiento de la presente invención, los nodos emisores no envían de forma agresiva su paquete en todos los

- 5 intervalos de tiempo. Por ejemplo, el número de canales de frecuencia se puede aumentar de M a $(M+1)$, donde el último canal representa el caso en que el nodo emisor no envía ningún paquete. Con esta modificación, el nodo receptor funciona como se ha descrito anteriormente en la realización previa, pero para los nodos emisores, si cualquier nodo emisor selecciona el canal $(M+1)$ th en un intervalo de tiempo, entonces el nodo emisor no envía su paquete en ese intervalo de tiempo.
- 10 [0051] En las realizaciones descritas anteriormente, un solo conjunto de probabilidades de canal p se utiliza en la ejecución del procedimiento de la presente invención. Aunque estos resultados son una implementación más sencilla, se puede lograr un mejor rendimiento o firmeza del número de nodos adaptando o variando estas probabilidades como lo ejecuta el protocolo.
- 15 [0052] Se pueden utilizar diferentes procedimientos para adaptar o variar las probabilidades utilizadas por los nodos emisores. Por ejemplo, los nodos emisores pueden adaptar sus distribuciones de probabilidad p basándose en la urgencia del mensaje o el número de intervalos de tiempo que han probado y fallado previamente. La distribución necesaria se puede calcular previamente y almacenarse en las memorias de todos los nodos (una matriz de distribución de probabilidad).
- 20 [0053] En otra realización, el nodo receptor decide la distribución de probabilidad p utilizada por todos los nodos emisores. La elección del nodo receptor de la distribución de probabilidad p se puede basar en una estimación del nodo receptor sobre el número de emisores potenciales. La información sobre la distribución de probabilidad seleccionada puede ser comunicada por el nodo receptor a los nodos emisores en paquete de reconocimiento o a través de paquetes de control en intervalos de tiempo de control asignados.
- 25 [0054] El nodo receptor, durante la ejecución de las realizaciones descritas anteriormente, puede muestrear cada canal solo una vez y cerrar el primer canal no apto que encuentra el nodo receptor. En otra realización, el nodo receptor toma diferentes muestras para cada canal de frecuencia en lugar de solo uno. Las muestras del mismo canal pueden estar una detrás de la otra, es decir, consecutivas. Alternativamente, en una ronda de muestreo, cada uno de los canales se puede muestrear una vez en la secuencia, y esta ronda de muestreo se puede repetir muchas veces. Esta realización se muestra en la figura 5 con dos rondas de muestreo de tres canales de frecuencia.
- 30 [0055] Una ventaja de la utilización de múltiples muestras es la firmeza aumentada ante la interferencia y la reducción de las posibilidades de que las interferencias de ruidos provoquen que el receptor cierre un canal donde no se está transmitiendo ningún nodo emisor. Tras mostrar todos los canales de frecuencia para un número R de rondas, el nodo receptor puede elegir diferentes procedimientos de decisión para escoger al canal en el que el nodo receptor comienza a escuchar y espera recibir el paquete. En una realización de un algoritmo de decisión simple, un umbral R_0 , que es inferior a R , se selecciona, en el que las R muestras para cada canal. Si en R_0 o en más muestras el nivel de señal es alto, se asume que el canal no es libre (lo que significa que al menos uno de los nodos emisores ha seleccionado este canal y está transmitiendo en este canal). Entonces el nodo receptor puede seleccionar el canal no libre de mayor prioridad (como define esta reivindicación) para empezar a escucharlo.
- 35 [0056] Como se describe anteriormente, el procedimiento de la presente invención puede incluir la utilización de múltiples canales de frecuencia con diferentes prioridades en un solo intervalo de tiempo. Cada nodo emisor que tiene un mensaje para enviar selecciona independientemente un canal basándose en una distribución de probabilidad de selección de canal. El nodo receptor muestrea cada frecuencia en orden de prioridad y bloquea el canal de prioridad más alta, es decir, el primer canal en el que se detecta una señal, en el que el nodo receptor espera por tanto recibir un mensaje.
- 40 [0057] En otras realizaciones, la selección del canal de frecuencia por parte del nodo emisor se puede realizar de forma diferente. Por ejemplo, cada nodo emisor puede utilizar canales fijos, predeterminados en todos los intervalos de tiempo. En otro ejemplo, los canales utilizados por el nodo emisor cambian en cada intervalo de tiempo según un patrón predeterminado que es conocido por los nodos emisores y el nodo receptor.
- 45 [0058] En otras realizaciones, la distribución de la probabilidad de selección del canal utilizada por el nodo emisor se puede determinar según procedimientos diferentes. Por ejemplo, en una realización, una distribución de probabilidad fija es utilizada por todos los nodos emisores. En otra realización, distribuciones de probabilidades fijas pero diferentes son utilizadas por diferentes nodos emisores en la red. Es decir, las distribuciones de probabilidad permanecen constantes y no cambian con el tiempo, pero diferentes nodos emisores en la red utilizan diferentes distribuciones de probabilidad. En otra realización, los nodos emisores utilizan diferentes probabilidades de selección de canal según el tipo de mensaje. Por ejemplo, las probabilidades de selección de canal se pueden basar en la importancia o la urgencia del mensaje.
- 50 [0059] En otras realizaciones, la distribución de la probabilidad utilizada por el nodo emisor cambia con el tiempo. Por ejemplo, los nodos emisores pueden adaptar su distribución de probabilidad en base a la urgencia del mensaje o el número de intentos fallidos que se han realizado para transmitir el mensaje. En otra realización, el nodo receptor controla y determina la distribución de probabilidad. Por ejemplo, la distribución seleccionada puede ser comunicada por el nodo receptor a los nodos emisores en los paquetes de reconocimiento o a través de paquetes de control separados.
- 55

- [0060] En otras realizaciones, el nodo receptor muestrea cada canal de frecuencia múltiples veces, es decir, en varias rondas. Tras muestrear todos los canales múltiples veces, el nodo receptor puede utilizar diferentes métodos para determinar la frecuencia principal a la que debe escuchar. Por ejemplo, el nodo receptor puede seleccionar el canal de más alta prioridad que tenga un RSSI elevado en más de la mitad de las muestras.
- 5 [0061] Una realización de un procedimiento 600 de la presente invención para hacer funcionar dispositivos inalámbricos se ilustra en la figura 6. En una primera etapa 602, se proporciona una pluralidad de nodos emisores, teniendo cada uno un mensaje respectivo para enviarse de forma inalámbrica a un nodo receptor. Por ejemplo, como se muestra en la figura 1, cada nodo emisor 24 puede tener un mensaje respectivo para enviar de forma inalámbrica a un nodo receptor en forma de la estación base 22.
- 10 [0062] En una etapa siguiente 604, una distribución de probabilidad se asigna a una pluralidad de canales de frecuencia de tal modo que una probabilidad respectiva de selección se asigna a cada canal de frecuencia, siendo al menos dos de las probabilidades de selección no iguales. Como se muestra en la figura 2a, los canales de frecuencia f1, f2 y f3 han sido asignados a una distribución de probabilidad de tal modo que las probabilidades de selección del 10%, 30% y 60% se asignan a canales de frecuencia f1, f2 y f3, respectivamente.
- 15 [0063] Después, en la etapa 606, un canal de frecuencia respectivo se selecciona de forma aleatoria para cada uno de los nodos emisores según la distribución de probabilidad. Por ejemplo, cada uno de los nodos emisores 24 puede incluir un generador de números aleatorio o algún otro dispositivo que permita a cada nodo 24 seleccionar uno de los canales de frecuencia f1, f2 y f3 según las probabilidades mostradas en la figura 2a. Como ejemplo numérico, se considera que hay cuatro nodos emisores 24, y tres de los nodos 24 seleccionan en base a la probabilidad el canal de frecuencia f3 (cuyo 60% ha sido seleccionado por cualquier nodo) y el otro nodo 24 selecciona en base a la probabilidad el canal de frecuencia f2 (cuyo 30% ha sido seleccionado por cualquier nodo).
- 20 [0064] En la etapa 608, los mensajes se envían de forma inalámbrica desde los nodos emisores al nodo receptor en los canales de frecuencia seleccionados. En el ejemplo numérico provisto anteriormente, tres de los nodos 24 pueden enviar de forma simultánea sus respectivos mensajes en el canal f3 y, también de forma simultánea, el otro nodo 24 puede enviar su mensaje en el canal f2.
- 25 [0065] En la siguiente etapa 610, el nodo receptor se utiliza para muestrear un primer canal de frecuencia. Es decir, la estación base 22 puede muestrear el nivel de señal del canal de frecuencia f1, como se indica mediante la flecha dirigida hacia arriba f1 en la figura 2b. Sin embargo, debido a que ningún nodo emisor ha seleccionado el canal f1, es posible que la estación base 22 no detecte ninguna señal en el canal f1.
- 30 [0066] Después, en la etapa 612, el nodo receptor se utiliza para muestrear un primer canal de frecuencia, teniendo el segundo canal de frecuencia una mayor probabilidad de selección que el primer canal de frecuencia. Por ejemplo, la estación base 22 puede muestrear el nivel de señal del canal de frecuencia f2, como indica la flecha dirigida hacia arriba f2 en la figura 2b. Como se muestra en la figura 2a, el canal f2 tiene una mayor probabilidad de selección (30%) que el canal f1 (10%).
- 35 [0067] Debido a que ningún nodo emisor 24 ha seleccionado el canal f1, no se detecta ninguna señal en el canal f1 en la etapa 614 y el proceso pasa entonces a la etapa 616. Sin embargo, si uno de los nodos emisores ha seleccionado el canal f1, entonces es posible que el nodo receptor detecte una señal en el canal f1, y el proceso pasaría a la etapa 618, en la que el nodo receptor recibiría el resto del mensaje en el canal f1. Por ejemplo, el resto del mensaje puede presentarse en forma de un paquete, como se muestra en la figura 2b. Tras que el nodo receptor envíe probablemente un reconocimiento a los nodos emisores, como también se muestra en la figura 2b, el proceso vuelve a la etapa 606, en la que cada uno de los nodos emisores puede seleccionar un nuevo canal de frecuencia respectivo.
- 40 [0068] En la etapa 616, aunque no se haya detectado ninguna señal en el canal f1, es probable que el nodo receptor detecte una señal en el canal f2 porque uno de los nodos emisores ha seleccionado el canal f2. En este caso, el proceso pasa a la etapa 620, en la que el nodo receptor recibe el resto del mensaje en el canal f2. Por ejemplo, el resto del mensaje puede presentarse en forma de un paquete, como se muestra en la figura 2b. Después de que el nodo receptor envíe probablemente un reconocimiento a los nodos emisores, como también se muestra en la figura 2b, el proceso vuelve a la etapa 606, en la que cada uno de los nodos emisores puede seleccionar un nuevo canal de frecuencia respectivo.
- 45 [0069] Si dos de los nodos emisores ha seleccionado el canal f2 y los otros dos han seleccionado el f3, puede haber una colisión de paquetes en el canal f2. Si se produce esta colisión, el nodo receptor puede que no sea capaz de recibir ningún mensaje apreciable. Por tanto, el nodo receptor no envía ningún paquete de reconocimiento, o el paquete de reconocimiento puede indicar que no se ha recibido con éxito ningún mensaje. Entonces el proceso vuelve a la etapa 606, en la que continúan los intentos para comunicar los mensajes con éxito.
- 50 [0070] Si los cuatro nodos emisores han seleccionado el canal f3, no se detecta ninguna señal en el canal f1 ni en el f2, y el nodo receptor puede muestrear el canal f3 (lo que puede hacer el nodo receptor sin tener en cuenta si la señal se detectó en el canal f1 o el f2). Sin embargo, debido a la colisión en el canal f3, el nodo receptor probablemente no podría interpretar lo que parece ser una señal en el f3. Por tanto, el nodo receptor no envía

ningún paquete de reconocimiento, o el paquete de reconocimiento puede indicar que no se ha recibido con éxito ningún mensaje. De este modo el proceso pasaría finalmente a la etapa 606, como se indica en 622 en la figura 6, donde se producirían más intentos para comunicar los mensajes.

- 5 [0071] Otra realización de un procedimiento 700 de la presente invención para hacer funcionar dispositivos inalámbricos se muestra en la figura 7. Las etapas 702 a 708 se corresponden substancialmente a las etapas 602 a 608 de la figura 6, y por tanto las etapas 702 a 708 no se describirán detalladamente para evitar repeticiones. En la etapa 710, el nodo receptor se utiliza para muestrear cada uno de los canales de frecuencia. Por ejemplo, como indican las flechas dirigidas hacia arriba f1, f2 y f3 en la figura 2b, el nodo receptor puede muestrear cada uno de los canales de frecuencia f1, f2 y f3.
- 10 [0072] En la siguiente etapa 712, se identifica al menos uno de los canales de frecuencia muestreados en el que el nodo receptor detectó una señal enviada durante el muestreo. Por ejemplo, en el ejemplo numérico provisto anteriormente en referencia al procedimiento 600, un nodo emisor selecciona el canal f2 y los otros tres nodos emisores seleccionan el canal f3. Por tanto, se identifican dos canales de frecuencia ocupados f2 y f3 en los que el nodo receptor detectó una señal durante el muestreo.
- 15 [0073] Después, en la etapa 714, se determina un canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad que tenga una probabilidad de selección inferior asignada entre los canales de frecuencia ocupados. Por ejemplo, entre los canales de frecuencia ocupados f2 y f3, el canal f2 tiene menos probabilidad de selección (30% versus 60% del canal f3), y por tanto se determina como el canal de frecuencia ocupado de mayor prioridad.
- 20 [0074] En una etapa final 716, el nodo receptor se sintoniza con el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad y recibe el resto del mensaje en el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad. Por ejemplo, en el ejemplo numérico descrito anteriormente, el nodo receptor se bloquea con el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad f2 y recibe el resto del mensaje, por ejemplo un paquete de datos, en el canal de frecuencia f2.
- 25 [0075] Otra realización de un procedimiento 800 de la presente invención para hacer funcionar dispositivos inalámbricos se muestra en la figura 8. En una primera etapa 802, se proporciona una pluralidad de nodos emisores, teniendo cada uno un mensaje respectivo para enviarse de forma inalámbrica a un nodo receptor. Por ejemplo, como se muestra en la figura 1, cada nodo emisor 24 puede tener un mensaje respectivo para enviar de forma inalámbrica a un nodo receptor en forma de la estación base 22.
- 30 [0076] En una siguiente etapa 804, se proporciona una pluralidad de canales de frecuencia en los que los mensajes se pueden enviar. Por ejemplo, en la realización ilustrada en la figura 3, se proporcionan dieciséis canales de frecuencia 0-15 en los que se pueden enviar paquetes de datos.
- [0077] Después, en la etapa 806, se selecciona un primer subconjunto de canales de frecuencia. Por ejemplo, en el intervalo de tiempo 1 en la figura 3, se selecciona un subconjunto que incluye canales de frecuencia 5, 14 y 7.
- 35 [0078] En la siguiente etapa 808, las prioridades se asignan entre los canales de frecuencia seleccionados en el subconjunto. Es decir, como se indica mediante la flecha de «mayor prioridad» en la parte izquierda de la figura 3, el canal 5 se asigna a la mayor prioridad, el canal 14 se asigna a la segunda mayor prioridad, y el canal 7 se asigna a la prioridad más baja.
- 40 [0079] La etapa 810 incluye se envían mensajes de forma inalámbrica desde los nodos emisores al nodo receptor en los correspondientes canales de frecuencia seleccionados en el subconjunto. Por ejemplo, un número de nodos emisores envían de forma inalámbrica sus mensajes respectivos al nodo receptor en aquellos seleccionados por según su probabilidad en los canales 5, 14 y 7. Cada nodo emisor puede utilizar una distribución probabilística como se muestra en la figura 2a en la selección del canal de frecuencia por el que el nodo emisor transmitirá su mensaje. De este modo, es posible que cualquier canal 5, 14 y 7 sea seleccionado por diferentes nodos emisores o no sea seleccionado por ningún nodo emisor.
- 45 [0080] Después, en la etapa 812, el nodo receptor se utiliza para muestrear cada uno de los canales de frecuencia en el subconjunto. Como se indica mediante las flechas dirigidas hacia arriba f1, f2 y f3 en el intervalo de tiempo 1 en la porción superior de la figura 3, el nodo receptor muestra cada uno de los canales de frecuencia seleccionados 5, 14 y 7.
- 50 [0081] En la siguiente etapa 814, se identifica al menos uno de los canales de frecuencia muestreados en el que el nodo receptor detectó una señal enviada durante el muestreo. Como sencillo ejemplo numérico, se considera que hay al menos tres nodos emisores, y cada uno de los canales de frecuencia 5, 14 y 7 es seleccionado por al menos uno de los nodos emisores. Por tanto, el nodo receptor puede detectar una señal en los tres canales de frecuencia 5, 14 y 7, y cada uno de los tres canales puede identificarse como ocupado.
- 55 [0082] En la etapa 816, se determina un canal de con mayor prioridad en los canales de frecuencia ocupados. Como el canal de mayor prioridad está ocupado, Se determina que el canal 5 es el canal de mayor prioridad en los canales de frecuencia ocupados.

[0083] En una etapa final 818, el nodo receptor se sintoniza con el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad, y el nodo receptor recibe el resto del mensaje en el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad. Por ejemplo, el nodo receptor puede bloquearse en el canal 5, y el nodo receptor puede entonces recibir el paquete de datos en el intervalo de tiempo 1 en el canal 5.

5 [0084] Mientras que esta invención ha sido descrita como un ejemplo de diseño, la presente invención se puede modificar dentro del ámbito de esta descripción. Esta solicitud está por tanto destinada a cubrir cualquier variación, uso o adaptación de la invención, utilizando sus principios generales.

[0085] Una realización adicional incluye un procedimiento para dispositivos inalámbricos, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

10 proporcionar una pluralidad de nodos emisores, teniendo cada uno un mensaje respectivo para enviarse de forma inalámbrica a un nodo receptor;

proporcionar una pluralidad de canales de frecuencia en los que los mensajes se pueden enviar;

seleccionar un primer subconjunto de canales de frecuencia;

asignar prioridades entre los canales de frecuencia seleccionados en el primer subconjunto;

15 enviar mensajes de forma inalámbrica desde los nodos emisores al nodo receptor en los correspondientes canales de frecuencia seleccionados en el primer subconjunto;

utilizar el nodo receptor para muestrear cada uno de los canales de frecuencia en el primer subconjunto;

identificar al menos uno de los canales de frecuencia muestreados ocupado en el que se identifica una señal enviada por el nodo receptor durante el muestreo;

20 determinar un canal de con mayor prioridad en los canales de frecuencia ocupados;

sintonizar el nodo receptor con el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad y recibir el resto del mensaje en el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad; y

repetir las etapas de selección, asignación, envío, muestreo, identificación, determinación y sintonización en cada uno de una pluralidad de subconjuntos seleccionados subsiguientes en los canales de frecuencia, siendo cada uno de los canales de frecuencia seleccionado subsiguientes diferentes del primer subconjunto y entre sí.

25

[0086] La realización adicional el procedimiento se repite hasta que todos los mensajes de los nodos receptores son recibidos por el nodo receptor.

[0087] En la realización adicional, un primer canal de frecuencia tiene una prioridad asignada mayor que un segundo

30 canal de frecuencia dentro del primer subconjunto seleccionado de canales de frecuencia y una prioridad asignada menor que el segunda canal de frecuencia entro de uno de los subconjuntos seleccionados subsiguientes de los canales de frecuencia.

[0088] En la realización adicional, cada uno de los canales de frecuencia se muestrea varias veces para cada uno de los subconjuntos de los canales de frecuencia.

35 [0089] En la realización adicional, la etapa de identificación comprende identificar al menos uno de los canales de frecuencia ocupado en el que se identificó una señal enviada por el nodo receptor en al menos un número límite de

muestras, siendo el número límite inferior al número total de muestras.

[0090] En la realización adicional los mensajes se envían substancialmente de forma simultánea desde los nodos emisores al nodo receptor.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hacer funcionar dispositivos inalámbricos (24), comprendiendo el procedimiento las etapas de:
 - proporcionar una pluralidad de nodos emisores (602), teniendo cada uno un mensaje respectivo para enviar de forma inalámbrica a un nodo receptor;
- 5 asignar una distribución de probabilidad (604) a una pluralidad de canales de frecuencia de tal modo que una probabilidad de selección respectiva se asigna a cada canal de frecuencia;
 - asignar una prioridad a cada uno de los canales de frecuencia basándose en la probabilidad de selección de canal, de tal modo que los canales con menor probabilidad de selección son asignados al nivel de prioridad mayor;
- 10 seleccionar de forma aleatoria (606) dicho canal de frecuencia respectivo para cada uno de los nodos emisores según la distribución de probabilidad;
 - enviar mensajes de forma inalámbrica (608) desde los nodos emisores al nodo receptor en los seleccionados canales de frecuencia seleccionados;
 - utilizar el nodo receptor (610) para muestrear un primer canal de frecuencia con la mayor prioridad;
- 15 si el nodo receptor detecta una señal en el primer canal de frecuencia (614) durante el muestreo, sintoniza el nodo receptor con el primer canal de frecuencia y recibe (618) el resto del mensaje en el primer canal; y
 - si el nodo receptor no detectó ninguna señal en el primer canal de frecuencia, utilizar el nodo receptor para muestrear un segundo canal de frecuencia con el menor nivel prioridad.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, comprendiendo la etapa adicional de repetir la etapa de muestreo.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que la etapa de muestreo se repite inmediatamente después de completar la etapa de muestreo inicial.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que al menos dos de las probabilidades de selección son desiguales.
5. Procedimiento según la reivindicación 1, comprendiendo las etapas adicionales de:
 - 25 repetir la etapa de seleccionar de forma aleatoria dicho canal de frecuencia respectivo para cada uno de los nodos emisores según la distribución de probabilidad;
 - reenviar de forma inalámbrica los mensajes no recibidos desde el nodo emisor al nodo receptor en los correspondientes canales de frecuencia seleccionados; y
 - utilizar el nodo receptor para muestrear el primer y el segunda canal de frecuencia;
- 30 6. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los mensajes se envían de forma inalámbrica substancialmente al mismo tiempo.
7. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que cada uno de los nodos emisores realiza independientemente la etapa de seleccionar de forma aleatoria dicho canal de frecuencia para él mismo.
8. Procedimiento para hacer funcionar dispositivos inalámbricos (24), comprendiendo el procedimiento las etapas de:
 - 35 proporcionar una pluralidad de nodos emisores (702), teniendo cada uno un mensaje respectivo para enviar de forma inalámbrica a un nodo receptor;
 - asignar una distribución de probabilidad (704) a una pluralidad de canales de frecuencia de tal modo que una probabilidad de selección respectiva se asigna a cada canal de frecuencia;
 - seleccionar de forma aleatoria (706) dicho canal de frecuencia respectivo para cada uno de los nodos emisores según la distribución de probabilidad;
- 40 enviar mensajes de forma inalámbrica (708) desde los nodos emisores al nodo receptor en los seleccionados canales de frecuencia seleccionados;
 - utilizar el nodo receptor (710) para muestrear cada uno de los canales de frecuencia;
 - identificar (712) al menos uno de los canales de frecuencia muestreados ocupado en el que se identifica una señal enviada por el nodo receptor durante el muestreo;

determinar (714) un canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad, el canal de frecuencia ocupado de mayor prioridad teniendo una probabilidad de selección inferior entre los canales de frecuencia ocupados; y

sintonizar (716) el nodo receptor con el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad y recibir el resto del mensaje en el canal de frecuencia ocupado con mayor prioridad.

- 5 9. Procedimiento según la reivindicación 8, comprendiendo la etapa adicional de repetir la etapa de muestreo.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que la etapa de muestreo se repite inmediatamente después de completar la etapa de muestreo inicial.
- 10 11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que la etapa de identificación comprende identificar al menos uno de los canales de frecuencia ocupados en el que se identificó una señal enviada por el nodo receptor en al menos un número límite de las etapas de muestreo, siendo el número límite inferior a un número total de las etapas de muestreo.
12. Procedimiento según la reivindicación 8, comprendiendo las etapas adicionales de:
- repetir la etapa de seleccionar de forma aleatoria dicho canal de frecuencia respectivo para cada uno de los nodos emisores según la distribución de probabilidad;
- 15 reenviar de forma inalámbrica los mensajes no recibidos desde los nodos emisores al nodo receptor en los correspondientes canales de frecuencia seleccionados; y
- utilizar el nodo receptor para muestrear cada uno de los canales de frecuencia.
13. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que los mensajes se envían de forma inalámbrica substancialmente al mismo tiempo.
- 20 14. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que cada uno de los nodos emisores realiza independientemente la etapa de seleccionar de forma aleatoria dicho canal de frecuencia para él mismo.

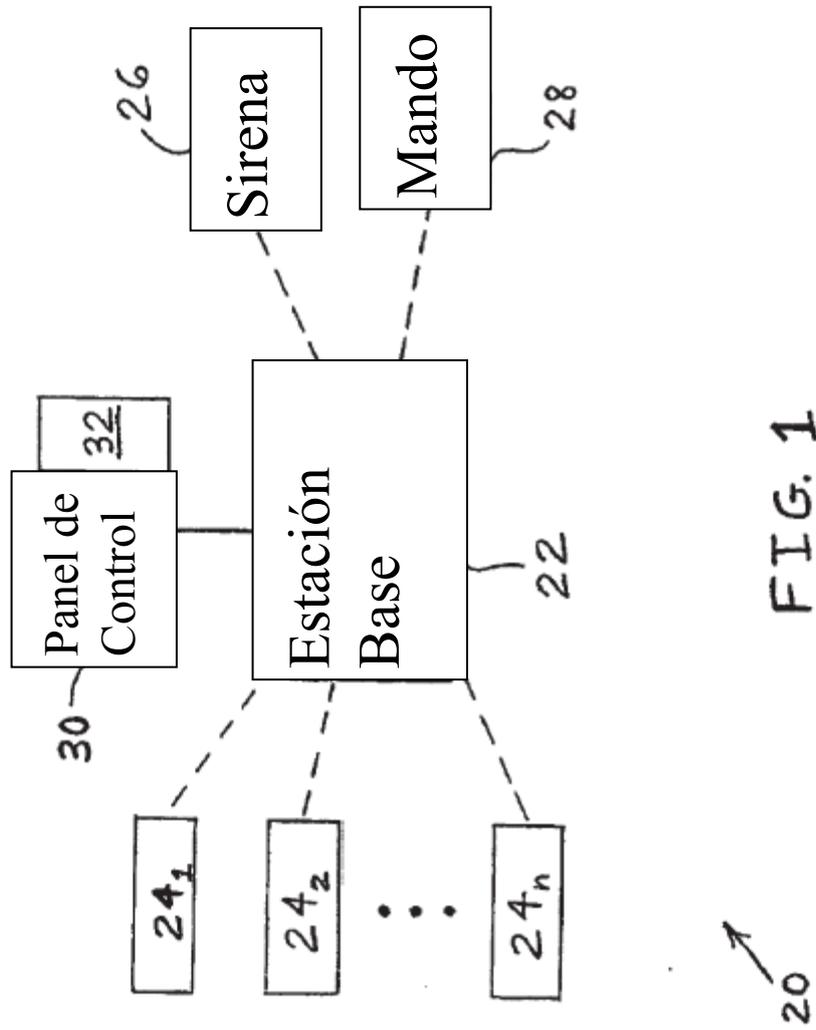


FIG. 1

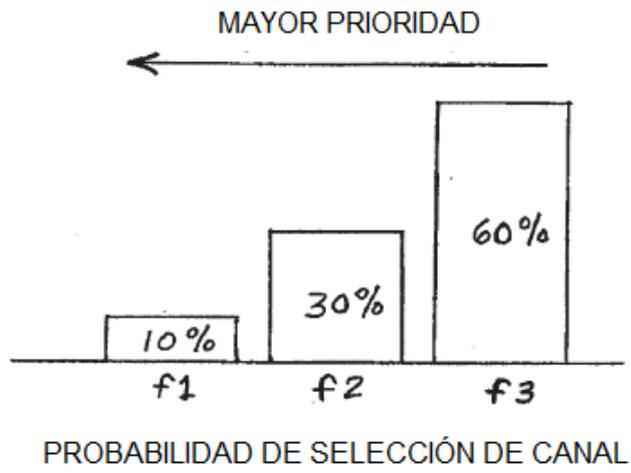


FIG. 2a

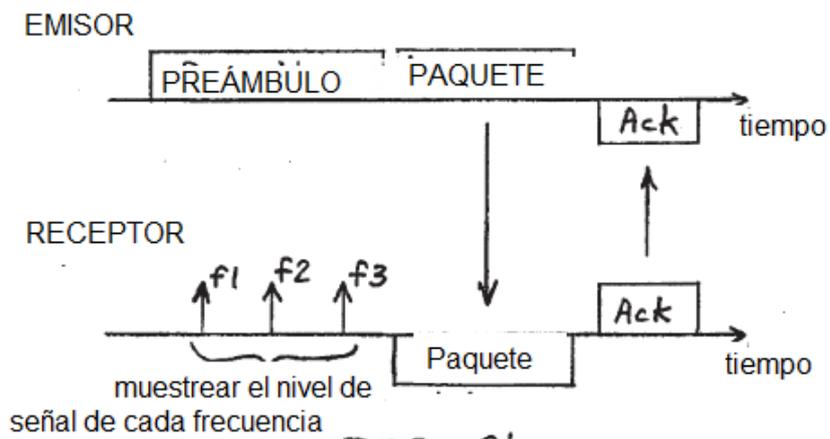
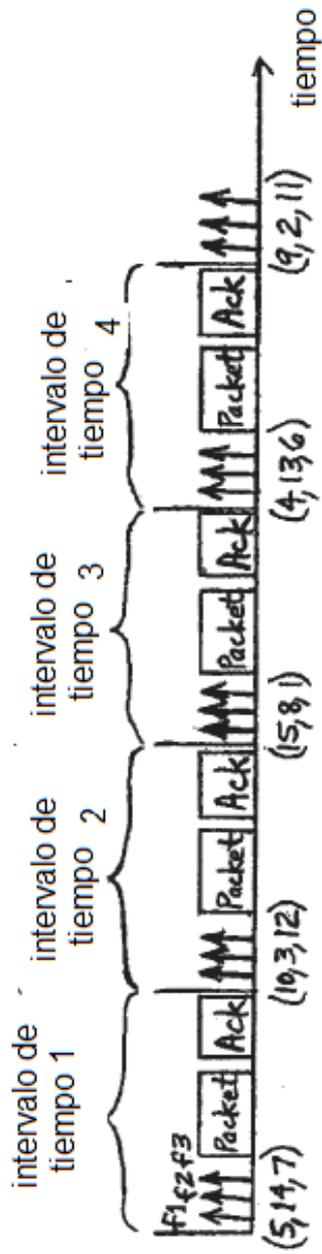


FIG. 2b



Número de intervalo de tiempo

k	1	2	3	4	5	6	7	...
f1(k)	5	10	15	4	9	14	3	...
f2(k)	14	3	8	13	2	7	12	...
f3(k)	7	12	1	6	11	0	5	...

Mayor prioridad

FIG. 3

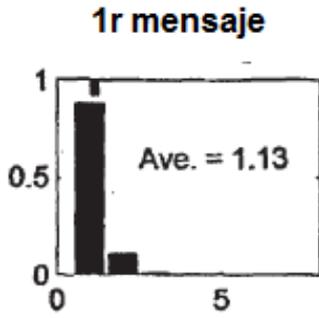


FIG. 4a

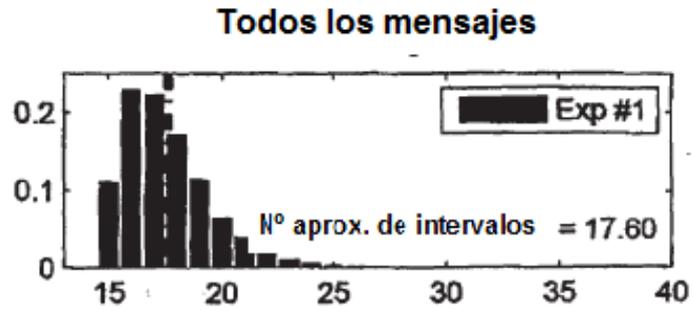


FIG. 4d

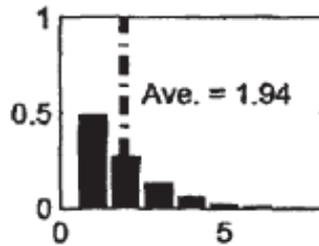


FIG. 4b

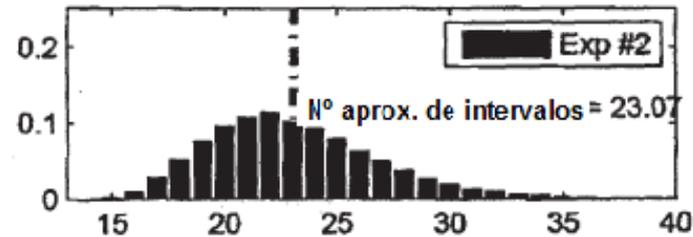


FIG. 4e

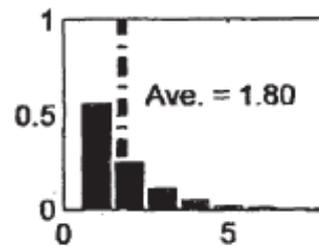


FIG. 4c

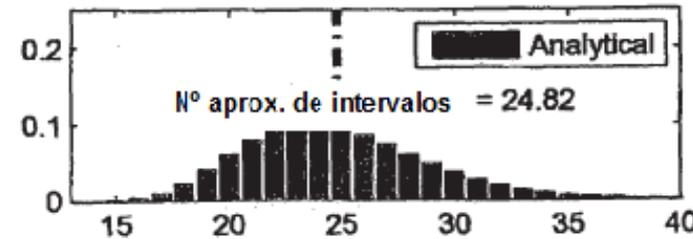


FIG. 4f

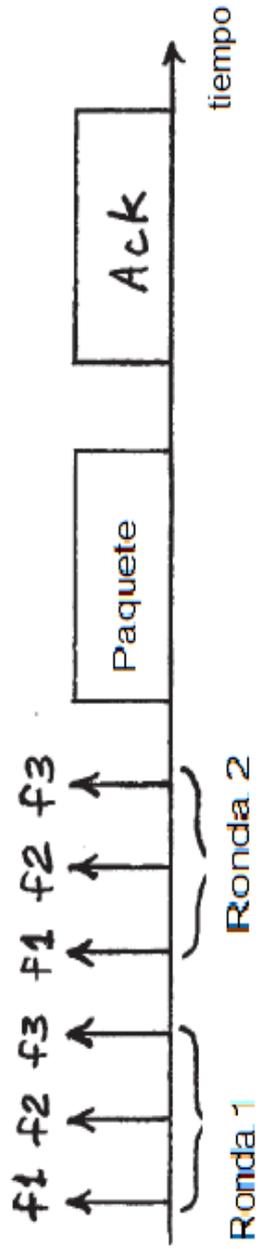


FIG. 5

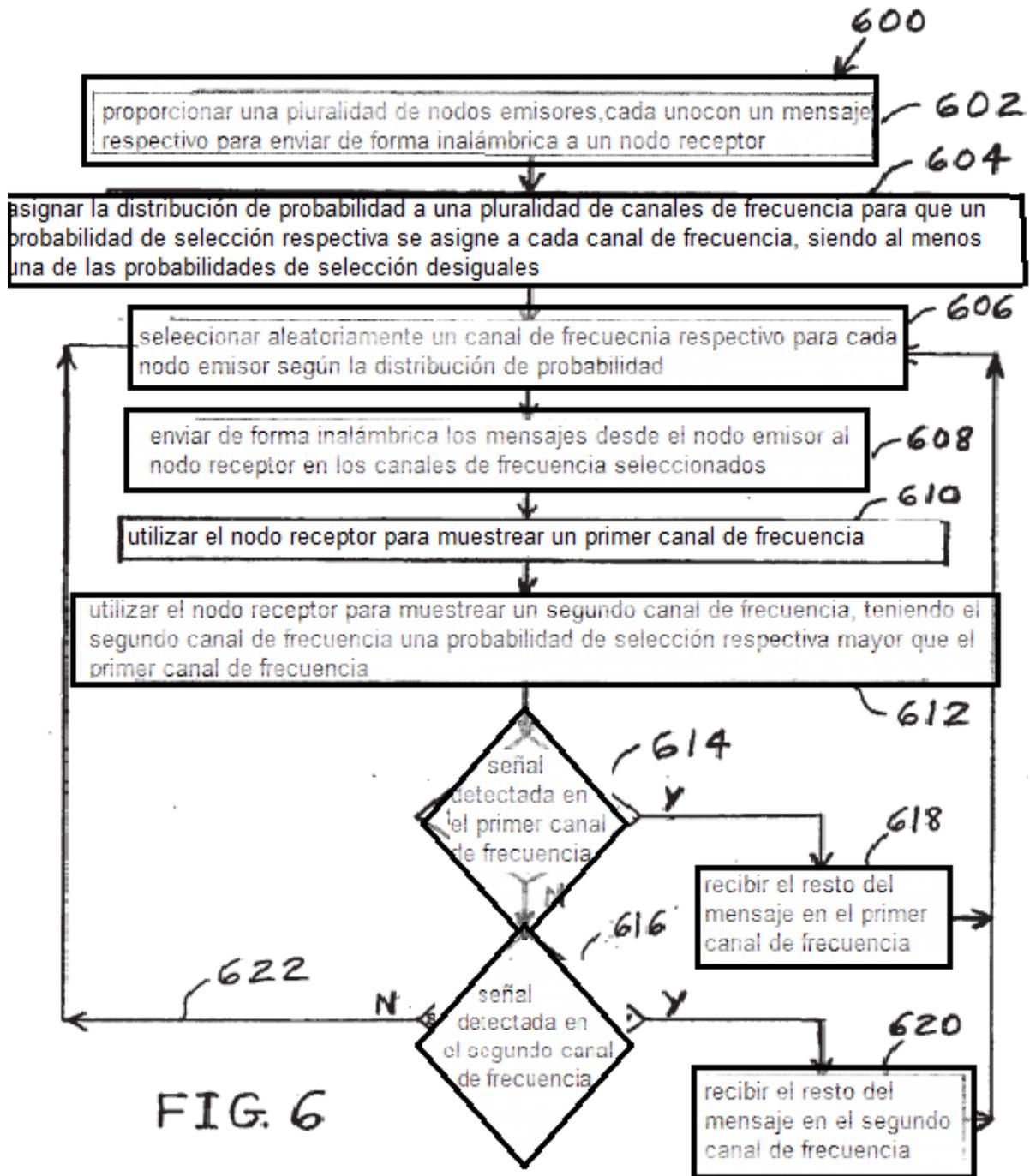


FIG. 6

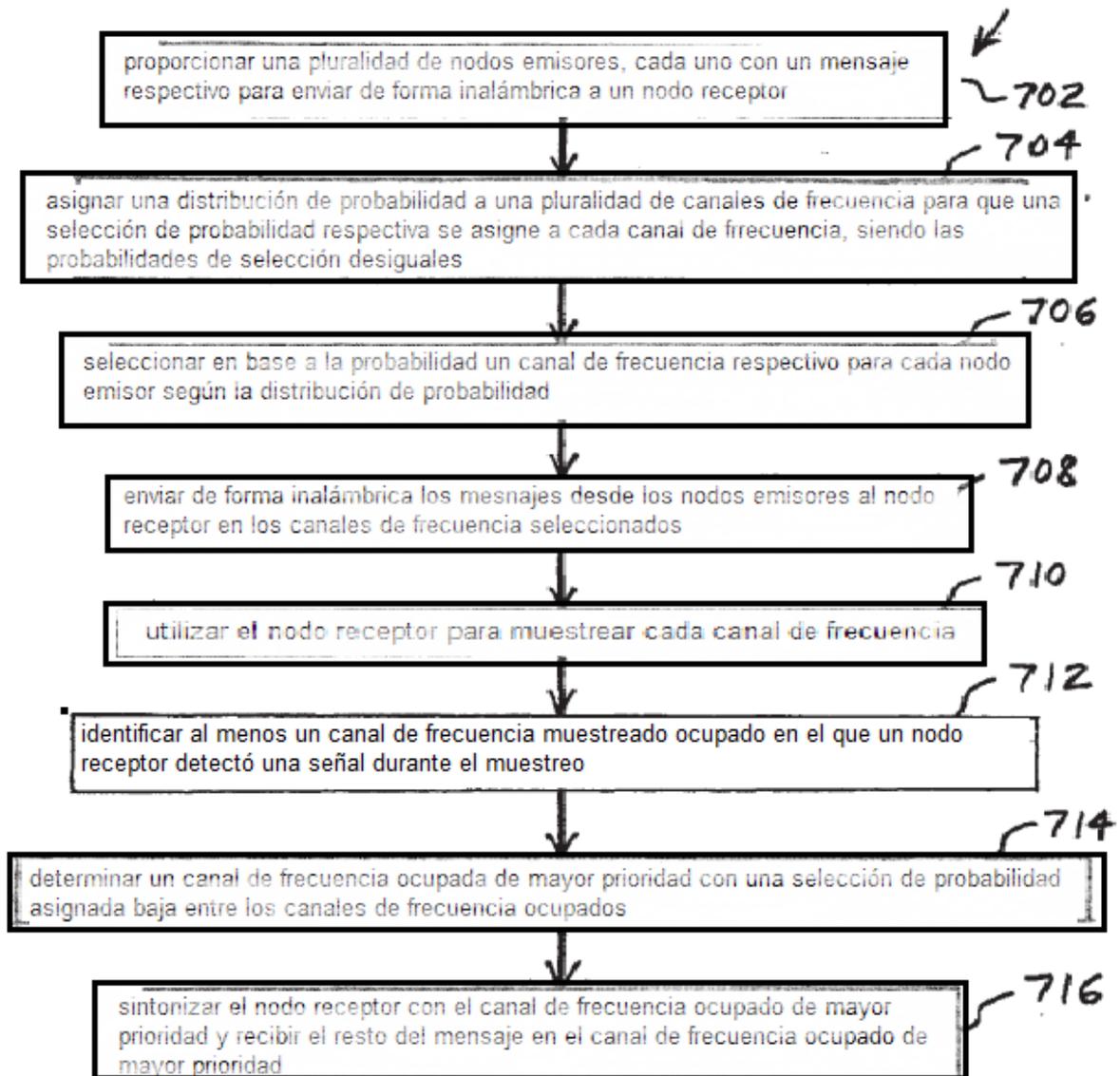


FIG. 7

