



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 324 486**

(51) Int. Cl.:

H04L 12/56 (2006.01)

H04B 7/26 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **05817554 .8**

(96) Fecha de presentación : **22.11.2005**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1815650**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **08.08.2007**

(54) Título: **Procedimiento de sincronización y de transmisión de datos.**

(30) Prioridad: **25.11.2004 DE 10 2004 057 080**

(73) Titular/es: **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e.V.**
Hansastraße 27c
80686 München, DE

(45) Fecha de publicación de la mención BOP: **07.08.2009**

(72) Inventor/es: **Göppner, Matthias;
Hupp, Jürgen;
Gehrmann, Volker y
Flügel, Christian**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente: **07.08.2009**

(74) Agente: **Durán Moya, Carlos**

ES 2 324 486 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 de sincronización y de transmisión de datos.

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un procedimiento para construir una red sincronizada a efectos de establecer una comunicación inalámbrica entre unidades de emisión recepción, los denominados nodos (KN), y una unidad central de emisión-recepción, el denominado nodo central (ZKN) en una red “multihop” o de saltos múltiples. Las redes de saltos múltiples tienen múltiples aplicaciones en el ámbito de la tecnología de las comunicaciones, por ejemplo, en el control de elementos de infraestructura o en el control ambiental.

El estado de la técnica

15 Una red de saltos múltiples o “multihop” está compuesta básicamente de múltiples nodos y cada uno de ellos presenta, como mínimo, un dispositivo de emisión recepción y una unidad de procesamiento. En redes de saltos múltiples, los datos se transmiten, típicamente, de un primer nodo, la fuente de datos, a un segundo nodo, el sumidero de datos, pasando por otros múltiples nodos, los denominados nodos intermedios, que sirven de estación de enlace. En esta situación, en principio, tanto el primer nodo como también el segundo pueden ser elegidos libremente. De esta 20 manera, en una red de saltos múltiples se hace posible el intercambio de datos entre nodos, cuyas zonas de emisión-recepción no se solapan, es decir, que no pueden establecer entre sí una comunicación de datos directa. En este caso, cada nodo puede ser la fuente de datos, el sumidero de datos o también una estación de enlace. A tal efecto, sin embargo, los nodos individuales han de estar posicionados entre sí de tal manera que en la zona de emisión recepción de un nodo se encuentra, como mínimo, otro nodo más de forma que se puede crear una estructura de comunicación 25 en mallas.

En una red de saltos múltiples, el intercambio de datos se realiza típicamente por vía de una comunicación inalámbrica bidireccional, en especial, por la vía de una comunicación por radio. Para algunas aplicaciones, un nodo o varios 30 nodos pueden distinguirse frente a los demás nodos porque tienen funciones adicionales a cumplir. Si, por ejemplo, un nodo sirve como sumidero de datos central en la red de saltos múltiples, entonces este nodo se distinguirá frente a los demás nodos debido a esta función y, en adelante, se denominará nodo central. Naturalmente, el nodo central también puede tener asignadas otras funciones distintas y/o más funciones adicionales.

35 Lo que resulta desventajoso en los procedimientos de sincronización y comunicación de redes de saltos múltiples, conocidos actualmente, es el trabajo de cálculo considerable que se ha de realizar en cada nodo para el establecimiento, el mantenimiento y la continua optimización de la red y para la comunicación de datos dentro de la red, así como, en especial, el elevado consumo de electricidad asociado al mismo en cada nodo de la red.

40 La alimentación eléctrica de los nodos individuales se realiza en múltiples aplicaciones mediante una batería. Para que esta batería mantenga los nodos individuales en funcionamiento durante el máximo tiempo posible, habrá que mantener el consumo de electricidad para el funcionamiento lo más bajo posible. Asimismo, hay que alcanzar una determinada vida útil para los nodos centrales que reenvían muchos paquetes de datos. Esto requiere un Duty Cycle 45 o ciclo de trabajo reducido. El ciclo de trabajo es la relación entre tiempo activo, es decir, de comunicación activa y de tiempo de descanso, es decir, de comunicación no activa de un nodo. También resulta desventajoso que en los correspondientes procedimientos, conocidos actualmente, pueda surgir el problema del denominado “nodo oculto” debido a colisiones en la comunicación por radio. Debido a ello la red no puede comunicarse con el “nodo oculto”, es decir, con el nodo correspondiente.

50 En la patente US 6751248 B1 se describe un procedimiento para establecer y mantener la sincronización entre los nodos y un nodo maestro en una red de saltos múltiples. En este caso, se eligen los denominados nodos padres que cubren toda la red. Los nodos padres emiten regularmente información de sincronización al resto de la red. Los nodos padres que no interfieren emiten esta información de sincronización simultáneamente. Una estructura multiplex de tiempo garantiza que cada nodo reciba regularmente la información de sincronización.

55 En la patente US 2003/0151513 A1 se describe una red inalámbrica, jerárquica y autoorganizadora que comprende una red basada en clústeres con, como mínimo, una cabeza de clúster y una red sensor/actuador, que está dispuesta de forma jerárquica con la red de clústeres. Como ejemplo, se cita una denominada red de saltos múltiples *ad-hoc* que se autoconfigura. En este caso, la sincronización puede realizarse a través de las señales baliza (“Beacon”) adecuadas.

60 En la patente US 6735448 B1 se describe un sistema de gestión de energía a efectos de reducir el consumo de la misma en redes inalámbricas *ad-hoc* aumentando al mismo tiempo su rendimiento. Esto se lleva a cabo mediante un control individual de la capacidad de transmisión de cada uno de los nodos en función de la distancia de transmisión individual. Mediante una estrategia de transmisión, que minimiza eventuales interferencias, así como el número de saltos necesarios para la transmisión, se pueden evitar las colisiones y nuevas transmisiones aumentando de esta 65 manera el caudal de datos.

El objetivo de la presente invención consiste en dar a conocer un procedimiento para la sincronización y comunicación sin colisiones en una red de saltos múltiples que se caracteriza por un reducido consumo de electricidad, así como

por un bajo ciclo de trabajo. El procedimiento evitará, por lo menos mayoritariamente, los problemas indicados de los procedimientos conocidos hasta el momento. En especial, deberá ser posible crear vías de comunicación redundantes, a efectos de aumentar la fiabilidad. Además se deberá evitar el problema de los “nodos ocultos”.

5 Representación de la invención

El objetivo de la invención se consigue mediante el procedimiento, según la reivindicación 1. Las realizaciones ventajosas del procedimiento son objeto de las reivindicaciones dependientes, o bien se desprenden de la siguiente descripción, así como de los ejemplos de realización.

- 10 El procedimiento, según la invención, se caracteriza por los siguientes pasos:
- a) Emisión de una señal de sincronización por el nodo central o por un nodo ya sincronizado, siendo ocupado el denominado “intervalo de baliza” (“Beacon slot”), un intervalo que está determinado por el nodo que emite la señal de sincronización en la trama de dicha señal, con un paquete de datos, la denominada “baliza” (“beacon”) y siendo transmitido, como mínimo, el valor del contador de saltos del nodo que emite, en la trama de la señal de sincronización, y para todos los nodos vecinos ya sincronizados del nodo que emite que éste conoce, la transmisión de los intervalos de baliza y de los valores de contador de saltos correspondientes en la trama de la señal de sincronización o bien como señal de datos separada por el nodo que emite,
 - b) recepción de la señal de sincronización, así como de los datos transmitidos en relación con ello, mediante un primer nodo que está situado en la zona de emisión recepción del nodo que emite,
 - c) sincronización del primer nodo con la señal de sincronización,
 - d) detección de los nodos vecinos del primer nodo, así como la ocupación de sus respectivos intervalos de baliza y los valores de contador de saltos por el primer nodo,
 - e) determinación del predecesor del primer nodo en la red por este primer nodo basado en criterios predeterminados,
 - f) almacenamiento de los datos recibidos o detectados por el primer nodo mediante la señal de sincronización, así como en relación con la misma, y
 - 35 g) repetición de los pasos a) hasta f), por lo menos, hasta que todos los nodos están sincronizados.

El procedimiento, según la invención, para la sincronización y la comunicación está basado en una red de saltos múltiples que presenta un nodo central y múltiples nodos. La red puede tener una dimensión ilimitada, es decir, la red puede comprender un número discrecional de nodos. El procedimiento sirve, además, para mantener la sincronización 40 durante el funcionamiento normal de la red.

El nodo central, así como cada uno de los demás nodos presentan una unidad de emisión recepción, una unidad de almacenamiento, así como una unidad de procesamiento. Cada uno de los nodos puede ser fijo o móvil. La alimentación eléctrica de los nodos y del nodo central se realiza a través de baterías, de la red eléctrica o bien se genera *in situ*, por ejemplo, mediante células solares. El nodo central y los nodos están posicionados entre sí en el espacio de tal manera que en la zona de emisión recepción de cada nodo se encuentra, como mínimo, otro nodo o el nodo central. Por lo tanto, cada nodo está en directa comunicación con, como mínimo, otro nodo o con el nodo central. La comunicación entre un nodo que se encuentra fuera de la zona de emisión recepción del nodo central y dicho nodo central se realiza a través de una comunicación de saltos múltiples utilizando otros nodos como estaciones de enlace (los denominados 50 nodos intermedios). De esta forma es posible que nodos, que no disponen de una relación de comunicación directa con el nodo central, transmitan sus datos a través de los nodos intermedios al nodo central.

El nodo central se distingue frente a los demás nodos de la red porque sirve como punto de referencia para las vías de comunicación dentro de la red y, además, como base de tiempo para la sincronización de los nodos de la red y, por 55 lo tanto, de la red entera. Una vez realizada la sincronización de la red, todos los nodos adoptan la base de tiempo del nodo central. Naturalmente, el nodo central puede adoptar otras funciones en la red, por ejemplo, puede servir como sumidero de datos central, o bien puede tener funciones de control de la red. Debido a las funciones adicionales del nodo central, el hardware del nodo central puede diferenciarse del de los demás nodos, por ejemplo, por tener una memoria más grande o una capacidad de cálculo superior.

60 Para las otras realizaciones se establecerán las siguientes definiciones conceptuales:

- Todos los nodos que se encuentren dentro de la zona de emisión recepción de un nodo, se considerarán sus vecinos.
- El número de nodos intermedios que son necesarios para establecer una comunicación entre un nodo y el nodo central y que será incrementado en uno constituirá el denominado valor de contador de saltos de este nodo.

ES 2 324 486 T3

- Todos los nodos con el mismo valor de contador de saltos formarán lo que se denomina una capa.
- En una determinada cadena de comunicación con varios nodos intermedios se elige un nodo intermedio con el valor de contador de saltos i . El nodo intermedio de la cadena de comunicación con el valor de contador de saltos $i-1$ será el predecesor del nodo intermedio con el valor de contador de saltos i , y el nodo con el valor de contador de saltos $i+1$ será su sucesor.
- El nodo central y los demás nodos de la red constituirán en su totalidad los nodos. Cuando haya que diferenciar el nodo central de los demás nodos en la subsiguiente descripción, se utilizará explícitamente el término “nodo central”, cuando se hace referencia a la totalidad de los nodos, es decir, incluido el nodo central, se utilizará el término general “nodos”.

En la figura 1 se plasma estas definiciones conceptuales por medio del ejemplo de una red de saltos múltiples, que consta de un nodo central (K_1) y de los nodos (K_2-K_9). Los nodos individuales distribuidos están representados por elipses. Las flechas mostradas entre las elipses representan la estructura de comunicación existente en la red. Las elipses indican además la identificación atribuida a cada nodo individual o el valor de contador de saltos resultante de cada estructura de comunicación existente. El nodo central tiene asignado el valor de contador de saltos 0.

De la figura 1 se desprende que las zonas de emisión recepción de K_1 , K_2 , K_3 y K_4 se solapan, dado que K_2 , K_3 y K_4 pueden comunicar directamente con K_1 (flechas), es decir, no se necesita nodo intermedio para la comunicación. De acuerdo con la definición antes indicada, a K_2 , K_3 y K_4 se les asigna, por lo tanto, el valor de contador de saltos 1, respectivamente. K_2 , K_3 y K_4 constituyen, por lo tanto, también la primera capa alrededor del nodo central, es decir, la capa que queda definida por el valor de contador de saltos común = 1. La asignación de un valor de contador de saltos determinado a un nodo, así como su asignación a una capa depende de la vía de comunicación real elegida actualmente. Un cambio de la misma puede cambiar también el valor de contador de saltos o la pertenencia de un nodo a una capa. Si, por ejemplo, la comunicación entre K_4 y K_1 no se realizará directamente, sino a través de la cadena $K_4 - K_3 - K_1$ (no mostrado), entonces a K_4 se le asignaría el valor de contador de saltos = 2, dado que para comunicarse con K_1 se necesita un nodo intermedio (K_3), y el número de nodos intermedios requeridos aumentado en uno da como resultado dos.

De forma análoga se obtienen las asignaciones del valor de contador de saltos 2 mostradas en la figura 1 para los nodos K_5 , K_8 y K_6 , así como la asignación del valor de contador de saltos 3 para los nodos K_7 y K_9 . El mismo valor de contador de saltos determina, por lo tanto, la pertenencia de los nodos K_5 , K_6 y K_8 a la capa (2), así como la pertenencia de los nodos K_7 y K_9 a la capa (3). Las capas individuales están mostradas en la figura 1 como aquellos nodos que están encerrados conjuntamente en una superficie oscura.

La comunicación entre los nodos individuales en la red de saltos múltiples está basada en una transmisión de datos inalámbrica en tramas que están divididas en slots o intervalos definidos. Preferentemente, se utilizan procedimientos de comunicación bidireccionales, en especial, procedimientos de radiocomunicación que utilizan los siguientes protocolos de transmisión de datos: Time Division Multiple Access (Acceso múltiple con división de tiempo) (TDMA), Frequency Division Multiple Access (Acceso múltiple con división de frecuencia) (FDMA), Code Division Multiple Access (Acceso múltiple con división de códigos) (CDMA). En función de la aplicación, se puede tomar en consideración dividir la trama en zonas de datos, preferentemente en una zona de sincronización, una zona de nodos vecinos y una zona de datos, a efectos de enviar simultáneamente, por ejemplo, datos de comunicación normales y datos que sirven para la sincronización, el mantenimiento así como la optimización de la estructura de la red dentro de una trama. Según otra realización ventajosa del procedimiento, se puede adaptar la red durante su funcionamiento a condiciones especiales, mediante la parametrización de la estructura de la trama, es decir, la duración de la trama, el número de intervalos o la división de la trama en zonas.

De acuerdo con la invención, en este procedimiento una señal de sincronización es emitida por el nodo central o por un nodo ya sincronizado, siendo ocupado en la trama de la señal de sincronización el denominado intervalo de baliza, un slot o ranura o intervalo determinado por el nodo que emite. Un intervalo de baliza que ha sido determinado una vez por un nodo que emite, se mantiene también para la emisión de otras señales de sincronización por el correspondiente nodo. A continuación, se detallarán las excepciones por separado.

Además, se emiten, como mínimo, los siguientes datos con cada señal de sincronización o como paquete de datos emitido por separado en relación con una señal de sincronización: para todos los vecinos ya sincronizados del nodo que emite, los intervalos de baliza ya ocupados por estos vecinos respectivos, así como los correspondientes valores de contador de saltos de estos vecinos. Según una realización desarrollada ventajosamente del procedimiento, se transmiten también los intervalos de baliza ocupados por los vecinos directos ya sincronizados de un nodo que emite, así como sus valores de contador de saltos. Según otra realización desarrollada del procedimiento, se transmite adicionalmente el número de sucesores del nodo que emite en la red.

El intervalo de baliza asignado de tal manera a un nodo, así como el valor de contador de saltos, tienen en la red en un momento la función de una identificación individual que es inequívoca para los vecinos directos. Además, se hace posible de esta manera una comunicación sin colisiones entre los nodos. Una identificación individual adicional de cada nodo en la red no es, por lo tanto, necesaria pero, naturalmente, es posible y para determinadas aplicaciones del procedimiento incluso es necesaria.

Las señales de sincronización o los paquetes de datos relacionados con ellas son recibidos y evaluados por todos los vecinos del nodo que emite, es decir, tanto de los vecinos ya sincronizados, como de los vecinos que no están sincronizados todavía. Los vecinos no sincronizados todavía reciben con la señal de sincronización una base de tiempo con la que pueden sincronizar. Los vecinos ya sincronizados del nodo utilizan la señal de sincronización de modo ventajoso para comprobar su sincronización.

Durante la evaluación de los datos recibidos por un nodo se detectan y se almacenan, como mínimo, las relaciones de vecinos locales, actuales, del correspondiente nodo, incluida la estructura de comunicación ya existente en el entorno local, es decir, especialmente la ocupación de los correspondientes intervalos de baliza y los valores de contador de saltos de sus vecinos ya sincronizados. De modo ventajoso, se detecta y se almacena adicionalmente también la ocupación del intervalo de baliza y los valores de contador de saltos de los segundos vecinos ya sincronizados.

Debido a los datos actuales de los vecinos transmitidos junto con las señales de sincronización, un nodo no sincronizado todavía reconoce qué intervalos de baliza ya están ocupados por sus vecinos. El mismo detecta de forma automática un intervalo de baliza, que no esté ocupado, como mínimo, hasta los segundos nodos vecinos, para emitir una señal de sincronización propia. De esta manera, cada intervalo de baliza ocupado está protegido en principio hasta la segunda capa. Según una realización desarrollada del procedimiento, además de la ocupación del intervalo de baliza de los vecinos directos, también se tiene en consideración la de los segundos vecinos del nodo. Mediante esta comunicación sin colisiones, que se facilita de esta manera, se evita el problema del denominado “nodo oculto” que se explicará más adelante con más detalle.

Basándose en los datos actuales de los vecinos y/u otros datos que se han detectado como, por ejemplo, la intensidad de la señal de sincronización recibida, cada nodo determina su predecesor en la red tomando determinados criterios como base. Debido a ello, se crea dentro de la red de saltos múltiples una estructura de comunicación determinada por los criterios predeterminados. Preferentemente, se incita cada nodo a elegir aquel nodo como predecesor que:

- a) presenta menos nodos intermedios en su cadena de comunicación hasta el nodo central, es decir, el que tiene el valor de contador de saltos más bajo,
- 30 b) tiene menos sucesores, o
- c) cuyas señales son recibidas por el nodo con la mayor intensidad.

35 En la elección del predecesor se pueden utilizar otros criterios y/o combinar los indicados así como los otros criterios a discreción. Mediante la determinación del predecesor, cada nodo elige su cadena de comunicación hasta el nodo central.

40 Con la correspondiente elección del predecesor, el nodo se asigna, además, a si mismo un valor de contador de saltos superior en uno al valor de contador de saltos del predecesor elegido.

Durante el funcionamiento normal, es decir, una vez estén sincronizados todos los nodos y el intercambio de datos regular transcurra en toda la red, cada nodo sigue recibiendo la señal de sincronización de su predecesor para mantener la sincronización, y envía su propia señal de sincronización para alcanzar a sus sucesores. El nodo intercambia paquetes de datos con sus nodos vecinos. En el fondo detecta constantemente sus vecinos activos y reconoce de esta manera cambios, por lo menos, en la estructura local de la red.

55 Cambian las relaciones de vecinos locales para un nodo durante dos señales de sincronización recibidas sucesivamente por él, por ejemplo, porque se suman otros nodos vecinos sincronizados a la red o porque se eliminan o fallan nodos vecinos ya sincronizados, entonces el nodo lo reconocerá comparando las informaciones recibidas actualmente de los vecinos con las informaciones de los vecinos almacenadas con anterioridad. El procedimiento, según la invención, hace que la red se adapte constantemente a cambios que se producen en la misma. Si se elimina, por ejemplo, el predecesor de un nodo de la red, este nodo determinará un nuevo predecesor de acuerdo con los criterios predeterminados.

55 Si mediante el procedimiento se ha sincronizado un nodo que no había estado sincronizado hasta el momento, éste contribuirá a su vez a la sincronización de otros nodos mediante la emisión de sus propias señales de sincronización. Tras la recepción de la primera señal de sincronización, el nodo ya puede participar en la comunicación de datos normal de la red de saltos múltiples ya sincronizada. Los pasos descritos del procedimiento se repetirán las veces necesarias hasta que todos los nodos de la red estén sincronizados. Preferentemente, el procedimiento se llevará a cabo, sin embargo, paralelamente a la comunicación normal.

60 Tras la descripción general del procedimiento, según la invención, se detallarán otra vez los pasos concretos al inicio del procedimiento.

65 Al inicio de la sincronización, primero, sólo el nodo central emite señales de sincronización. Los demás nodos adoptan un modo de recepción (modo “sniff” o de escucha reducida). Antes de emitir su primera señal de sincronización, el nodo central puede ocupar un intervalo de baliza cualquiera, por ejemplo, el intervalo de baliza 1. Para el nodo

central el valor de contador de saltos es, por ejemplo, 0. Dado que, al inicio de la sincronización, el primer nodo central no reconoce ninguno de sus nodos vecinos, su señal de sincronización sólo transmite el intervalo de baliza ocupado = 1, así como el valor de contador de saltos = 0. Los nodos vecinos del nodo central reciben la señal de sincronización descrita del nodo central, almacenan los datos transmitidos, los evalúan y sincronizan su base de tiempo con la base de tiempo del nodo central. A continuación, los nodos ya sincronizados emiten, a su vez, sin colisiones su propia señal de sincronización de manera que se pueden sincronizar los nodos situados a más distancia del nodo central. En esta operación se ocupan los intervalos de baliza que todavía están libres, es decir, en el presente ejemplo, los intervalos de baliza 2, 3, 4, etc. y se transmiten informaciones de nodos vecinos de las que dispone el nodo que emite. De esta manera, el primer nodo (K1) sincronizado con el nodo central transmite, por ejemplo, los siguientes datos: el intervalo de baliza determinado por K1 igual a 2. Valor de contador de saltos de K1 igual a 1, así como la información de nodos vecinos: nodo vecino con valor de contador de saltos igual a 0 e intervalo de baliza igual a 1. Estos datos son recibidos, evaluados y almacenados por los nodos vecinos del K1. De esta manera, los nodos vecinos sincronizados con el nodo central en el transcurso del procedimiento constituyen la primera capa sincronizada alrededor del nodo central, los que se encuentran más lejos constituyen la segunda capa sincronizada, etc. hasta que todos los nodos están sincronizados. 15 Cuando ya no queda ningún intervalo de baliza libre, el nodo se transforma en nodo final.

Gracias al procedimiento, según la invención, una vez recibida una señal de sincronización se ha de analizar sólo un número limitado de intervalos de baliza, ya que, pasadas tres capas, los intervalos de baliza ocupados se pueden volver a utilizar. De esta manera, el procedimiento resulta muy eficiente energéticamente y conduce a un consumo de energía 20 claramente más reducido que en los procedimientos conocidos hasta el momento. El procedimiento facilita además una imagen de red ya que todas las relaciones vecinales entre los nodos se conocen en principio en un momento determinado y, por lo tanto, pueden servir también para la comprobación de vías de comunicación. Debido a la aplicación del procedimiento, según la invención, resultan además, resumiendo, las siguientes ventajas del procedimiento, según la invención, con respecto al estado de la técnica:

- 25
- Una red con un tamaño a discreción se sincroniza con un nodo central, incluso en las condiciones de propagación más difíciles.
 - Todos los nodos vecinos se descubren con el menor gasto energético.
 - Se evitan colisiones indirectas por nodos ocultos, ya que las informaciones sobre qué intervalos de baliza están ocupados se comunican a los vecinos.
 - Se consigue una estructura de comunicación óptima.
 - La red se adapta automáticamente a los cambios, por ejemplo, añadiendo o eliminando nodos de la red, o a 30 condiciones de radiopropagación cambiadas.
- 35

Breve descripción de los dibujos

40 La invención se describe, a continuación, a título de ejemplo, sin limitación de la idea general de la invención por medio de ejemplos de realización haciendo referencia a los dibujos. Estos muestran:

- 45 En la figura 1, un diagrama de principio de una red de saltos múltiples;
- En la figura 2, la representación de una trama de una señal de sincronización, es decir, de un correspondiente marco de tiempo con una zona de sincronización, una zona de nodos vecinos así como una zona de datos;
- 50 En la figura 3, la representación de un marco de tiempo para explicar una versión del modo “sniff” o de escucha reducida;
- En la figura 4, una representación de un marco de tiempo para explicar otra versión del modo sniff;
- En la figura 5, una representación para explicar el enlace de base (“Basis Link”);
- 55 En la figura 6, una representación para explicar el problema del nodo oculto;
- En la figura 7, la secuencia del procedimiento para un nodo;
- 60 En la figura 8, la construcción de la estructura de comunicación en la red;
- En la figura 9, la estructura de comunicación entre un nodo central y una multitud de nodos sensores a través de los denominados nodos repetidores; y
- 65 En la figura 10, una estructura de comunicación como la de la figura 9 con la representación de las zonas de emisión-recepción de nodos individuales.

Vías para la realización de la invención

El primer ejemplo de realización describe una forma de realización del procedimiento, según la invención, para la sincronización y comunicación en una red de saltos múltiples repartida con un nodo central y varios nodos. En esta red de saltos múltiples de tamaño discrecional los datos se envían, por un lado, desde los nodos al nodo central y, por otro lado, también es posible el camino inverso. En esta situación se puede realizar un ciclo de trabajo bajo de aproximadamente el 0,02% para enviar/recibir datos, a efectos de garantizar una larga vida útil de los sensores accionados por batería. Cada nodo detecta regularmente y con un reducido gasto energético todos sus nodos vecinos. La comunicación óptima al nodo central se encuentra durante el funcionamiento corriente y no es necesario intervenir manualmente para realizar la instalación o para encontrar rutas de fallo.

La sincronización de la red que se describe a continuación es una condición previa para muchos procedimientos de transmisión de datos que ahorran energía.

En la figura 2 se muestra la estructura de trama que se elige, preferentemente, en este ejemplo de realización para la señal de sincronización. La estructura de la trama se define primero por un marco de tiempo que comprende un inicio de trama y un período de trama (= duración de trama). La trama en sí está dividida en una zona de sincronización, una zona de nodos vecinos, así como una zona de datos. En la zona de sincronización están dispuestos los intervalos de baliza individuales. En la zona de nodos vecinos se comunica la ocupación de los intervalos de baliza a los nodos vecinos. En la zona de datos se realiza la comunicación de datos propiamente dicha de la red.

Cada nodo es identificable en un momento determinado por su valor de contador de saltos h con $0 \leq h \leq n$ y el intervalo de baliza s con $0 \leq s \leq k$. El valor de contador de saltos más alto del ejemplo mostrado en la figura 2 es n , el valor del intervalo de baliza más alto es k . El nodo caracterizado por h y s emite su baliza en el intervalo de baliza s y la capa h de la zona de sincronización. Además, al nodo se le asigna en cada una de las tres zonas de la trama un intervalo respectivamente, que queda determinado por la capa h y el intervalo de baliza s del nodo respectivo. Dado que las capas están ordenadas de forma ascendente en las zonas, la baliza se propaga en poco tiempo hasta la última capa n de la red.

En la zona de datos cada nodo posee en la capa h y en el intervalo s un intervalo de datos bidireccional para comunicarse con sus sucesores. En la baliza el nodo determina la transmisión a sus sucesores o predecesores. Opcionalmente, un nodo puede dar, de esta manera, un derecho de emisión exclusivo a un sucesor determinado. En la zona de nodos vecinos se transmiten las informaciones sobre la ocupación de los intervalos de baliza de los nodos vecinos. En principio, presenta la misma estructura que la zona de sincronización, pero con la diferencia de que, tras tres capas, se vuelve a utilizar el grupo de la primera capa. Opcionalmente, las informaciones de sincronización y de nodos vecinos también pueden ser recogidas en un paquete. En este caso, la trama sólo está dividida en una zona de sincronización y una zona de datos. Un paquete con informaciones de nodos vecinos contiene, substancialmente, informaciones acerca de los vecinos de un nodo tal como:

- intervalos de baliza ocupados por vecinos,
- el predecesor respectivo,
- el número de sucesores respectivos, así como
- otras informaciones locales.

Cuando un nodo ha recogido estas informaciones de todos los vecinos, puede determinar su predecesor óptimo y un intervalo de baliza libre. De esta manera, se crea una red sin colisiones con ramificaciones equilibradas hasta el nodo central.

En el ejemplo de realización, los nodos se alternan trama por trama con el envío de las informaciones de nodos vecinos. Mediante los intervalos de baliza ocupados en la zona de sincronización se determina qué nodo envía las informaciones de nodos vecinos y cuándo las envía.

Cada nodo sincronizado con el nodo central recibe en un determinado intervalo de baliza la baliza de su predecesor o de un vecino y envía su propia baliza con una señal de sincronización. Mediante la recepción de una baliza con la señal de sincronización un nodo se sincroniza con la trama inicio. La sincronización se realiza exclusivamente mediante balizas en el intervalo de baliza y es, por lo tanto, independiente del concepto de la transmisión de datos.

En la zona de datos de la trama están dispuestos múltiples intervalos de datos. En estos intervalos de datos los nodos pueden enviar paquetes de datos a sus vecinos. Los valores para el contador de saltos y el intervalo de baliza pueden utilizarse para estructurar la zona de datos, a efectos de reducir las colisiones. El procedimiento para la transmisión de datos en sí es ampliamente discrecional dentro del marco predeterminado, y conocido por el experto.

Opcionalmente, puede haber una pausa entre la transmisión de la zona de sincronización así como de la zona de nodos vecinos y la zona de datos, a efectos de volver a cargar las capacidades de emisión.

ES 2 324 486 T3

Cuando ya hay muchos intervalos de baliza ocupados, se puede prescindir también de enviar una señal de sincronización. Entonces el nodo correspondiente se transforma en lo que se denomina un nodo final. De esta manera, sin embargo, los nodos que se encuentran en una capa más lejana pueden quedar inalcanzables.

5 La señal de sincronización contiene:

- El intervalo de baliza para que un receptor pueda determinar el inicio de la trama a partir del tiempo de recepción. Un nodo puede cambiar, en esta situación, su intervalo de baliza en intervalos de tiempo más grandes.
- El valor de contador de saltos del nodo que emite para que los vecinos encuentren la ruta óptima al nodo central.
- Los intervalos de baliza de los vecinos para evitar colisiones indirectas de baliza (problema de terminal oculto). Las informaciones de intervalo de baliza respectivas pueden transmitirse de forma eficiente como mapa de bits.
- El anuncio del cambio inminente del intervalo de baliza.

20 Después de un tiempo determinado, todos los nodos están sincronizados con un inicio de trama común. El esquema se repite después de un período de trama.

25 El procedimiento se basa en la regla según la cual cada nodo es responsable el mismo de sincronizarse y encontrar la mejor ruta hasta la base. La sincronización y la optimización de las rutas se realizan de forma descentralizada en los nodos. A tal efecto se aplican las siguientes reglas:

30 Un nodo no sincronizado se encuentra primero en lo que se denomina el modo “Sniff”, es decir, un modo en el que no emite, sino que intenta recibir una señal de sincronización con una baliza para sincronizarse. A tal efecto, es posible utilizar los siguientes procedimientos sistemáticos:

35 En la figura 3 se muestra una variante del procedimiento del modo sniff. En la figura 3 se plasma el marco de tiempo de una trama que está definida por el inicio de la trama y el período de trama. En la trama se transmite una baliza en un intervalo de baliza de duración $t = t_{sync}$. La disposición de recepción del nodo se señala mediante una barra de tiempo negra que solapa el período de trama. El nodo busca una baliza como máximo durante el tiempo de $t_{sniff,max} = t_{frame} + t_{sync}$, o sea durante algo más que un período de trama. La barra de tiempo negra representa el intervalo de tiempo de $t_{sniff,max}$.

40 En la figura 4 se representa otra variante del procedimiento del modo sniff. En la figura 4 se muestra, análogamente a la figura 3, una trama, así como una baliza transmitida dentro de la misma en un intervalo de tiempo t_{sync} . La disposición de recepción del nodo está asimismo representada por las barras de tiempo negras. Cuando el receptor del nodo no sincronizado puede estar activo sólo durante poco tiempo, según esta variante, permanece a la escucha periódicamente durante el tiempo máximo que puede durar una eventual recepción y, a continuación, vuelve a cargar sus capacidades. La duración de recepción máxima se designa con t_{sniff} . Tras un período de trama su ventana de recepción se desplaza por la diferencia Δt entre duración de recepción (t_{sniff}) y tiempo de sincronización (t_{sync}), $\Delta t = t_{sniff} - t_{sync}$. De esta manera, tras varios períodos, se puede recibir una baliza cualquiera en la trama.

45 En el momento en el que un nodo recibe una baliza, se sincroniza en todos los procedimientos con el inicio de la trama. Cuando en un período de trama varios vecinos emiten su baliza sin colisiones, el tiempo de sincronización se reduce porque la probabilidad de recepción se multiplica por el número de vecinos.

50 Una sincronización fallida requiere mucha energía, porque el receptor ha estado activo, como mínimo, durante un período de trama entero, sin que la sincronización haya terminado con éxito. A efectos de mantener el ciclo de trabajo reducido que está predeterminado, por ejemplo, de 0,02%, después de un intento fallido el próximo intento deberá realizarse sólo transcurrido unos días. Sólo de esta manera se puede garantizar una larga vida útil de la batería.

55 En la figura 5 se muestra que, en el presente ejemplo de realización, un nodo sólo emite una señal de sincronización cuando ha recibido una baliza de su predecesor elegido. Esto asegura tanto una base de tiempo común para toda la red, como también una línea continua al nodo central. En la figura 5, el nodo (1) ha recibido una baliza de su predecesor elegido, el nodo (0). Por lo tanto, el nodo (1) emite, a su vez, una señal de sincronización. El nodo (3), sin embargo, todavía no está sincronizado, es decir, no emite ninguna señal de sincronización propia con una baliza.

60 Según una realización ventajosa del procedimiento, en cada período de trama se recibe la baliza del predecesor elegido.

65 Para evitar colisiones se protegen los intervalos de baliza ya ocupados de colisiones directas e indirectas. Por lo tanto, antes de ocupar un nuevo intervalo de baliza cada nodo asegura que éste esté libre a lo largo del doble alcance de la señal. Cada nodo comprueba las siguientes circunstancias para el intervalo de baliza elegido por él:

ES 2 324 486 T3

- a) Ningún vecino emite su baliza en este intervalo de baliza. El nodo reconoce esto escuchando el intervalo.
- b) Ningún vecino de un vecino puede utilizar este intervalo de baliza. Esto significa que un intervalo de baliza ocupado está protegido contra una doble ocupación hasta el segundo vecino. Debido a ello, se evitan colisiones indirectas (problema de nodo oculto). Cada nodo transmite en su baliza un campo en el que los intervalos de baliza ocupados por vecinos están marcados.
- c) Opcional: El intervalo de baliza ha de ser elegido aleatoriamente entre los intervalos de baliza libres. Debido a la distribución se producen menos colisiones indirectas al construir la red.

10 De esta manera se asegura que, después de una distancia de tres nodos (mejor: después de tres saltos) un intervalo de baliza puede utilizarse otra vez.

15 Además, cada nodo escanea en el fondo todos los intervalos de baliza o las señales de datos correspondientes en la zona de vecinos para detectar nuevos vecinos. De esta manera puede optimizar su ruta hasta el nodo central o, cuando falla el predecesor elegido, elegir de inmediato otro vecino de su lista. Para optimizar la estructura de comunicación cada nodo elige el predecesor que presenta el valor de contador de saltos más bajo, que tiene menos sucesores y la más alta intensidad de señal recibida (Received Signal Strength Indication, Valor RSSI). El valor de contador de saltos tiene preferencia ante el número de sucesores y éste tiene preferencia ante la intensidad de señal recibida. Si se encuentra 20 un vecino mejor, éste será elegido como predecesor y el propio valor de contador de saltos será adaptado adecuadamente.

25 De forma ventajosa, cada nodo cambia esporádicamente su intervalo de baliza para evitar colisiones. De esta forma se protegen los intervalos de baliza ocupados contra colisiones directas o indirectas (problema de nodo oculto). El nodo anuncia el cambio en la baliza. Los sucesores reciben este aviso e intentan recibir la baliza en el nuevo intervalo de baliza. De esta manera se mantienen las vías de comunicación existentes. Otros vecinos sólo se dan cuenta de que se utiliza un nuevo intervalo de baliza. Si la identificación del nodo no aparece en un nuevo intervalo de baliza, el nodo habrá fallado o habrá sido eliminado de la red.

30 En la figura 6, se muestra el problema de nodo oculto. Se muestran los nodos A, B y C así como el alcance de la radiotransmisión de los nodos A y C. Cuando el nodo B se encuentre en medio de dos vecinos A y C, y A y C emiten su baliza en el mismo intervalo de baliza, entonces las balizas colisionarán en el nodo B sin que los nodos A y C puedan darse cuenta de ello. En un caso extremo, el nodo B no puede ser alcanzado ni por C ni por A.

35 Mediante el cambio del intervalo de baliza se soluciona el problema del nodo oculto. Un nodo mantiene, preferentemente, como mínimo durante dos fases de sincronización su intervalo de baliza, ya que un cambio más rápido del intervalo de baliza no haría posible la sincronización sistemática de un nodo no sincronizado. La elección del nuevo intervalo de baliza se lleva a cabo de acuerdo con los criterios descritos anteriormente.

40 Con el procedimiento descrito hasta el momento se constituye iterativamente una red que se optimiza constantemente hasta conseguir un conjunto de mallas óptimo. De esta manera se obtienen los siguientes resultados:

- resolver colisiones con terminales ocultos,
- encontrar la comunicación más rápida (contador de saltos más bajo) y mejor (predecesor con el valor RSSI más alto) hasta el nodo central, y
- detectar todos los vecinos dentro del alcance de emisión recepción de un nodo. De esta manera, al fallar un nodo, se puede utilizar en seguida una ruta alternativa. Se puede realizar una imagen completa de todas las comunicaciones de la red.

50 A continuación, se centrará la descripción en la construcción, así como en la optimización de la estructura de comunicación dentro de la red. A tal efecto, se presuponen las siguientes reglas:

- cada nodo posee una identificación, el número de nodo,
- todos los nodos se sincronizan en el orden de su número, y
- para enviar la baliza se elige siempre el intervalo de baliza libre que tenga el número más bajo.

60 En las figuras 8a - 8g se muestra la construcción de las correspondientes estructuras de comunicación en una red que consta de los cinco nodos con los números correspondientes 0 hasta 5. Los nodos se muestran como casillas rectangulares en las que se indica el número de nodo así como el actual intervalo de baliza en cada caso. Las radiocomunicaciones que, en principio, son posibles se muestran como finas líneas de comunicación. Las líneas de comunicación elegidas realmente están señaladas con flechas más gruesas. El nodo central tiene el número 0.

65 En la figura 8a, las comunicaciones que, en principio, son posibles entre cada uno de los nodos debido a que las zonas de emisión recepción de cada nodo se solapan, se muestran como finas líneas de comunicación. El nodo

ES 2 324 486 T3

base emite una señal de sincronización con una baliza en el intervalo de baliza 0. Todos los demás nodos no están sincronizados e intentan recibir una baliza en el modo sniff.

En la figura 8b se muestra que el nodo (1) ha recibido la baliza del nodo base y se ha sincronizado con el inicio de la trama. El predecesor elegido por el nodo (1) es el nodo central. El valor de contador de saltos del nodo (1) es, por lo tanto, 1. Dado que el intervalo de baliza (0) ya está ocupado por el nodo central, el nodo (1) emite su baliza en el intervalo de baliza (1).

En la figura 8c se muestra que el nodo (2) se ha sincronizado con la señal de sincronización emitida por el nodo (1) y ha elegido como predecesor el nodo (1). Emite su baliza en el intervalo de baliza (2), dado que el intervalo de baliza (1) está ocupado por el nodo (1) y el intervalo de baliza (0) está ocupado por el nodo vecino del nodo (1).

En la figura 8d se muestra que el nodo (3) se ha sincronizado con el nodo (2) y ha elegido el intervalo de baliza (0) para emitir su propia baliza. Esto es posible porque el intervalo de baliza (0) no es utilizado ni por su vecino directo (nodo 2), ni tampoco por el segundo vecino (nodo 1) del nodo 3. De esta manera, la doble utilización del intervalo de baliza (0) está protegida hasta el segundo vecino, tanto desde el punto de vista del nodo (0), como también desde el del nodo (3). El nodo (3) todavía no ha podido encontrar el camino óptimo a través del nodo (4) porque dicho nodo (4) no está sincronizado y, por lo tanto, no emite ninguna baliza, con lo cual el nodo (3) todavía no tiene constancia del mismo.

En la figura 8e se muestra que el nodo (4) recibe señales de sincronización con el intervalo de baliza (0) tanto del nodo (0) como también del nodo (3). Esto produce colisiones en el nodo (4), de manera que ni el nodo (0) ni el nodo (3) son visibles para el nodo (4) (problema de nodo oculto). El único nodo visible para el nodo (4) es el nodo (1). Por lo tanto, el nodo (4) se sincroniza con el nodo (1) y emite su baliza, consecuentemente, en el intervalo de baliza (3), dado que el nodo (4) puede deducir de la señal de sincronización del nodo (1) que el nodo (1) ocupa el intervalo de baliza (1) y los vecinos del nodo (1) (los nodos 0 y 2) ocupan los intervalos de baliza 0 y 2.

En la figura 8f se muestra que el nodo (5) se ha sincronizado con el nodo (4) y ha elegido el intervalo de baliza (0) para su propia baliza, dado que el único vecino visible para el nodo (5) es el nodo (4), y éste comunica al nodo (5) que el mismo ocupa el intervalo de baliza (3) y su vecino (nodo 1) ocupa el intervalo de baliza (1). En esta fase se pueden alcanzar todos los nodos, pero algunos dando vueltas. Se sugiere otra optimización de la estructura de comunicación, porque en el nodo (4) colisionan las balizas del nodo (0) y del nodo (3) en el intervalo de baliza común (0). Debido a estas colisiones de "nodo oculto", los nodos también pueden resultar inalcanzables. Este problema se resuelve mediante el cambio esporádico de los intervalos de baliza, tal y como se señala en la figura 8g.

En la figura 8g se muestra que el nodo central cambia su intervalo de baliza de 0 a 4. Esto es posible porque sus vecinos (los nodos 1 y 4), así como sus segundos vecinos (los nodos 2 y 5) ocupan los intervalos de baliza 0, 1, 2 y 3. La colisión en cuanto al intervalo de baliza 0 hasta el momento sólo ha tenido consecuencias para el nodo (4), de manera que tras el cambio, el nodo central ahora puede recibir la baliza del nodo (4) en cualquier momento. El cambio ha sido anunciado en la señal de sincronización del nodo central, de manera que tanto el nodo (1) como también el nodo (4) escuchan el nuevo intervalo de baliza (4) inmediatamente después del cambio. De esta manera el nodo (4) reconoce el nodo central. Dado que el nodo central tiene un valor de contador de saltos inferior al de su predecesor elegido hasta el momento (nodo 1), el nodo (4) elige ahora al nodo central como su predecesor. La comunicación con el nodo (1) se convierte de esta manera en una línea de respaldo ("Backup").

En la figura 8h se muestra que el nodo (3) elige ahora al nodo (4) como predecesor debido a su valor de contador de saltos más bajo. La comunicación con el nodo (2) se convierte en una línea de respaldo para el nodo (3). De esta manera se ha encontrado el conjunto de mallas óptimo hacia el nodo central. Hay que señalar que en el enlace descendente ("Downlink"), es decir, en la comunicación hacia el nodo central, la baliza del nodo (3) colisiona con la baliza del nodo (5) en el nodo (4). Dado que el enlace ascendente ("Uplink"), es decir, la comunicación del nodo central a los nodos está libre de colisiones, la sincronización funciona igualmente. Esta colisión todavía existente puede eliminarse, sin embargo, mediante un cambio esporádico de los intervalos de baliza ocupados por cada uno de los nodos, tal y como se ha mostrado.

En los procedimientos descritos pueden producirse, entre otros, los siguientes casos especiales:

- 55 a) Todos los nodos de la red están sincronizados hasta el último nodo (B). El nodo (B) tiene dos nodos vecinos (A) y (C) que no pueden comunicar entre ellos. Ambos nodos vecinos emiten sus balizas en el mismo intervalo de baliza. La amortiguación de las señales de sincronización respectivas hacia el último nodo es similar en ambas rutas. Debido a ello existe el problema de que el nodo (B) no puede recibir ninguna baliza ni de (A) ni de (C). Como mucho puede detectar la energía de la señal de recepción. Por lo tanto, no reconoce el inicio de la trama y no puede sincronizarse. Debido al cambio esporádico de la ocupación del intervalo de baliza, existe una alta probabilidad de poder eliminar las colisiones, incluso en estos casos.
- 60 b) Dos nodos vecinos (A) y (B) detectan un intervalo de baliza libre y empiezan a emitir su baliza en la misma trama. Si ambos nodos eligen el mismo intervalo de baliza, las balizas respectivas colisionarán. Ninguno de los nodos reconocerá la doble ocupación. La probabilidad de que esto ocurra es escasa y puede estimarse de la manera siguiente: $P \approx \langle\text{ciclo de trabajo}\rangle * \langle\text{número de intervalos de baliza}\rangle$. Esta colisión también se elimina mediante un cambio esporádico del intervalo de baliza por los nodos en la red.

ES 2 324 486 T3

Desde el punto de vista de un nodo individual que participa de la red, el procedimiento se puede explicar tal como se muestra en la figura 7. En este caso, se presupone un nodo K1 todavía no sincronizado que está rodeado de nodos vecinos, por lo menos, parcialmente sincronizados.

5 1. *Inicio*

Un nodo vecino empieza a emitir una señal de sincronización.

10 2. *Sincronizar*

Primero K1 intenta recibir la señal de sincronización de un vecino para sincronizarse con la baliza de este vecino.

15 3. *Detectar vecinos*

Si K1 ha recibido la baliza de un vecino, conocerá el inicio de la trama y, por lo tanto, también la situación de la zona de nodos vecinos. Escuchará todas las ranuras de tiempo en la zona de nodos vecinos. De esta manera, detectará todos los vecinos directos, su distancia al nodo central (contador de saltos) y cuántos sucesores tiene ya cada vecino, así como todas las ranuras de tiempo ya ocupadas por vecinos directos e indirectos.

20 4. *Determinar predecesor*

A partir de las informaciones de vecinos K1 detecta el predecesor siguiendo determinados criterios (contador de saltos; intensidad de señal recibida; número de sucesores).

25 5. *Determinar intervalo de baliza*

De las informaciones de vecinos K1 determina las ranuras de tiempo ocupadas y busca, en conformidad con las reglas descritas anteriormente, una ranura de tiempo libre para emitir su propia baliza.

30 6. *Funcionamiento normal*

Durante el funcionamiento normal K1 recibe la baliza de su predecesor, para mantener la sincronización y emite la baliza en su ranura de tiempo para alcanzar sus sucesores. Puede intercambiar paquetes de datos con un nodo vecino en la zona de datos. En el fondo detecta constantemente sus vecinos activos y reconoce, de esta manera, cambios en la estructura de la red.

35 7. *Cambiar el predecesor*

40 Si falla el predecesor o si se encuentra un predecesor mejor, K1 cambiará a un nuevo predecesor.

45 8. *Cambiar el intervalo de baliza*

Después de un determinado tiempo, K1 cambia su intervalo de baliza. Esto lo comunica a tiempo a sus sucesores para que éstos reciban su baliza en el nuevo intervalo de baliza.

50 9. Este proceso se repite, el funcionamiento normal se restablece.

55 En el segundo ejemplo de realización se describe asimismo una aplicación del procedimiento, según la invención, en una red de saltos múltiples con un nodo central y varios nodos sensores. Los nodos sensores presentan, adicionalmente a la infraestructura de hardware descrita anteriormente, un sensor o varios sensores con los que pueden detectar por sí mismos, por ejemplo, su entorno o manipulaciones en el nodo. En este ejemplo de realización, la red se utiliza para la vigilancia de componentes de infraestructura en un edificio de varias plantas. En cada planta se encuentran varias unidades, por ejemplo, viviendas. De esta forma, resulta la asignación de cada nodo sensor individual a una planta y a una vivienda y, por lo tanto, la clusterización predeterminada de los nodos sensores. En este caso se trata de transmitir los datos sensoriales detectados por los nodos sensores en la red al nodo central. En este ejemplo de realización se presupone que los nodos sensores están fijamente instalados y presentan una identificación individual. Los cálculos que se muestran a continuación toman como base un ciclo de trabajo del 0,03% que constituye la media a lo largo de 12 años. Como máximo tiempo de emisión continua de un nodo sensor se presuponen 8-10 ms, como máximo tiempo de recepción continuo se presuponen 10-20 ms. La tasa de datos es de 100 kbaud.

60 El procedimiento sigue las siguientes reglas básicas:

- 65 - Al inicio del procedimiento todos los nodos sensores se encuentran en el modo sniff, sólo el nodo central emite señales de sincronización. A tal efecto, el nodo central emite regularmente al inicio de cada ciclo su baliza en el intervalo de baliza (1).

ES 2 324 486 T3

- Cada nodo sensor se sincroniza con la baliza que tiene el valor de contador de saltos más bajo y el valor RSSI más alto.

A tal efecto, un nodo sensor se sincroniza primero con la primera baliza que recibe en el modo sniff y determina su predecesor. De esta manera, el nodo sensor está sincronizado en el tiempo con la red ya activa y puede escuchar ahora de forma dirigida en cada ciclo intervalos de baliza individuales, a efectos de encontrar, en su caso, un predecesor (una baliza) más adecuado. Para que esto no dure demasiado, un nodo sensor sincronizado en el tiempo busca en cada ciclo con pausas de aproximadamente 60 ms, un número más grande de intervalos de baliza. Después de n ciclos el nodo sensor ha escuchado todos los intervalos de baliza y está sincronizado con la baliza óptima. Cada nodo sensor, que está sincronizado definitivamente con una baliza, emite un mensaje Syncind al nodo central para certificarlo. Teóricamente, esto ya se puede hacer una vez el nodo sensor se ha sincronizado con la primera baliza.

Cada nodo sensor elige su predecesor, tal y como ya se ha descrito anteriormente, y se asigna asimismo un valor de contador de saltos correspondiente. Cada señal de sincronización emitida por un nodo sensor contiene una baliza, la identificación del emisor así como el correspondiente valor de contador de saltos.

El mensaje Sync-ind contiene:

- la identificación del nodo sensor,
- el valor de contador de saltos del nodo sensor, y
- el valor RSSI de la baliza con la que se ha sincronizado el nodo sensor.

Tras un número determinado de ciclos el nodo central ha recibido todas las identificaciones de los nodos sensores sincronizados de una capa. El nodo central designa entonces por capa y clúster de viviendas un nodo sensor como nodo repetidor y asigna a cada nodo repetidor un intervalo de baliza diferente más grande que 1.

Según una forma de realización alternativa, el nodo central designa primero los nodos repetidores que empiezan, sin embargo, casi simultáneamente con la emisión de su baliza, pero sólo tras una orden de transmisión posterior.

Debido a ello, en un edificio de diez plantas con diez viviendas en cada planta se crean, por ejemplo, 100 nodos repetidores. Eventualmente podrían ser algunos pocos más si una vivienda quedara cubierta sólo parcialmente por una baliza de la capa inferior. En este caso, resulta ventajoso disponer un nodo repetidor adicional en la parte de la vivienda que pertenece a la siguiente capa más alta.

La decisión de qué nodo sensor por clúster (vivienda) será designado como el nodo repetidor y en qué intervalo de baliza emite, se puede tomar de acuerdo con los siguientes parámetros:

- Valor RSSI (por ejemplo, valor medio)
- Planta (asignación del intervalo de baliza, a efectos de evitar colisiones, por ejemplo, en el caso del “terminal oculto”).

Cada nodo repetidor emite su baliza regularmente en el intervalo de baliza que le ha sido asignado. Los restantes nodos sensores que no han sido designados como nodos repetidores, comunican a través de un nodo de baliza de la próxima esfera más baja con el nodo central.

Como alternativa ventajosa los restantes nodos sensores de un clúster de vivienda, es decir, todos los nodos sensores de una vivienda que no fueron convertidos en nodos repetidores, se sincronizarán con el nodo repetidor con su identificación de vivienda. Esto también tiene ventajas energéticas, dado que dentro de una vivienda el enlace de comunicación es mejor que a través de varias plantas. La transmisión de datos de los nodos sensores se realiza a través de su repetidor correspondiente y el camino de los nodos repetidores que fue determinado durante la sincronización se realiza en las capas individuales.

De la sincronización paso a paso resultan automáticamente caminos repetidores en las plantas superiores. Sólo por estos caminos repetidores se puede realizar con relativa rapidez la transmisión de una orden a las plantas superiores. Las órdenes se dejan transferir de diferentes modos:

- La orden es transmitida en la baliza, es decir, en el intervalo de baliza;
- A la trama de la baliza le sigue aún una trama de orden; o bien
- Como paquete de datos normal y corriente.

En la figura 9 se muestra de forma esquemática la distribución de nodos sensores en un edificio de 4 plantas. Cada uno de los sensores (círculos blancos) está asignado en las plantas a clústeres de viviendas. En cada clúster de vivienda se ha elegido un nodo sensor como nodo repetidor. Entre los nodos repetidores existe una estructura de

ES 2 324 486 T3

comunicación (flechas negras), que facilita la comunicación de los nodos repetidores con el nodo central en la planta baja del edificio. Los nodos sensores individuales eligen para su comunicación con el nodo central, por ejemplo, como predecesor siempre aquel nodo repetidor que pertenece a su clúster de vivienda.

5 La figura 10 se diferencia de la imagen porque las zonas de emisión y de recepción de nodos repetidores individuales están ilustradas mediante círculos.

10 Cada nodo sensor recibe en la zona de emisión del nodo central la baliza del nodo central (contador de saltos 0), se sincroniza con el mismo y responde al maestro con un mensaje sync-ind Message en un intervalo de datos. La baliza puede tener como máximo 8 - 10 ms.

15 Con una tasa de datos de 100 kbaud y una codificación Manchester esto corresponde a aproximadamente 50 - 62 bytes que están a disposición para una baliza. En teoría se podría prescindir de volver a ocupar los intervalos de baliza otra vez tras algunos saltos o capas, y en lugar de ello poner a disposición un intervalo de baliza propio para cada nodo repetidor. En el presente ejemplo la trama de baliza duraría entre 1 y 2 segundos en función del número de repetidores de 100 - 200. Este método sería útil, especialmente, en el siguiente caso alternativo.

20 Una alternativa sería que cada intervalo de baliza individual durara aproximadamente 60-70 ms y que los intervalos de baliza se asignasen de forma ascendente. Es decir, que cada nodo repetidor predecesor emite en un intervalo de baliza más bajo. Entonces cada nodo repetidor puede recibir la baliza de su nodo repetidor predecesor en un intervalo de baliza y enviar su propia baliza en el siguiente intervalo de baliza. De esta forma las órdenes se dejan transmitir rápidamente hacia arriba. En función del número de repetidores y de la longitud exacta del intervalo esto causaría, sin embargo, una trama de baliza muy larga de aproximadamente 6-14 segundos.

25 Los tiempos largos del intervalo de baliza vienen condicionados, en este caso, porque teóricamente es posible que una baliza sea recibida en un intervalo y reemitida directamente en el siguiente intervalo. Pero tras la recepción de una baliza, el condensador electrolítico necesita ser cargado durante aproximadamente 50-60 ms. Si se puede garantizar que en la secuencia de intervalos siempre haya, como mínimo, 5 intervalos entre medio, entonces se podrá trabajar también con intervalos de 10 ms de duración.

30 La transmisión de datos en la red se basa preferentemente en un procedimiento basado en contención (“contention-based”).

35 Resumiendo se describe por medio del segundo ejemplo de realización la sincronización por etapas de una red de selección inalámbrica bidireccional que se mantiene luego sincronizada. Mediante una sintaxis especial, se asigna a cada nodo sensor durante el montaje en la vivienda una identificación inequívoca que comprende el número de la vivienda así como la planta correspondiente. De esta forma se facilita una clusterización lógica según viviendas. De la designación de nodos repetidores de balizas dentro de un clúster lógico (vivienda) resulta automáticamente un orden jerárquico del sistema y se determinan los caminos de enrutamiento. Además es posible organizar los nodos repetidores de balizas en una red superior. Para optimizar el consumo de energía la tarea del repetidor deberá pasarse periódicamente a nodos vecinos.

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Procedimiento para la sincronización y la comunicación en una red de saltos múltiples (“multihop”) con múltiples nodos (KN) y un nodo central (ZKN), que presentan cada uno, como mínimo, una unidad de emisión recepción, una unidad de almacenamiento así como una unidad de procesamiento, en el que la comunicación entre las unidades de emisión recepción se basa en una transmisión de datos inalámbrica en tramas que están divididas en intervalos definidos, los KNs y el ZKN están posicionados entre sí en el espacio de tal manera que en la zona de emisión recepción de cada KN se encuentra, como mínimo, otro KN como su vecino y/o el ZKN, la comunicación entre el KN y el ZKN se realiza utilizando otros KNs como nodos intermedios a través de una comunicación de saltos múltiples, siempre que el KN se encuentre fuera de la zona de emisión recepción del ZKN, y a cada KN se le asigna, como mínimo, un valor de contador de saltos que indica el número, aumentado en uno, de nodos intermedios para el KN en cuestión, a través de los que se realiza la comunicación con el ZKN, y en el que el nodo intermedio que está situado más cerca del correspondiente KN en la red durante la comunicación con el ZKN se denomina predecesor del KN, el KN se denomina sucesor del nodo intermedio y todos los KNs con el mismo valor de contador de saltos forman una capa, comprendiendo dicho procedimiento los siguientes pasos:

- 20 a) Emisión de una señal de sincronización por el ZKN o por un KN ya sincronizado, siendo ocupado el denominado intervalo de baliza, intervalo que está determinado por el nodo que emite la señal de sincronización en la trama de dicha señal, con un paquete de datos que facilita la sincronización, la denominada baliza y siendo transmitido, como mínimo, el valor del contador de saltos del nodo que emite, en la trama de la señal de sincronización, y para todos los nodos vecinos ya sincronizados del nodo que emite que éste conoce, la transmisión de los intervalos de baliza ocupados por los nodos vecinos y de los valores de contador de saltos de los nodos vecinos en la trama de la señal de sincronización o bien como señal de datos separada por el nodo que emite,
- 30 b) recepción de la señal de sincronización así como de los datos transmitidos en relación con ello mediante un primer KN que está situado en la zona de emisión recepción del nodo que emite,
- 35 c) sincronización del primer KN con la señal de sincronización,
- 40 d) detección de los nodos vecinos del primer nodo, así como la ocupación de sus respectivos intervalos de baliza y los valores de contador de saltos por el primer KN,
- 45 e) determinación del predecesor del primer KN en la red por este primer KN basado en criterios predeterminados,
- 50 f) almacenamiento de los datos recibidos o detectados por el primer KN mediante la señal de sincronización, así como en relación con la misma,
- 55 g) repetición de los pasos a) hasta f), por lo menos, hasta que todos los KNs están sincronizados.

2. Procedimiento, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la emisión de la señal de sincronización por el ZKN se repite regularmente.

3. Procedimiento, según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque los pasos a) hasta f) también se repiten una vez realizada la sincronización de todos los KNs.

4. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque junto con la señal de sincronización o con una señal de datos separada, pero relacionada con la misma, se transmiten adicionalmente para todos los vecinos sincronizados del KN o del ZKN que emite la señal de sincronización los intervalos de baliza ya ocupados por éstos así como sus valores de contador de saltos.

5. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque la determinación del predecesor del primer KN se basa en elegir al vecino con el valor de contador de saltos más bajo.

6. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque la determinación del predecesor del primer KN se basa en elegir al vecino con menos sucesores.

60 7. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque para determinar el predecesor del primer KN se utilizan datos de los segundos vecinos del primer KN.

65 8. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque la determinación del predecesor del primer KN se basa en elegir al vecino cuya señal de sincronización haya sido recibida con la mayor intensidad de señal por el primer KN.

9. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 5 a 8, **caracterizado** porque para determinar el predecesor se tiene en cuenta una combinación de criterios individuales o todos los criterios, de acuerdo con las reivindicaciones 5 a 8.
- 5 10. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque al emitir la señal de sincronización, el nodo que emite elige su intervalo de baliza en la trama de tal manera que escoge un intervalo de baliza no ocupado hasta el segundo vecino del nodo que emite.
- 10 11. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** porque un KN que no encuentra ningún intervalo de baliza libre se convierte en nodo final que no emite ninguna señal de sincronización.
12. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado** porque para cada capa se reserva un número de intervalos de baliza en la trama de la señal de sincronización.
- 15 13. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque en la trama de la señal de sincronización están a disposición, como mínimo, tantos intervalos de baliza como solapamientos entre zonas de emisión recepción de las unidades de emisión recepción existan.
- 20 14. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado** porque un KN sólo emite su propia señal de sincronización después de haber recibido una señal de sincronización de su predecesor.
- 15 15. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado** porque cada KN que emite una señal de sincronización utiliza el intervalo de baliza que ha elegido una vez, como mínimo, durante un tiempo limitado en cada emisión adicional de una señal de sincronización.
- 25 16. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 15, **caracterizado** porque el ZKN o un KN emiten una señal de sincronización que presenta un intervalo de baliza cambiado en la trama con respecto a las señales de sincronización emitidas anteriormente por el ZKN o por el correspondiente KN.
- 30 17. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado** porque antes de la emisión de una señal de sincronización por un KN, dicho KN elige un intervalo de baliza que se diferencia de los intervalos de baliza que utilizan sus vecinos.
- 35 18. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado** porque antes de la emisión de una señal de sincronización por un KN, dicho KN elige un intervalo de baliza que se diferencia de los intervalos de baliza que utilizan sus vecinos y sus segundos vecinos.
- 40 19. Procedimiento, según la reivindicación 16, **caracterizado** porque un cambio inminente para un KN del intervalo de baliza utilizado hasta el momento por el KN se emite antes de su ejecución por el KN como información de datos a los vecinos respectivos.
- 45 20. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 19, **caracterizado** porque cada KN evalúa, especialmente, las señales de sincronización, así como los datos de su predecesor elegido relacionados con las mismas, y los compara con los datos almacenados de la señal de sincronización recibida anteriormente y porque, cuando haya una alteración, se determina nuevamente un predecesor según el paso e) del procedimiento, según la reivindicación 1.
- 50 21. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 20, **caracterizado** porque para la transmisión de datos se utilizan protocolos TDMA (“Time Division Multiple Access”), FDMA (“Frequency Division Multiple Access”) o CDMA (“Code Division Multiple Access”).
- 55 22. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 21, **caracterizado** porque cada nodo, así como el nodo central, dispone de su propia identificación que se transmite junto con la señal de sincronización.
23. Procedimiento, según la reivindicación 22, **caracterizado** porque, una vez sincronizado, un nodo emite una señal Sync al nodo central que comprende, como mínimo, su identificación.
- 60 24. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 1 a 23, **caracterizado** porque las tramas presentan una estructura que comprende, como mínimo, una zona de sincronización en la que se transmiten los intervalos de baliza y, como mínimo, una zona de datos, en la que se transmiten los datos.
25. Procedimiento, según la reivindicación 24, **caracterizado** porque en la zona de sincronización y en la zona de datos están dispuestos sendos intervalos individuales para cada nodo que son determinados por su valor de contador de saltos y su intervalo de baliza elegido.

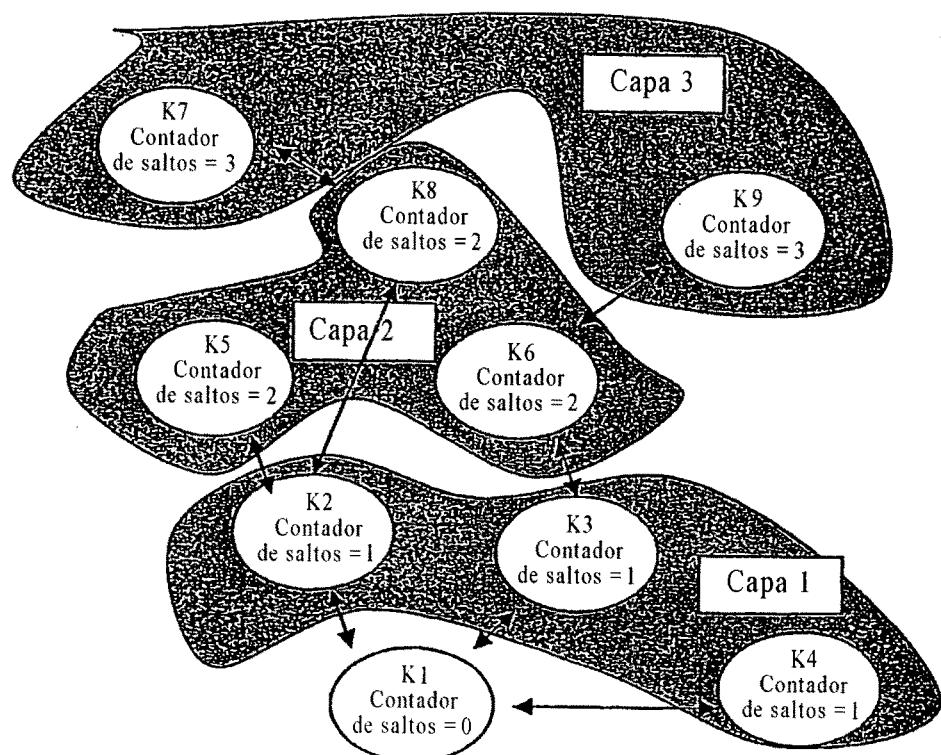


Fig. 1

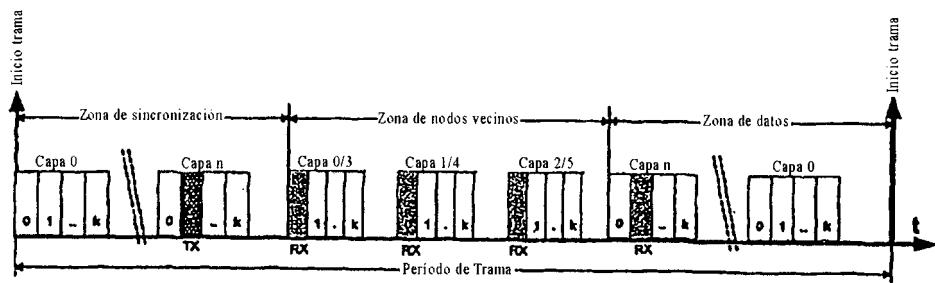


Fig. 2

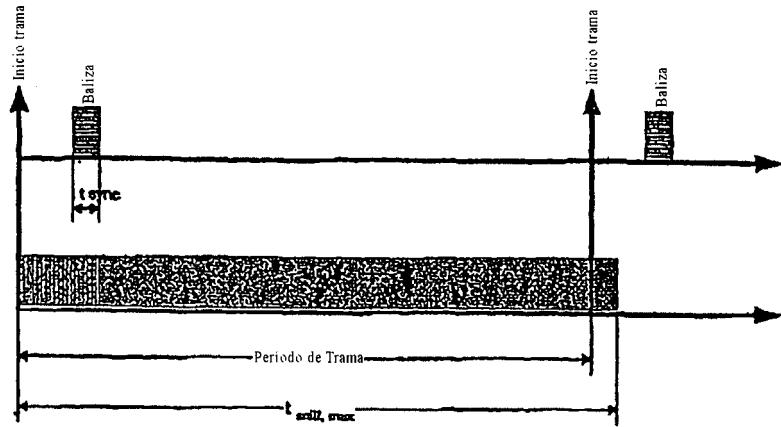


Fig. 3

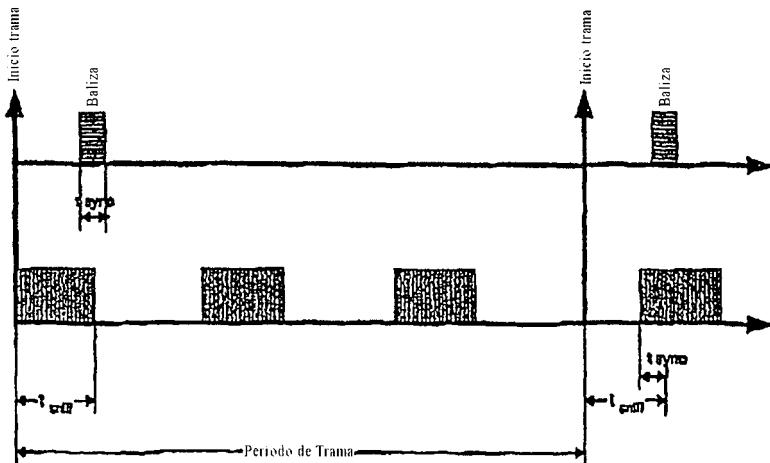


Fig 4

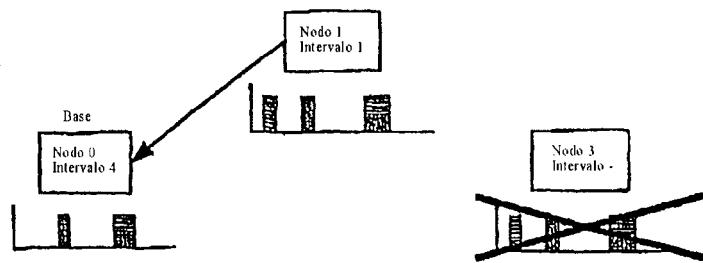


Fig. 5

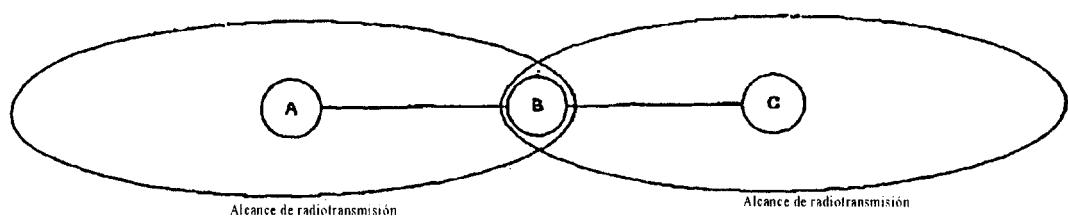


Fig. 6

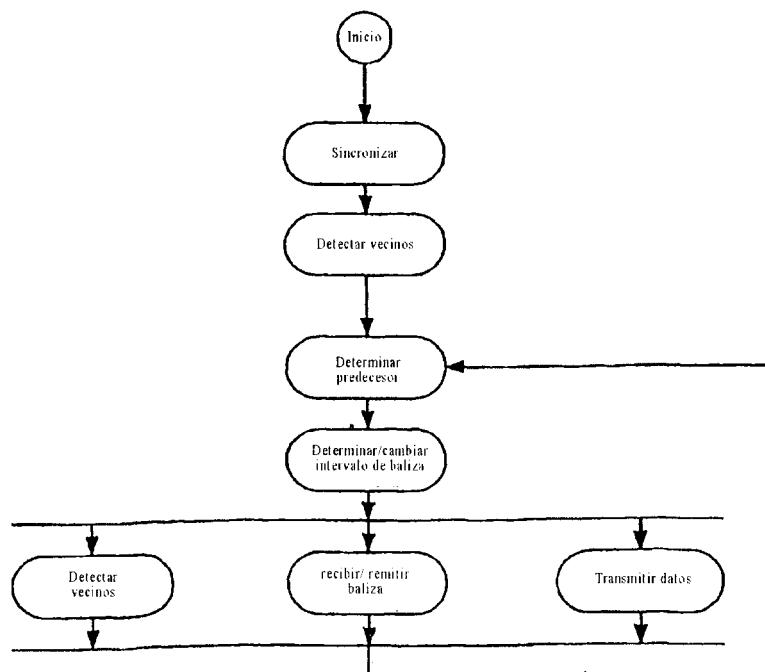


Fig. 7

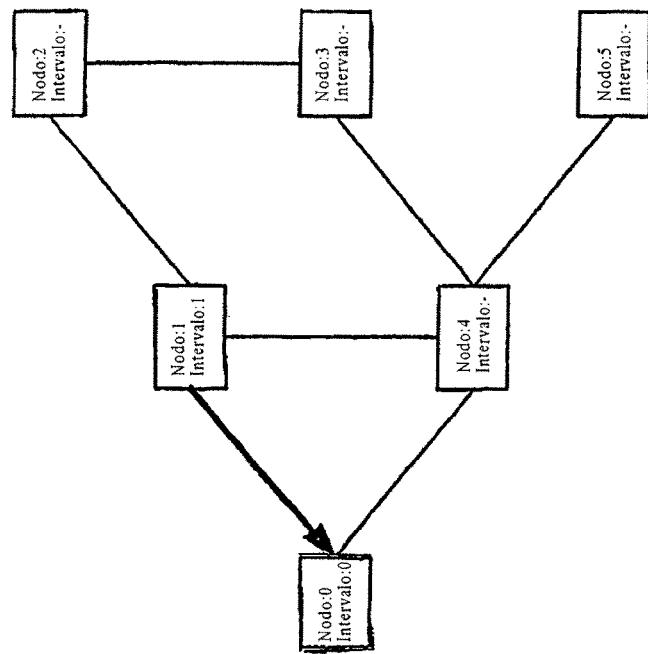


Fig. 8b

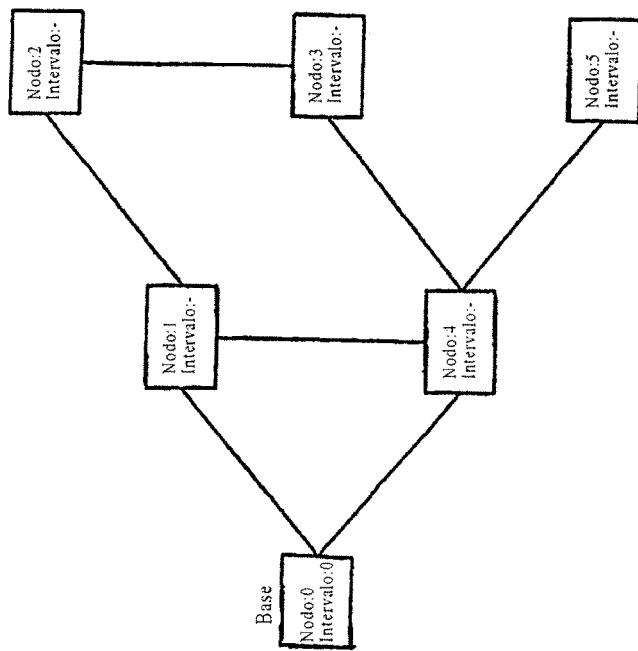


Fig. 8a

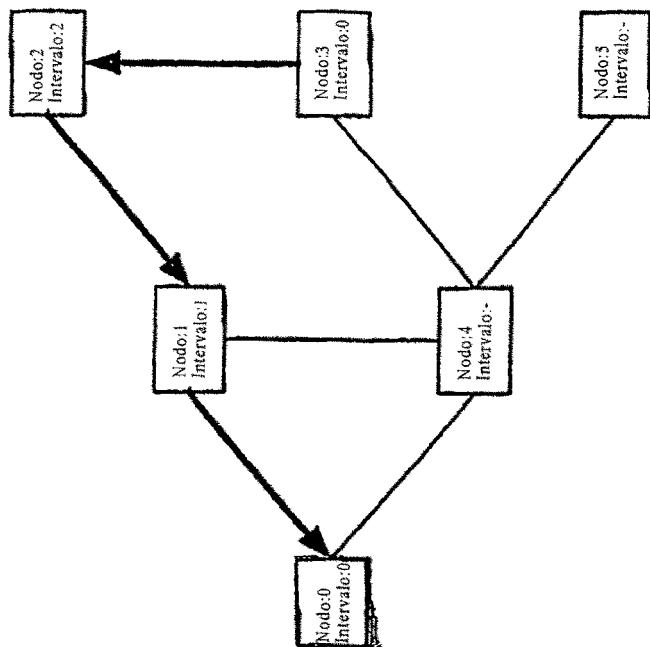


Fig. 8d

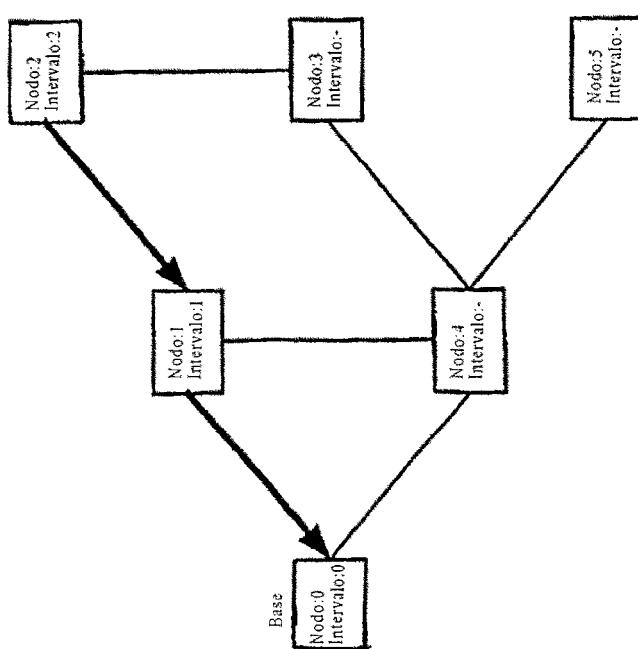


Fig. 8c

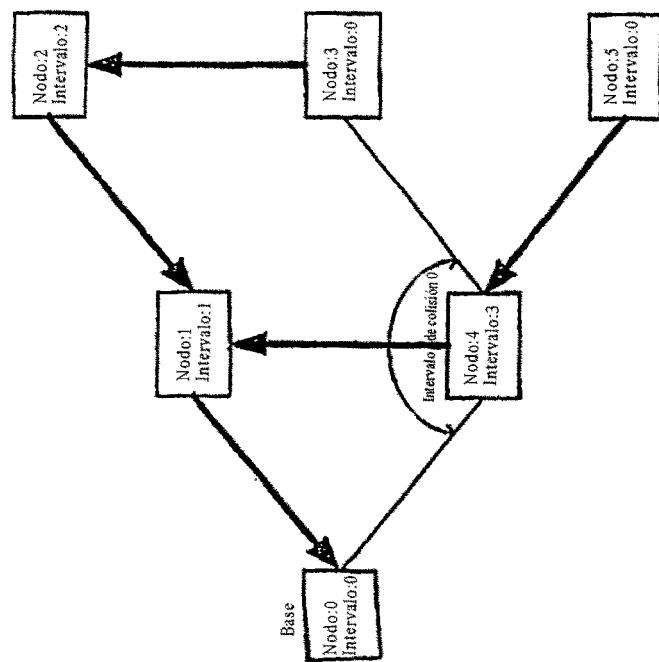


Fig. 8f

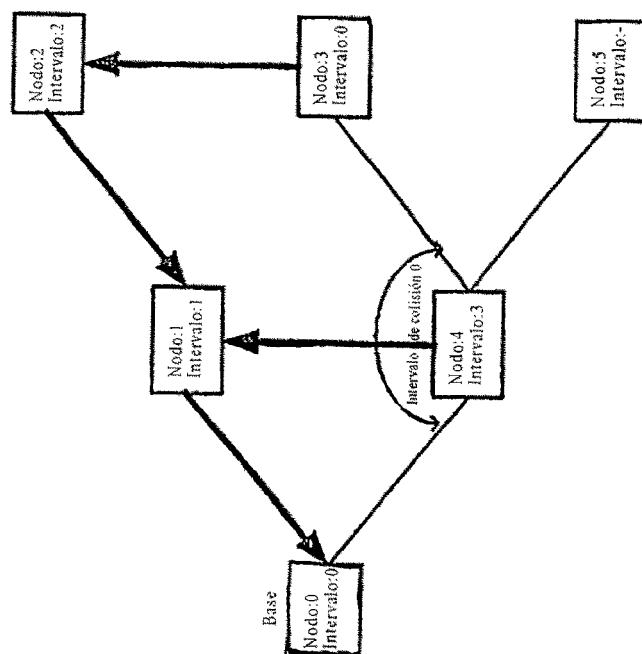


Fig. 8e

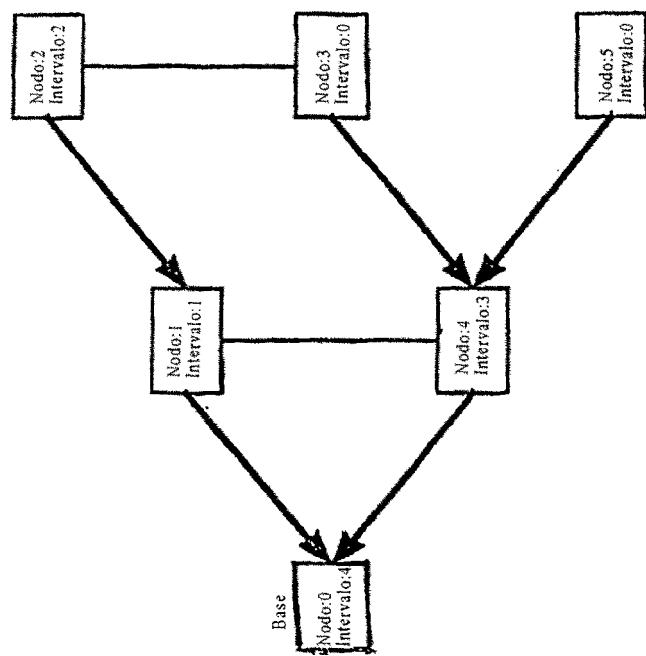


Fig. 8h

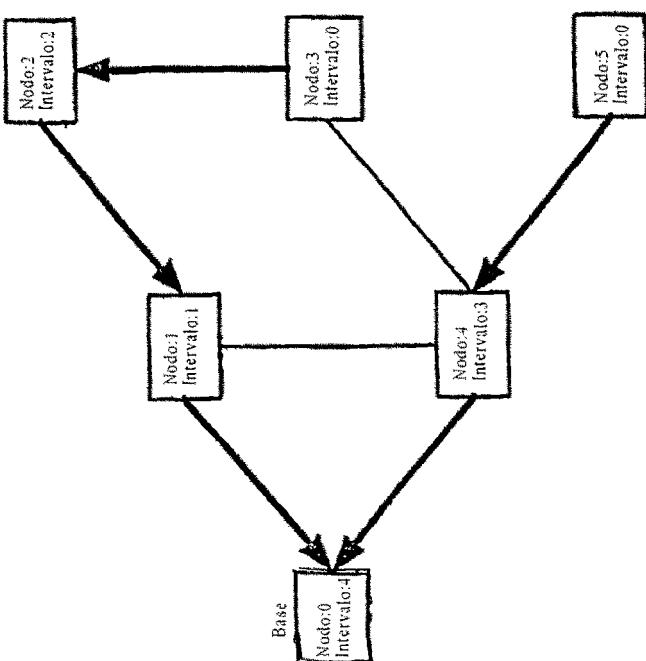


Fig 8g

ES 2 324 486 T3

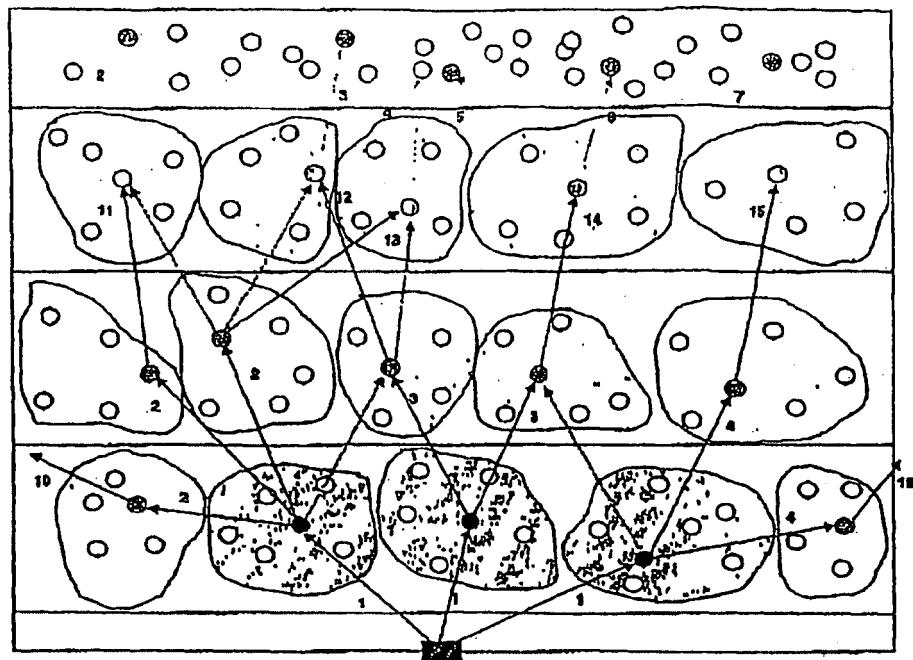


Fig. 9

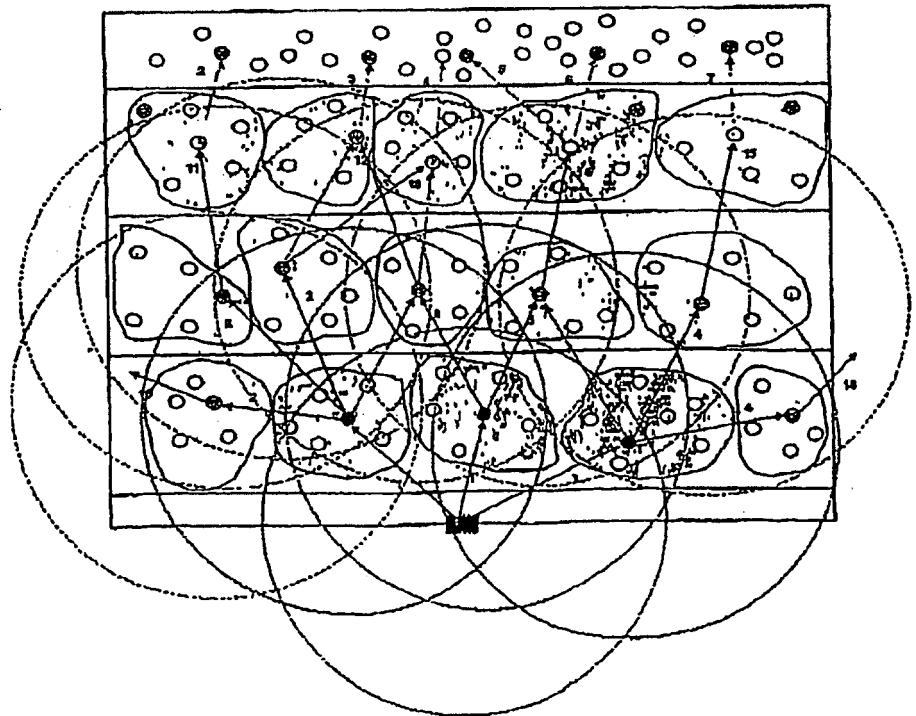


Fig. 10