

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 440 242**

51 Int. Cl.:

H04L 12/801 (2013.01)

H04L 12/815 (2013.01)

H04L 12/825 (2013.01)

H04L 12/835 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2007 E 07002055 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2013 EP 1953974**

54 Título: **Un esquema de transmisión de paquetes para un rendimiento mejorado en rutas de múltiples saltos de una red inalámbrica de múltiples saltos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.01.2014

73 Titular/es:

**DEUTSCHE TELEKOM AG (100.0%)
FRIEDRICH-EBERT-ALLEE 140
53113 BONN, DE**

72 Inventor/es:

DOUSSE, OLIVIER DR.

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 440 242 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

Un esquema de transmisión de paquetes para un rendimiento mejorado en rutas de múltiples saltos de una red inalámbrica de múltiples saltos

Campo de la invención

5 La presente invención está dirigida en general a mecanismos de transmisión para redes inalámbricas de múltiples saltos, que optimizan el rendimiento en rutas de múltiples saltos, principalmente atenuando la auto-interferencia y la congestión. En particular, la invención concierne a un método y a una red inalámbrica de múltiples saltos, para transmitir paquetes a través de una red inalámbrica de múltiples saltos, así como a un nodo intermedio, denominado también como nodo repetidor, para uso dentro de una red inalámbrica de múltiples saltos.

10 Antecedentes de la invención

Muchas redes inalámbricas de múltiples saltos se han construido ya, usando principalmente equipos del estándar IEEE 802.11. Un requisito importante de tal red inalámbrica de múltiples saltos es obtener un rendimiento optimizado sobre enlaces inalámbricos de una ruta inalámbrica de múltiples saltos. Sin embargo, obtener un buen rendimiento es crucial debido al hecho de que los enlaces inalámbricos de la misma red se interfieren entre sí; este fenómeno es conocido como auto-interferencia.

15 Los protocolos actuales de la capa MAC (Control de Acceso al Medio), tal como el 802.11, implementan un esquema de acceso al medio de CSMA/CA (Acceso Múltiple por detección de Portadora/Evitación de Colisiones), que se supone que evita colisiones de paquetes y asegura una justa compartición de ancho de banda entre nodos contendientes. Sin embargo, la compartición justa no es una política óptima en un escenario de múltiples saltos. Idealmente, los nodos deben tener un acceso al canal exactamente cuando tienen un paquete que enviar, es decir, después de una recepción con éxito de un paquete para retransmitir. Utilizar un solo protocolo CSMA/CA en una red de múltiples saltos, conduce a dos problemas principales:

- Formación de colas en los nodos repetidores

25 Los nodos repetidores incluyen un medio de almacenamiento que está adaptado para almacenar una pluralidad de paquetes. Es sabido que algunos nodos repetidores tienen mejor conductividad que otros, de manera que algunos enlaces de un camino se convierten en cuellos de botella. Frente a estos cuellos de botella, se forman largas colas de paquetes, dando como resultado un largo retardo de extremo a extremo.

- Congestión

30 De forma similar a los coches en una autopista, la creciente densidad de paquetes a lo largo de la ruta origina un fenómeno de congestión. Este fenómeno reduce drásticamente el rendimiento global.

35 Una manera conocida de aumentar el rendimiento de datos en una red inalámbrica de múltiples saltos está descrito, por ejemplo, por Srikishna y otros, en la patente de Estados Unidos núm. 7.031.293 B1. Esta solución está basada en un esquema de asignación de canales para un nodo de una red en malla que utiliza varios canales no solapados y asigna distintos canales a diferentes enlaces. Sin embargo, esta técnica requiere que cada nodo esté equipado al menos con dos interfaces inalámbricas, de manera que el nodo pueda recibir paquetes en un primer canal para un enlace descendente, y enviar paquetes en un segundo canal de un enlace ascendente. Sin embargo, es un hecho muy establecido que múltiples interfaces inalámbricas en el mismo dispositivo se interfieren significativamente, incluso si funcionan en canales no solapados.

40 En el documento "Un marco de control de flujos para un rendimiento mejorado y eficiencia de energía en las redes inalámbricas de múltiples saltos basadas en CSMA/CA" de Pathamasuntharan J. S y otros, en los Actos del Simposio Internacional de 2006 sobre un Mundo de Redes Inalámbricas Multimedia y Móviles (WoWMoM' 06), de 2006, IEEE, páginas 143-149, se describe un marco de control de flujos para una red inalámbrica de múltiples saltos basada en CSMA/CA, donde se utiliza un esquema de control de flujo basado en una ventana híbrida y en la velocidad, salto por salto. Se utiliza un saludo RTS/CTS, donde cuando un nodo servidor envía una trama RTS, el receptor tiene la opción de enviar una trama RTS-NAK o una trama CTS. Al recibir el RTS, la capa MAC consulta el módulo de control de flujo para comprobar si puede admitirse el paquete en el nodo. Si el flujo viola la norma de ocupación de la memoria intermedia, la capa MAC responde con una trama RTS-NAK al nodo remitente. La norma de ocupación de la memoria intermedia se viola cuando un paquete que pertenece al mismo flujo, existe en el nodo receptor. Con el fin de dispersar paquetes, se describe la implementación de un mecanismo de retardo en cada

50 nodo.

Además, en la solicitud PCT núm. WO 03/028315 A1, se divulga un método para las transmisiones de paquetes de múltiples saltos. En este método, se utiliza una información del estado global para minimizar los retardos de las transmisiones de paquetes en una ruta de múltiples saltos. En particular, se altera un vector de asignación de redes (NAV) en cada nodo de la ruta, para reservar la ruta durante toda la duración de viaje del paquete desde la fuente

hasta el destino.

Tal esquema implica claramente una gran pérdida de rendimiento, ya que solamente hay activo un enlace a la vez a lo largo de la ruta.

Sumario de la invención

5 Es un objeto de la presente invención proporcionar un método y una red inalámbrica de múltiples saltos para mejorar el rendimiento sobre rutas de múltiples saltos de una red inalámbrica de múltiples saltos, en particular utilizando nodos repetidores que tienen menos equipos que los nodos repetidores conocidos.

El objeto se resuelve con un método para transmitir paquetes a través de una red inalámbrica de múltiples saltos. El método comprende los pasos de:

10 a) establecer una ruta (10) de múltiples saltos entre un primer nodo (20) y un segundo nodo (40) utilizando al menos un nodo intermedio (30₁ a 30₂), donde el primer y el segundo nodos están adaptados para funcionar como un nodo fuente y/o de destino, y donde cada nodo intermedio (30₁ a 30₂) está adaptado para almacenar de manera intermedia un número N de paquetes predeterminado, y donde cada nodo intermedio comprende un solo interfaz (33) de radio para transmitir y recibir paquetes a través de un canal inalámbrico de transmisión;

15 b) determinar en cada nodo que tenga un paquete para transmitir, si su nodo contiguo es un nodo intermedio (30₁ a 30₂) y, si es así, si dicho nodo intermedio (30₁ a 30₂) tiene N paquetes almacenados, donde los nodos contiguos están conectados a través de un respectivo enlace por radio;

c) transmitir un paquete desde el nodo respectivo que tiene un paquete para enviar a su nodo intermedio contiguo, solamente si el respectivo nodo intermedio almacena menos de N paquetes, caracterizado por los pasos de:

20 dividir la ruta (10) de múltiples saltos establecida en una pluralidad de grupos de tres nodos contiguos, donde los grupos contiguos comparten un nodo común y

asignar a cada grupo de nodos uno de dos canales diferentes (A, B) de transmisión no solapados, donde los grupos contiguos de nodos tienen asignados canales de transmisión diferentes (A, B) de los dos canales de transmisión diferentes no solapados.

25 c) transmitir un paquete desde el nodo respectivo que tiene un paquete para enviar a su nodo intermedio contiguo, solamente si el respectivo nodo intermedio almacena menos de N paquetes.

30 Con el fin de reducir la complejidad y por tanto los costes de los nodos intermedios utilizados en la red inalámbrica de múltiples saltos, el número predeterminado N de paquetes que pueden ser almacenados en cada nodo intermedio es uno, de manera que se envía solamente un paquete desde un nodo a un nodo intermedio receptor si no hay paquetes en memoria intermedia.

35 El método conduce a diversas buenas propiedades. La primera y más importante propiedad es que la congestión, si ocurre, no implica acumulación de paquetes en un nodo, sino que "congela" todo el flujo, ya que los paquetes chocan unos contra otros. Como consecuencia, la congestión se propaga rápidamente al primer nodo que opera como fuente, lo cual permite cualquier forma de control de flujo en la fuente directamente. Esta propagación proporciona la misma funcionalidad que los mensajes explícitos de contrapresión. Por tanto, desde el punto de vista de las capas de la red, implementadas en los nodos intermedios, la cadena de nodos intermedios se asemeja a una tubería de datos, con un solo cuello de botella en la entrada.

40 Una segunda propiedad importante es que al mantener la memoria intermedia extremadamente pequeña, se pueden reducir drásticamente los tiempos de viaje de los paquetes. Esta es una característica muy importante para aplicaciones de tiempo real. También es útil para los flujos TCP, ya que el rendimiento TCP está directamente relacionado con los tiempos de ida y vuelta. Además, al permitir colas largas en cada nodo, se pueden incluso originar tiempos de expiración del TCP.

45 Con el fin de mantener constante el tiempo de transacción para transmitir paquetes desde un nodo remitente a un nodo receptor, se efectúa el paso b) utilizando un procedimiento de saludo sobre la base de un protocolo MAC, donde cada paquete que ha de enviarse tiene un tamaño fijo. Además, el uso de paquetes de longitud fija permite la sincronización auto-organizada, donde todas las transmisiones de la red inalámbrica de múltiples saltos se inician y terminan aproximadamente al mismo tiempo.

En un modo de realización preferido, el protocolo MAC da soporte al CSMA/CA.

50 Además, el método permite transmitir paquetes en ambas direcciones a lo largo de la ruta establecida. Esto significa que se transmiten paquetes de ida desde el primer nodo al segundo nodo y se transmiten paquetes de vuelta desde el segundo nodo al primer nodo. De acuerdo con un modo de realización preferido, se efectúa la transmisión de

paquetes entre dos nodos intermedios contiguos

i) si uno de los nodos intermedios contiguos tiene un paquete de ida para enviar y el otro nodo intermedio tiene un paquete de vuelta para enviar,

5 ii) si uno de los nodos intermedios contiguos tiene un paquete de ida para enviar y el otro nodo intermedio no tiene ningún paquete almacenado, o

iii) si uno de los nodos intermedios contiguos tiene un paquete de vuelta para enviar y el otro nodo intermedio no tiene ningún paquete almacenado.

10 Por tanto, el método permite manejar flujos de datos bidireccionales sin pérdida de rendimiento. La sincronización auto-organizada permite que el tráfico de vuelta fluya sin interferir con el tráfico de ida. Esta característica se hace posible por medio de la propiedad de la dualidad paquete/hueco del método, cuando los paquetes tienen tamaño fijo y la memoria intermedia de cada nodo intermedio tiene el tamaño uno. Con otras palabras, al desplazar un paquete en un salto hacia delante, es equivalente a desplazar un hueco hacia atrás. Por tanto, se pueden rellenar fácilmente los huecos con tráfico de vuelta, y transportarlo sin cambiar la manera de viajar de los paquetes que van hacia delante.

15 Con el fin de asegurar un suave flujo de paquetes, el tiempo de transacción para intercambiar paquetes entre dos nodos contiguos se mantiene constante.

Con el fin de hacer coincidir el tráfico bidireccional sobre la ruta establecida, tanto el primero como el segundo nodos ajustan el tamaño de los paquetes a enviar, de forma que el tiempo de la transacción para intercambiar paquetes entre dos nodos contiguos se mantiene constante.

20 El esquema de transmisión de paquetes puede ser mejorado aún más inhibiendo a un nodo que ha enviado actualmente un paquete, para que no envíe un paquete adicional durante un intervalo de tiempo predeterminado, es decir, por ejemplo el tiempo de transacción. Esto se puede conseguir, por ejemplo, ampliando el vector de asignación de red (NAV) en el nodo respectivo. Esta regla permite mantener la separación apropiada entre paquetes enviados hacia delante, y hace que los paquetes fluyan de una manera estable no congestionada. El rendimiento en este caso converge hacia el óptimo de un tercio.

25 En el caso en que las interferencias entre los nodos sean altas, la congestión e incluso la colisión en algunos casos se convierten en un problema difícil. Para disminuir la congestión de la ruta y la colisión de paquetes con interferencias altas, la ruta de múltiples saltos establecida se divide en una pluralidad de grupos de tres nodos contiguos, donde los grupos contiguos comparten un nodo común y se asignan dos canales de transmisión diferentes a grupos de nodos contiguos.

30 El problema técnico anteriormente mencionado se resuelve también por medio de una red inalámbrica de múltiples saltos para la transmisión de paquetes sobre al menos una ruta de múltiples saltos. La red inalámbrica de múltiples saltos comprende al menos un nodo fuente, al menos un nodo de destino y una pluralidad de nodos intermedios, donde un nodo fuente, al menos un nodo intermedio y un nodo de destino están adaptados para formar una ruta de múltiples saltos, donde la ruta de múltiples saltos se divide en una pluralidad de grupos de tres nodos contiguos, donde los grupos contiguos comparten un nodo común y cada grupo de nodos tiene asignados uno de dos canales diferentes de transmisión no solapados, donde los grupos de nodos contiguos tienen asignados diferentes canales de transmisión. Además, cada nodo intermedio comprende:

- un medio de almacenamiento para almacenar un número predeterminado N de paquetes;

40 - un solo interfaz de radio para transmitir y recibir paquetes a través de un canal inalámbrico de transmisión;

- medios para la comunicación con un nodo intermedio contiguo, para determinar si el nodo contiguo es capaz de recibir un paquete; y

- medios para transmitir un paquete a través del interfaz con el nodo intermedio contiguo, solamente si el respectivo nodo intermedio almacena menos de N paquetes.

45 Con el fin de reducir la complejidad y por tanto los costes de los nodos intermedios utilizados en la red inalámbrica de múltiples saltos, el medio de almacenamiento está adaptado para almacenar solamente un solo paquete, de manera que solamente se envía un paquete a un nodo intermedio contiguo, si no hay paquetes almacenados.

50 Un nodo intermedio para uso con una red inalámbrica de múltiples saltos comprende un medio de almacenamiento para almacenar un número predeterminado N de paquetes, un solo interfaz de radio para transmitir y recibir paquetes a través del canal inalámbrico de transmisión, medios para la comunicación con un nodo intermedio contiguo para determinar si el nodo contiguo es capaz de recibir un paquete, y medios para transmitir un paquete a través del interfaz al nodo intermedio contiguo, solamente si el respectivo nodo intermedio almacena menos de N

paquetes.

El nodo intermedio, como se ha establecido, utiliza una política de almacenamiento intermedio de acuerdo con la cual puede almacenar solamente un solo paquete.

5 En particular, los nodos intermedios de acuerdo con la invención están esencialmente auto-organizados, y el método se optimiza para flujos pesados de datos que viajan a lo largo de una ruta de múltiples saltos, donde los nodos solamente pueden oírse entre sí si hay una pareja de saltos de distancia entre ellos.

Breve descripción de los dibujos

La invención, junto con sus objetos y ventajas de la misma, puede comprenderse mejor haciendo referencia a la descripción siguiente, tomada conjuntamente con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

10 La figura 1 representa una ruta de múltiples saltos que comprende nodos repetidores, de acuerdo con la presente invención,

La figura 2A representa un diagrama de una transacción unidireccional entre dos nodos repetidores,

La figura 2B representa un diagrama de una transacción bidireccional entre dos nodos repetidores,

La figura 3 representa un ejemplo de flujo de paquetes sobre la ruta de múltiples saltos ilustrada en la figura 1, y

15 La figura 4 representa un ejemplo de esquema de asignación de canales aplicado a la ruta de múltiples saltos ilustrada en la figura 1.

Descripción detallada de la invención

20 Con respecto a la figura 1, se supone que se ha establecido una ruta 10 de múltiples saltos en una red inalámbrica de múltiples saltos, efectuando por ejemplo un protocolo de encaminamiento conocido, de manera que cada flujo de paquetes sigue una ruta predefinida. La ruta 10 de múltiples saltos establecida comprende un nodo fuente 20, una cadena de nodos intermedios, denominados también nodos 30_1 a 30_n , así como un nodo 40 de destino. Los nodos contiguos están conectados a través de un respectivo radioenlace 50. Debe entenderse que la red inalámbrica de múltiples saltos puede comprender una pluralidad de nodos fuente, nodos de destino y nodos repetidores, que pueden participar en diferentes rutas. Nuestro objetivo es transmitir datos tan rápido como sea posible a lo largo de esta ruta 10.

25 En un esquema preferido, la programación de intercambios de paquetes y, más generalmente, la sincronización y concordancia se mantienen localizadas. Esto significa que los nodos 30_1 a 30_n solamente se mantienen en contacto con sus vecinos, y no mantienen la pista de ningún estado global de la ruta 10. Sin embargo, es necesaria alguna organización global para alcanzar el rendimiento óptimo. Una característica central del esquema preferido es que el sistema como un todo converge espontáneamente hacia un estado estable globalmente sincronizado, por medio de interacciones locales entre nodos contiguos solamente. Por tanto, si la ruta 10 de múltiples saltos se interrumpe, recuperará automáticamente su estado sincronizado mientras utiliza meramente nodos repetidores auto-organizados. En la red inalámbrica de múltiples saltos preferida, cada nodo repetidor puede comunicarse solamente con el nodo repetidor anterior y con el siguiente. Por ejemplo, el nodo 30_2 es capaz de comunicarse con el nodo repetidor 30_1 y el nodo repetidor 30_4 (no ilustrado).

30 En el modo de realización preferido ilustrado en la figura 1, la ruta 10 de múltiples saltos utiliza un solo canal para transmitir paquetes en ambas direcciones, es decir, desde el nodo fuente 20 a través de los nodos 30_1 a 30_n , hacia el nodo 40 de destino y viceversa. Como será descrito más adelante con respecto a la figura 4, se puede utilizar también un esquema de dos canales con respecto a la ruta 10, para transmitir datos en una o ambas direcciones. En ambos casos, cada nodo repetidor 30_1 a 30_n comprende solamente un solo interfaz inalámbrico 33 para recibir y transmitir un paquete desde y hacia uno de sus nodos contiguos.

35 Más aún, cada nodo repetidor 30_1 a 30_n puede comprender una memoria, utilizada como memoria intermedia 32. La memoria intermedia 32 está adaptada para no almacenar nunca más de un paquete. Además, cada nodo repetidor 30_1 a 30_n comprende una unidad programable 31 de control denominada en la figura 1 como microprocesador, que está programado para permitir transmisiones hacia un nodo repetidor receptor, solamente si el nodo repetidor receptor no tiene ningún paquete en su memoria intermedia 32. A este método le llamamos política de no almacenamiento intermedio.

40 Para habilitar la propiedad de auto-organización de los nodos, conjuntamente con la política de no-almacenamiento, la capa MAC de cada nodo, incluyendo el nodo fuente 20, el nodo 40 de destino y los nodos repetidores 30_1 a 30_n , genera tramas de la capa MAC que tienen tamaños fijos. Las tramas de la capa MAC de tamaño fijo son denominadas aquí como paquetes también. Al contrario que con los protocolos existentes, se libera la restricción de que los tamaños de los paquetes de la capa de red deban corresponderse con los tamaños de la trama de la capa

MAC. En lugar de eso, los nodos ilustrados en la figura 1 envían tramas MAC de tamaño constante y las rellenan apropiadamente con paquetes de la capa de red.

Se describe ahora en detalle el funcionamiento de la red inalámbrica de múltiples saltos, como se ilustra esquemáticamente en la figura 1.

- 5 Se supone que el nodo fuente 20 almacena paquetes determinados para el nodo 40 de destino y que el nodo 40 de destino puede almacenar paquetes determinados para el nodo fuente 20.

Como se ha explicado anteriormente, no se aborda el problema de encaminamiento en las redes inalámbricas de múltiples saltos. En lugar de eso, se supone que cierto algoritmo de encaminamiento determina la única ruta 10 entre el nodo fuente 20, los nodos repetidores 30_1 a 30_n y el nodo 40 de destino, y que estos nodos intercambian datos. Los nodos repetidores con menores números índice están más cerca del nodo fuente a lo largo de la ruta 10. Par razones de simplicidad, denominamos al nodo 20 nodo fuente y al nodo 40 nodo de destino, aunque algunos datos pueden viajar también desde el nodo 40 de destino al nodo fuente 20. El tráfico desde el nodo fuente 20 al nodo 40 de destino es denominado tráfico de ida, y respectivamente paquetes de ida, y el tráfico desde el nodo 40 de destino al nodo fuente 20, típicamente tal como los acuses o los paquetes de control de la capa de aplicaciones, es denominado tráfico de vuelta, y respectivamente paquetes de vuelta. Algunas veces, por conveniencia, denominaremos al nodo fuente 20 como nodo 0 y al nodo 40 de destino como nodo $n+1$. El nodo fuente 20, los nodos repetidores 30_1 a 30_n y el nodo 40 de destino, en secuencia, forman la ruta 10 de múltiples saltos.

Formación de modelos de la capa física

20 Se describe primero la condición en la cual debe funcionar la red, y las suposiciones que se hacen en la conectividad de la ruta 10 de múltiples saltos.

La primera suposición es que la topología de la ruta 10 es tal que el nodo i , por ejemplo el nodo repetidor 30_2 , puede intercambiar datos solamente con el nodo $i-1$, por ejemplo el nodo repetidor 30_1 , y el nodo $n+1$, por ejemplo el nodo repetidor 30_n (no ilustrado), para todos los $1 \leq i \leq n$, donde el nodo fuente 20 puede intercambiar datos solamente con el nodo repetidor 30_1 y el nodo 40 de destino con el nodo repetidor 30_n . La motivación de esta suposición es que si el nodo i puede transmitir directamente al nodo $i+2$, la ruta 10 debe ser modificada y saltarse el nodo $i+1$.

30 Sin embargo, se supone que los nodos que no pueden intercambiar datos podrían seguir interfiriendo el uno con el otro. Para hacer un modelo de la interferencia, se introduce un parámetro 1 , que es el número entero más pequeño, de forma que para todos los $0 \leq i$ y $j \leq n+1$, $|i-j| > 1$ implica que el nodo i no interfiere con el nodo j . Esto significa que si el nodo i está emitiendo paquetes, el nodo j seguirá siendo capaz de recibir datos desde cualquiera de sus vecinos.

Requisito del protocolo de la capa MAC

Esta invención no cubre la implementación real de un protocolo MAC que realice el método propuesto. En lugar de eso, se ofrece una lista de requisitos que debería cumplir el protocolo MAC para que el método funcione apropiadamente.

- 35 En primer lugar, se supone que el protocolo MAC en cada nodo es del tipo CSMA/CA, y que mantiene baja la probabilidad de colisión de tramas, a pesar del hecho de que los problemas ocultos del terminal pueden tener lugar en la topología descrita anteriormente. Esta condición se realiza típicamente implementando un saludo RTS/CTS.

40 En segundo lugar, se supone que el protocolo MAC hace cumplir la política de no-almacenamiento intermedio. Esto significa que solamente se puede permitir una transmisión de paquetes si la memoria intermedia del nodo receptor está vacía.

Finalmente, se supone que todas las tramas de datos del protocolo MAC tienen el mismo tamaño. No obstante, los tamaños de las tramas para el tráfico de ida y de vuelta podrían ser diferentes, como se ha explicado en relación con la figura 2B. Se supone también que las tramas de control, tal como RTS, CTS ACK y los paquetes similares, son pequeños en comparación con los paquetes de datos.

45 Tráfico unidireccional

50 En el caso en que los datos viajen solamente desde el nodo fuente 20 al nodo 40 de destino, la red funciona como sigue. Los nodos repetidores 30_1 a 30_n mantienen una memoria intermedia de tamaño igual a un paquete, excepto el nodo fuente 20 y el nodo 40 de destino. El nodo fuente 20 recibe datos para ser enviados desde la capa de red, los almacena en su memoria intermedia (no ilustrada), y los organiza en tramas de la capa MAC de tamaño fijo, en adelante denominadas paquetes. Es importante tener en cuenta que todos los paquetes tienen el mismo tamaño.

La transmisión de estos paquetes se realiza utilizando el protocolo MAC que satisface las reglas anteriores. La política de paquetes de tamaño fijo y la de no almacenamiento intermedio es suficiente para asegurar un flujo suave

de los paquetes.

La figura 2A muestra un ejemplo del flujo de los paquetes de control y de datos entre los nodos repetidores 30_1 y 30_2 durante un flujo de tráfico de ida desde el nodo fuente 20 al nodo 40 de destino. Se supone que el nodo repetidor 30_1 almacena un solo paquete de datos.

- 5 En primer lugar, el saludo MAC se realiza entre ambos nodos repetidores 30_1 y 30_2 para permitir que el nodo repetidor 30_1 decida si puede enviar o no un paquete almacenado al nodo repetidor 30_2 . Si el nodo repetidor 30_2 indica al nodo repetidor 30_1 que su memoria intermedia 32 (no ilustrada) está vacía, el nodo repetidor 30_1 envía su único paquete de datos al nodo repetidor 30_2 . Finalmente, el nodo repetidor 30_2 acusa recibo del paquete de datos. Como todos los paquetes intercambiados entre el nodo repetidor 30_1 y el nodo repetidor 30_2 tienen el mismo tamaño, el tiempo de transacción se mantiene constante. De una manera similar, todos los paquetes de datos almacenados en el nodo fuente 20 viajan al nodo 40 de destino.

- 15 La figura 3 muestra un ejemplo de flujo de paquetes desde un nodo fuente a través de 34 nodos repetidores a un nodo de destino, donde una memoria intermedia vacía de un nodo se indica con un „0” y una memoria intermedia que almacena un solo paquete se indica con un „1”. Cada nodo con un solo paquete de datos para enviar hacia delante determina, como se ha descrito anteriormente, si su nodo directamente precedente tiene una memoria intermedia vacía. Si es así, el respectivo nodo reenvía su paquete. Se representan tres pasos sucesivos del flujo de paquetes por las filas de la figura 3.

Tráfico bidireccional

- 20 Si el nodo fuente 20 tiene datos para enviar al nodo de destino y viceversa, se adopta el método siguiente. El nodo fuente 20 y el nodo de destino mantienen una relación de dirección común Θ , que toma valores entre cero y uno, y una gran memoria intermedia adaptada para almacenar una pluralidad de paquetes. Una relación de direcciones de $\frac{1}{2}$ significa que el tamaño de los paquetes de ida enviados desde el nodo fuente 20 al nodo 40 de destino, es idéntico al tamaño de los paquetes de vuelta enviados desde el nodo 40 de destino al nodo fuente 20. Como se ha ilustrado anteriormente, todos los nodos repetidores 30_1 a 30_n comprenden una memoria intermedia 32 de paquetes, pero esta memoria intermedia tiene ahora tres estados posibles: o bien está vacía, o contiene un paquete para enviar si está situada en el nodo fuente 20, o bien contiene un paquete de vuelta, si está situada en el nodo 40 de destino. En general, la relación entre el tamaño de los paquetes de ida y los paquetes de vuelta es exactamente $\Theta/1-\Theta$. Por tanto, el tiempo total de transacción de ambos paquetes de ida y de vuelta conjuntamente, es preferiblemente constante, independientemente del valor de Θ . Los casos extremos en los que $\Theta = 1$ o $\Theta = 0$ se corresponden con el caso del tráfico unidireccional. Una transacción de paquetes entre un nodo i , por el ejemplo el nodo 30_1 , y un nodo $n+1$. por ejemplo el nodo 30_2 , puede tener lugar en tres casos:

1. Si el nodo i tiene un paquete para enviar hacia delante en su memoria intermedia 32 y un nodo $i + 1$ tiene un paquete para enviar hacia atrás.
- 35 2. Si el nodo i tiene un paquete para enviar hacia delante en su memoria intermedia 32 y el nodo $i + 1$ no tiene ningún paquete.
3. Si el nodo i no tiene ningún paquete en su memoria intermedia 32 y el nodo $i+1$ tiene un paquete para enviar hacia atrás.

- 40 Con el fin de determinar si el nodo i , por ejemplo, el repetidor 30_1 y/o el nodo $i+1$, por ejemplo el nodo repetidor 30_2 , pueden intercambiar un paquete de ida y un paquete de vuelta, respectivamente, se intercambian los paquetes de saludo de MAC entre ellos, como se ilustra en la figura 2B.

- 45 En los tres casos, la transacción de los paquetes de ida y/o de vuelta tiene lugar exactamente de la misma manera: el nodo i envía un paquete de ida al nodo $i+1$, si lo hay, y el nodo $i+1$ envía el paquete de vuelta, si lo hay, al nodo i . Sin embargo, el tiempo total de la transacción debe mantenerse constante. Esto puede hacerse enviando tramas vacías cuando no hay que enviar ningún paquete, o ajustando el vector de asignación de la red a este valor constante. De esta manera, cada transacción entre dos nodos consecutivos, por ejemplo, los nodos repetidores 30_1 y 30_2 , consiste en intercambiar paquetes de ida y de vuelta o se proporciona un espacio vacío si falta un paquete de ida o de vuelta. En la figura 2B se ilustra un ejemplo de transacción entre los nodos repetidores 30_1 y 30_2 . Como, por ejemplo, ambos nodos repetidores tienen un paquete para enviar, de acuerdo con el caso 1, el algoritmo de encaminamiento utilizado hace en primer lugar que el nodo repetidor 30_1 envíe su paquete de ida al nodo repetidor 30_2 y después que el nodo repetidor 30_2 envíe su paquete de vuelta al nodo repetidor 30_1 . Finalmente, la transacción termina cuando se envía un paquete de acuse desde el nodo repetidor 30_1 al nodo repetidor 30_2 . Debe indicarse que todos los nodos están controlados por una unidad programable de control, como se ilustra con respecto al nodo repetidor 30_1 de la figura 1.

- 55 Durante la transmisión de paquetes, el nodo fuente 20 y el nodo 40 de destino pueden ajustar su relación Θ si no coincide el tráfico ofrecido. El algoritmo exacto para ajustar este valor está fuera del alcance de esta invención, pero

se ofrecen algunas líneas maestras que debe seguir el algoritmo: si el nodo fuente 20 o el nodo 40 de destino ya no tienen datos que enviar, pero siguen recibiendo datos desde el otro lado, disminuye o aumenta su valor de Θ , es decir, disminuye o aumenta el tamaño de sus paquetes. Después, cuando llegan paquetes de menor o mayor tamaño al otro lado, el nodo final opuesto puede aumentar o disminuir, respectivamente, su tamaño de paquete, es decir, ajustar su relación Θ , para complementar los paquetes opuestos y completar las transacciones.

5

Flujo de tráfico con $l = 1$

En los caso en que $l = 1$, dejando que los paquetes fluyan sobre un solo canal, se llega a una situación congestionada como se ilustra por ejemplo en la figura 3, pero sigue funcionando bastante bien. La teoría predice un rendimiento cercano a un cuarto del ancho de banda nominal del canal. En comparación con el rendimiento óptimo de una ruta de múltiples saltos que es igual a un tercio en este caso, implementar el método en un solo canal es un modo de realización razonable en términos de rendimiento. La ventaja de este modo de realización es su extrema simplicidad.

10

Aunque el método anterior funciona bien, se puede mejorar añadiendo una nueva regla al protocolo MAC. Se supone que el nodo i ha enviado un paquete al nodo $i+1$. Tras completar una transacción con el nodo $i+1$, el nodo i rechaza las transacciones con el nodo $i-1$ durante un periodo igual a la duración de una transacción. Esto puede conseguirse por ejemplo ampliando el vector de asignación de la red (NAV).

15

Esta regla permite mantener la separación apropiada entre los paquetes de ida, y hace que el flujo de paquetes sea estable de una manera no congestionada. El rendimiento en este caso converge hacia el óptimo de un tercio.

Transmisión de paquetes por dos canales

En el caso en que las interferencias sean altas, la congestión e incluso la colisión en algunos casos se convierten en un problema difícil. Una solución consiste en utilizar dos canales de transmisión diferentes no solapados, como se ilustra en la figura 4. La figura 4 es similar a la figura 1, y representa una ruta de múltiples saltos que comprende el nodo fuente 20, siete nodos repetidores 30_1 a 30_7 y un nodo 40 de destino. Un ejemplo de asignación de canales a los grupos de nodos es como sigue: las transacciones de paquetes entre los nodos 20, 30_1 y 30_2 tiene lugar en el primer canal B, las transacciones de paquetes entre los nodos 30_2 , 30_3 y 30_4 tienen lugar en el segundo canal A, las transacciones entre los nodos 30_4 , 30_5 y 30_6 tiene lugar en el primer canal B nuevamente, y así sucesivamente. Por tanto, los nodos repetidores con un número índice par tienen que conmutar desde el primer canal al segundo canal y viceversa, dependiendo de la transacción que estén realizando actualmente. Ha de indicarse que en un modo de realización preferido, cada nodo tiene solamente un interfaz de radio y está adaptado para enviar tanto los paquetes de ida como los de vuelta.

20

25

30

La principal propiedad de este esquema es que no hay fenómeno de congestión si $l = 2$. Esto es debido al hecho de que las transmisiones nunca interfieren entre sí, aun cuando se utilicen solamente dos canales. Por tanto, el rendimiento de este esquema es siempre óptimo, y es igual a la mitad de la capacidad nominal de un canal.

REIVINDICACIONES

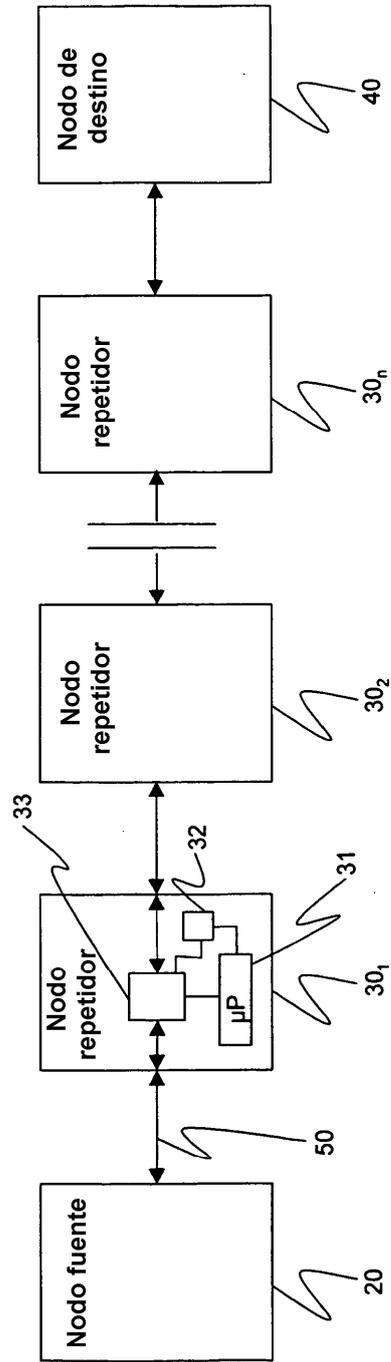
1. Un método para transmitir paquetes a través de una red inalámbrica de múltiples saltos, que comprende los pasos de:
 - 5 a) establecer una ruta (10) de múltiples saltos entre un primer nodo (20) y un segundo nodo (40) utilizando al menos un nodo intermedio (30₁ a 30₂), donde el primer y el segundo nodos están adaptados para funcionar como un nodo fuente y/o de destino, y donde cada nodo intermedio (30₁ a 30₂) está adaptado para almacenar de manera intermedia un número N de paquetes predeterminado, y donde cada nodo intermedio comprende un solo interfaz (33) de radio para transmitir y recibir paquetes a través de un canal inalámbrico de transmisión;
 - 10 b) determinar en cada nodo que tenga un paquete para transmitir, si su nodo contiguo es un nodo intermedio (30₁ a 30₂) y, si es así, si dicho nodo intermedio (30₁ a 30₂) tiene almacenados N paquetes, donde los nodos contiguos están conectados a través de un respectivo enlace por radio;
 - c) transmitir un paquete desde el nodo respectivo que tiene un paquete para enviar a su nodo intermedio contiguo, solamente si el respectivo nodo intermedio almacena menos de N paquetes, caracterizado por los pasos de:
 - 15 dividir la ruta (10) de múltiples saltos establecida en una pluralidad de grupos de tres nodos contiguos, donde los grupos contiguos comparten un nodo común y
 - asignar a cada grupo de nodos uno de dos canales diferentes (A, B) de transmisión no solapados, donde los grupos contiguos de nodos tienen asignados canales de transmisión diferentes (A, B) de los dos canales de transmisión diferentes no solapados.
2. El método de la reivindicación 1, en el que el número predeterminado N de paquetes es uno, de manera que solamente se envía un paquete a un nodo intermedio si no hay ningún paquete almacenado.
3. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que el paso b)) se efectúa utilizando un procedimiento de saludo sobre la base de un protocolo MAC y donde cada paquete que ha de enviarse tiene un tamaño fijo.
4. El método de la reivindicación 3, en el que el protocolo MAC da soporte al CSMA/CA.
5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los paquetes de ida son transmitidos desde el primer nodo (20) al segundo nodo (40) y se transmiten los paquetes de vuelta desde el segundo nodo (40) al primer nodo (20), comprendiendo el método los pasos de:
 - 25 se efectúa la transmisión de paquetes entre dos nodos intermedios contiguos (30₁ a 30₂)
 - i) si uno de los nodos intermedios contiguos tiene un paquete de ida para enviar y el otro nodo intermedio tiene un paquete de vuelta para enviar,
 - 30 ii) si uno de los nodos intermedios contiguos tiene un paquete de ida para enviar y el otro nodo intermedio no tiene ningún paquete almacenado, o
 - iii) si uno de los nodos intermedios contiguos tiene un paquete de vuelta para enviar y el otro nodo intermedio no tiene ningún paquete almacenado.
6. El método de la reivindicación 5, en el que el tiempo de transacción para intercambiar paquetes entre dos nodos contiguos es constante.
7. El método de la reivindicación 6, que comprende el paso de ajustar en el primer y segundo nodos (20, 40) el respectivo tamaño fijo de los paquetes a enviar, de forma que el tiempo de transacción para intercambiar paquetes entre dos nodos contiguos se mantiene constante.
8. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que un nodo que ha enviado un paquete queda inhibido de enviar un paquete adicional durante un periodo de tiempo predeterminado.
9. El método de la reivindicación 8, en el que el intervalo de tiempo se fija en el tiempo de transacción.
10. Una red inalámbrica de múltiples saltos para transmitir paquetes sobre al menos una ruta (10) de múltiples saltos, que comprende al menos un nodo fuente (20), al menos un nodo (40) de destino, y una pluralidad de nodos intermedios (30₁ a 30₂), donde un nodo fuente (20), al menos un nodo intermedio (30₁ a 30₂), y un nodo (30) de destino, están adaptados para establecer una ruta (10) de múltiples saltos,
 - 45 comprendiendo cada nodo intermedio (30₁ a 30₂):
 - un medio (32) de almacenamiento para almacenar un número predeterminado N de paquetes,

- un solo interfaz (33) de radio para transmitir y recibir paquetes a través de un canal inalámbrico de transmisión;
- medios (31) para la comunicación con un nodo intermedio contiguo, para determinar si el nodo contiguo es capaz de recibir un paquete, donde los nodos contiguos están conectados a través de un respectivo radioenlace; y
- medios para transmitir un paquete a través del interfaz (33) al nodo intermedio contiguo, solamente si el respectivo nodo intermedio almacena menos de N paquetes, caracterizada por que

5 la ruta (10) de múltiples saltos se divide en una pluralidad de grupos de tres nodos contiguos, donde los grupos contiguos comparten un nodo común, y

10 cada grupo de nodos tiene asignado uno de dos canales de transmisión diferentes no solapados (A, B), donde los grupos contiguos de nodos tienen asignados diferentes canales (A, B) de transmisión de los dos canales de transmisión diferentes no solapados.

11. La red inalámbrica de múltiples saltos de la reivindicación 10, en la que el medio (32) de almacenamiento está adaptado para almacenar solamente un solo paquete, de manera que se envía un paquete solamente al nodo intermedio, si no hay ningún paquete almacenado.



10

Fig. 1

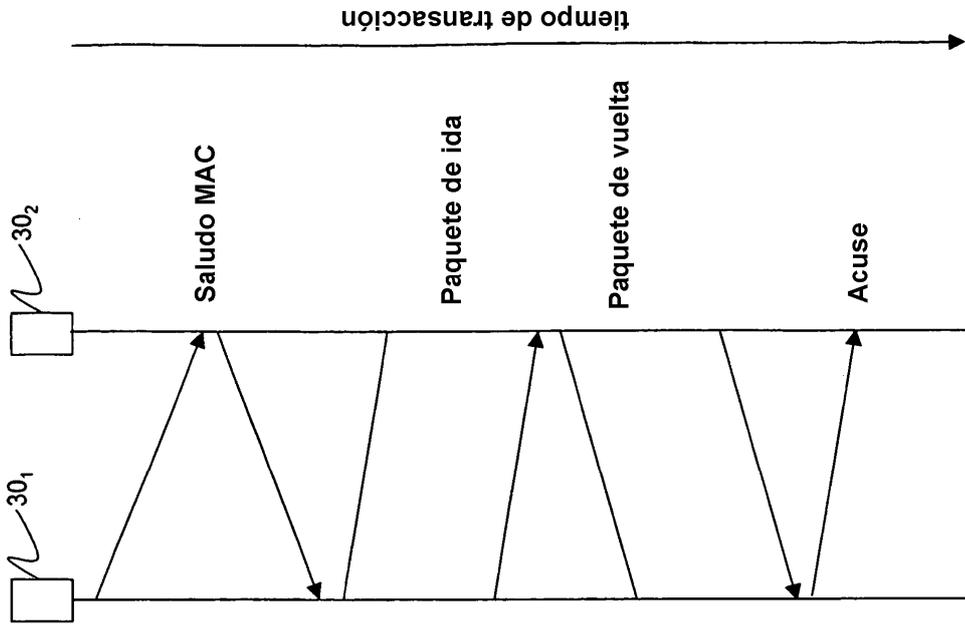


Fig. 2B

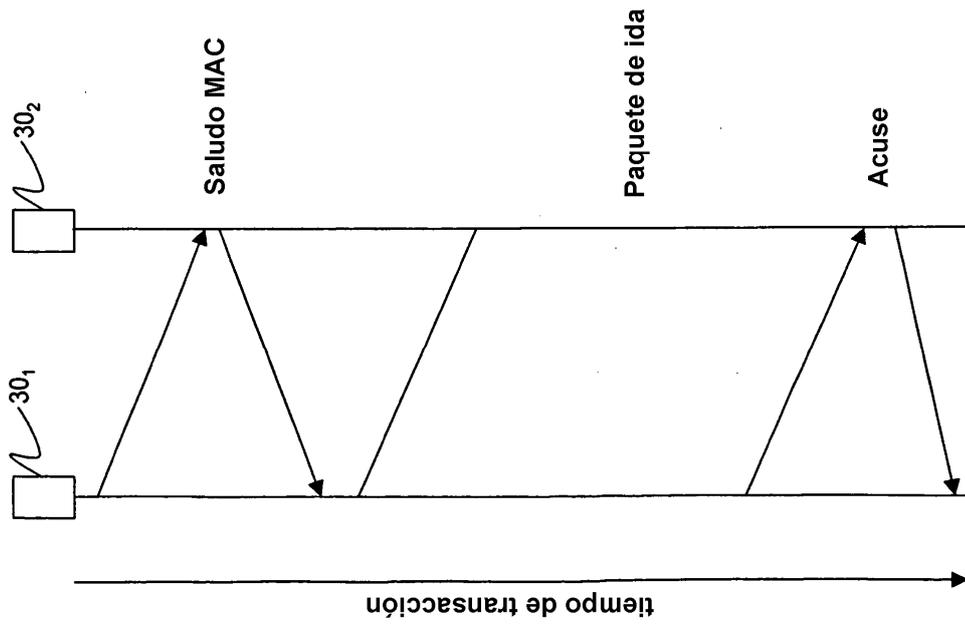


Fig. 2A

111011011101110100100010000100100000

110110111011101100010001000010010000

101101110111011010001000100001001000

Fig. 3

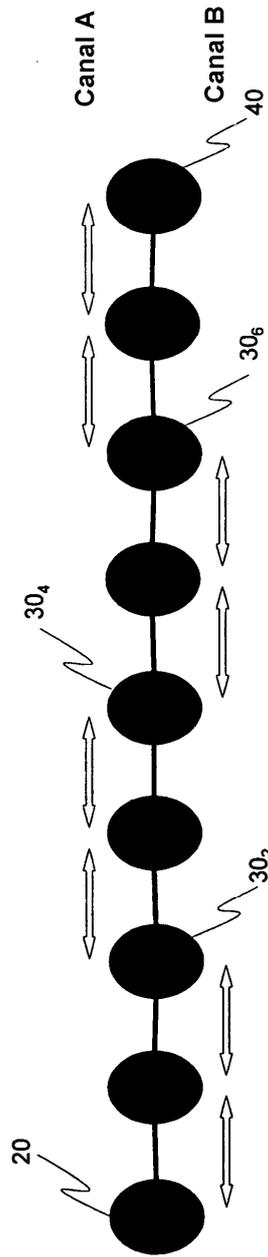


Fig. 4