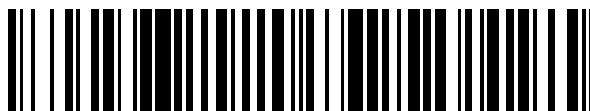


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 418 364**

51 Int. Cl.:

H04L 12/70 (2013.01)

H04L 12/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2003** **E 03786481 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2013** **EP 1698117**

54 Título: **Método y sistema para enrutamiento eficiente en redes Ad Hoc**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.08.2013

73 Titular/es:
TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)
(100.0%)
164 83 Stockholm , SE

72 Inventor/es:
AXELSSON, LEIF;
HONDA, YOSHIO;
URABE, KENZO y
ODA, TOSHIKANE

74 Agente/Representante:
DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 418 364 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

Método y sistema para enrutamiento eficiente en redes Ad Hoc

5 *Campo de la Invención*

La presente invención se refiere a un sistema, un método y un aparato de enrutamiento, en particular para una red basada en ad hoc en un entorno móvil o estático que utiliza diversidad de rutas junto con un modelo de enrutamiento predictivo.

10 *Antecedentes de la Invención*

La comunicación inalámbrica entre usuarios móviles está resultando cada vez más popular según se desarrollan los dispositivos y la tecnología. La implantación de la infraestructura se está expandiendo tanto dentro de los sistemas de telecomunicación como de los sistemas de red de datos. También en la actualidad, los sistemas de comunicación que utilizan redes conmutadas por paquetes son cada vez más numerosos y la tendencia es clara hacia este esquema de enrutamiento basado en paquetes. Este sistema ha sido usado durante muchos años en los sistemas basados en red de datos y por lo tanto existen muchos protocolos de enrutamiento estandarizados para este propósito. Sin embargo, no están preparados para cambiar rápidamente las topografías de las redes como por ejemplo las llamadas redes ad hoc.

20 Las redes ad hoc inalámbricas se caracterizan porque la red no tiene la misma naturaleza estática que una infraestructura de red alámbrica ordinaria pero la red basada en ad hoc no tiene un control centralizado y se crea con frecuencia de una manera espontánea. Ésta mantiene el control a través de un concepto descentralizado. Los nodos serán instalados o desconectados de una manera no controlada en comparación con arquitecturas de red estándar fijas; los nodos pueden ir y venir rápidamente, lo que conduce a una topología de red que cambia de forma dinámica. En algunos casos, tales redes ad hoc son formadas por los propios dispositivos de usuario/cliente como componentes de la infraestructura. Estos componentes son entonces verdaderamente móviles en el sentido de que los usuarios se desplazan, dentro y fuera de la célula de red, y por lo tanto la infraestructura se moverá consiguientemente. Ésta es una forma excitante de construcción de una infraestructura pero supone demandas muy altas sobre el protocolo de enrutamiento.

30 Otros problemas de un entorno de infraestructura inalámbrica son debidos a cuestiones específicas de radio que degradarán el comportamiento y la eficiencia del flujo de la red. Pueden existir problemas de desvanecimiento debido al movimiento de los nodos de la infraestructura o al movimiento de objetos en el entorno de radio, y pueden existir problemas debido a la interferencia de otras fuentes de radio dentro del alcance.

35 Estas clases de topografías de red han sido usadas en el entorno militar pero en la actualidad han migrado también hacia el área civil. Los sistemas inalámbricos son usados en la actualidad para construir rápidamente áreas de infraestructura, por ejemplo acceso inalámbrico de banda ancha en áreas residenciales o en áreas comerciales. Se pueden usar para construir una infraestructura temporal, por ejemplo en situación de emergencia, en una zona de desastre, o en el campo de batalla con propósitos militares. También se pueden usar para construir zonas de cobertura de acceso temporal durante eventos tales como, por ejemplo, conciertos, conferencias, reuniones, o zonas de turismo estacional. En estas clases de áreas, no es necesario tener cobertura durante todo el año, sino solamente durante períodos específicos.

45 En la actualidad, varios Proveedores de Servicio de Internet (ISP) ofrecen acceso inalámbrico a áreas públicas o semi-públicas tales como aeropuertos, restaurantes, cafeterías y hoteles, usando sistemas fijos de infraestructura inalámbrica. Estos sistemas son denominados con frecuencia puntos calientes.

50 Puesto que la demanda de los usuarios por ganar acceso se incrementa considerando la cobertura y el ancho de banda, una forma de expansionar el área de cobertura inalámbrica o el ancho de banda consiste en instalar más componentes de infraestructura; sin embargo, hacer esto con componentes inalámbricos normales fijos es caro y por ello ha surgido la idea de construir redes usando enrutadores inalámbricos. En este caso, se pueden usar protocolos de enrutamiento ad hoc para disponer de un procedimiento de instalación simplificado.

55 Existen básicamente dos clases de usos de red cuando se discute de redes ad hoc; la primera consiste en la construcción de una red de área local sin ninguna puerta de acceso externa que proporcione acceso a una red externa, por ejemplo Internet. Este esquema puede ser encontrado en instalaciones relacionadas con zonas de desastre o en instalaciones militares en el campo de batalla. El otro uso, y probablemente el más común, se refiere a cuando una o varias puertas de acceso proporcionan a la red conexiones externas a, por ejemplo, una red (privada o pública, por ejemplo Internet) basada en IP. En tal configuración de red, los paquetes de datos pueden tomar rutas diferentes y/o usar diferentes puertas de acceso dependiendo de, por ejemplo, el tipo de tráfico de datos, las congestiones o los costes de enrutamiento.

65 Los esquemas de enrutamiento basados en paquetes construyen con frecuencia sistemas de redes de comunicación en torno a un modelo por capas, por ejemplo el modelo de referencia OSI (Interconexión de Sistemas

Abiertos). El software o el hardware de comunicación se dividen en varias capas, subunidades más pequeñas, trabajando de manera jerárquica. Los parámetros de control de información y de comunicación se hacen pasar arriba y abajo localmente y entre las mismas capas entre los extremos de envío y de recepción. Cada una de tales capas es responsable de diferentes tareas en el orden de comunicación. Con respecto al enrutamiento, las tres primeras capas según el modelo de referencia OSI son las más importantes.

La Capa 1 es responsable de la transmisión física de bits de datos; ejemplos de medios físicos pueden ser, por ejemplo, el enlace alámbrico de una red basada en Ethernet o en un enlace inalámbrico en una Red Inalámbrica de Área Local (WLAN).

La Capa 2 se denomina con frecuencia Capa de Enlace, y es responsable de la transmisión de bloques de datos, detección de error, y coordinación de recursos de red.

La Capa 3 se denomina con frecuencia Capa de Red o a veces capa MAC; es responsable de habilitar comunicación entre cualquier par de nodos de una red. Esta capa se encarga, por ejemplo, de los cálculos de enrutamiento y del control de congestión. A este efecto, se han desarrollado diferentes protocolos de enrutamiento dependiendo del tipo de red.

Los protocolos de enrutamiento de paquetes en las redes basadas en IP se basan por lo general en algoritmos de enrutamiento que utilizan información de vector de distancia o de estado de enlace para encontrar y mantener una ruta para cada par de nodos fuente y destino en la red. En principio, en los algoritmos de enrutamiento de vector de distancia, cada enrutador emite la distancia a todos los anfitriones a sus enrutadores contiguos, y cada enrutador que recibe la información calcula la ruta más corta a cada uno de los anfitriones de la red. En los algoritmos de enrutamiento de estado de enlace, cada enrutador emite la información de estado de cada uno de sus enlaces de red adyacentes hasta sus enrutadores contiguos, y cada enrutador que recibe la información mantiene la base de datos de la imagen completa de la red a partir de la información de estado de enlace y calcula la ruta más corta a cada anfitrión en base a los costes de enlace en la base de datos. Estos algoritmos de enrutamiento están diseñados para redes relativamente estáticas y de ese modo se deben diseñar nuevos algoritmos de enrutamiento para redes ad hoc cuya topología cambia con frecuencia.

Se conocen básicamente dos categorías de protocolos de enrutamiento existentes para redes ad hoc. Éstos son protocolos de enrutamiento "proactivo" (basados en tabla) y "reactivo" (bajo demanda). También son posibles protocolos que tienen combinaciones de estos 'protocolos.

Los protocolos de enrutamiento proactivo calculan constante y periódicamente una ruta para todos los anfitriones de una red ad hoc, y por tanto se encuentra siempre disponible una ruta cuando un paquete de datos necesita ser enviado a un anfitrión con destino particular. Estos resultados se mantienen en tablas de enrutamiento en todos los elementos de la infraestructura.

Con el fin de mantener rutas a cada anfitrión, se intercambian mensajes de control entre los enrutadores para notificar cambios en la configuración de red y en el estado de enlace. Los protocolos de enrutamiento de vector de distancia y de estado de enlace, son ambos clasificados en la categoría de protocolos proactivos. Se debe apreciar que los mensajes de control conducen a sobrecarga y pueden dar como resultado una eficacia de red reducida. También, los protocolos proactivos pueden tener dificultades para mantener rutas válidas cuando la topología de red cambia con frecuencia.

El DSDV (Enrutamiento de Vector Distancia Secuenciado en Destino) es un protocolo de enrutamiento proactivo basado en el algoritmo de vector de distancia, que adapta el Protocolo de Información de Enrutamiento (RIP) a redes ad hoc. Cada nodo mantiene una tabla de enrutamiento en la que el nodo almacena el siguiente nodo de salto y conteo de salto a cada uno de todos los anfitriones de destino alcanzables. En DSDV, cada nodo emite o multidifunde actualizaciones de enrutamiento periódicamente, o cuando detecta cambios en la topología de red. Las actualizaciones incrementales, que actualizan sólo información acerca de los cambios a partir de la última actualización, son utilizadas también para reducir el tráfico de control.

Un protocolo reactivo solamente realiza intercambio de mensajes de control para encontrar/actualizar una ruta cuando existe un paquete de datos que debe ser enviado. Cuando un nodo fuente desea enviar paquetes de datos, inicia el protocolo de control para encontrar una ruta enviando un mensaje de solicitud de ruta a sus nodos contiguos. Mediante este principio, la alternativa reactiva es buena ya que no se desaprovechan recursos de red cuando no existen paquetes para ser transportados. Sin embargo, necesita un tiempo más largo para enviar los paquetes cuando se debe formar una ruta por primera vez. El AODV y el DSR son protocolos reactivos representativos.

El protocolo AODV (Enrutamiento de Vector de Distancia por Demanda Ad hoc) utiliza el algoritmo DSDV y crea/actualiza rutas sobre la base de bajo demanda, es decir, solamente cuando un nodo fuente desea enviar un paquete de datos. Esto conduce a la reducción del número de emisiones necesario para encontrar/actualizar una

ruta.

En AODV, cada nodo mantiene una lista de nodos contiguos detectados. La lista de contiguos se actualiza de una de las tres maneras siguientes: a) cuando se recibe un paquete desde el nodo contiguo, b) mediante la recepción de un anuncio local, es decir, un mensaje de hola, desde el nodo contiguo, o c) mediante retroalimentación desde la capa de enlace. Los mensajes de hola son emitidos periódicamente desde cada nodo hasta sus nodos contiguos para informarles sobre su presencia.

En AODV, cada nodo mantiene una tabla de enrutamiento para todos los destinos, estando cada nodo ya sea en comunicación con, o ya sea reenviando paquetes de datos en nombre de, otros nodos. Para cada destino, existe una entrada en la tabla de enrutamiento que contiene información acerca del destino, tal como la dirección de IP, el número de secuencia para el nodo de destino, el conteo de saltos hasta el destino, el siguiente nodo de salto hacia el destino, y la vida útil de la ruta.

Cuando un nodo desea comunicar con un nodo de destino, es decir, enviar paquetes de datos hasta el destino, entonces el nodo fuente inicia un mecanismo de descubrimiento de ruta, donde el nodo fuente emite una petición de ruta (RREQ) a todos los nodos contiguos detectados. Cuando el nodo contiguo recibe el mensaje de RREQ y tiene la entrada para una ruta de refresco suficiente para ese destino en su tabla de enrutamiento, entonces envía de vuelta un mensaje de respuesta de ruta (RREP) al nodo fuente. Si el nodo contiguo no encuentra una entrada de ruta para ese destino, entonces reenvía el mensaje de RREQ a sus nodos contiguos detectados. Cuando el nodo de destino recibe el RREQ, devuelve el mensaje de RREP al nodo fuente.

En el proceso de reenvío del paquete de RREQ, cada nodo intermedio registra la dirección de IP del nodo contiguo desde el que se ha recibido la primera copia del RREQ emitido, mediante la que se establece una ruta inversa. Las copias de los mismos mensajes de RREQ recibidos con posterioridad son desechadas en su totalidad. Los nodos intermedios añaden una entrada a su tabla de enrutamiento para el destino, donde el nodo contiguo desde el que se recibió el RREP es registrado como el siguiente nodo de salto para ese destino. El número de secuencia de destino y la vida útil de la ruta son copiados a partir del RREP y registrados en la entrada. Cuando el mensaje de RREP es devuelto al nodo fuente finalmente, se forma una ruta de envío desde la fuente hasta el destino.

Cuando un nodo detecta que una ruta no está disponible por fallo del enlace incidente por la ruta, envía un mensaje de error (RERR) a todos los nodos contiguos, que usan la ruta. El mensaje de RERR es enviado a sus nodos contiguos y así hasta que alcanza el nodo fuente. El nodo fuente puede decidir a continuación ya sea detener el envío de paquetes de datos o ya sea iniciar el descubrimiento de una nueva ruta.

El protocolo DSR (Enrutamiento de Fuente Dinámica) utiliza un mecanismo de enrutamiento de fuente en el que el nodo fuente determina la secuencia completa de nodos a lo largo de la ruta sobre una base de bajo demanda, y establece la lista de nodos intermedios en la cabecera del paquete para indicar la secuencia de nodos para la ruta. De ese modo, cada paquete tiene que transportar la sobrecarga para enrutamiento de paquete. Sin embargo, los nodos intermedios no necesitan mantener ninguna información acerca de la ruta y pueden aprender rutas cuando suministran paquetes de datos.

En DSR, cada nodo almacena (mete en memoria caché) las rutas que ha aprendido. Cuando un nodo fuente desea enviar paquetes de datos a un nodo de destino y no tiene ninguna entrada en la memoria caché para ese destino, entonces inicia un mecanismo de descubrimiento de ruta emitiendo un mensaje de RREQ por su capa de enlace. Cada nodo que recibe el mensaje de RREQ añade sus direcciones de IP al mensaje de RREQ y a continuación lo reenvía adicionalmente. Este proceso se hace hasta que se encuentra la ruta hasta el destino u otro nodo pueda proporcionar una ruta hasta el nodo de destino. Entonces, se devuelve hasta el nodo fuente un mensaje de respuesta de ruta (RREP) que contiene la secuencia de saltos de red hasta el nodo de destino.

En DSR, cuando se detecta un fallo de enlace en un nodo (es decir, cuando el paquete ha sido retransmitido un número máximo de veces), ese nodo elimina el enlace de su caché de rutas y envía un mensaje de error de ruta (RRER) a cada uno de los nodos que hayan usado ese enlace desde que se recibiera el último acuse de recibo. Estos nodos tienen que eliminar las rutas que incluyan ese enlace. La retransmisión del paquete de datos desde el nodo fuente es manejada a continuación por capas superiores tales como el Protocolo de Control de Transmisión (TCP).

En protocolos de enrutamiento ad hoc que utilizan tiempo de expiración de enlace y carga de tráfico de los nodos, el tiempo de expiración de enlace se define como el intervalo de tiempo durante el que la distancia de dos nodos determinados se mantiene más corta o igual que la distancia efectiva de radio. En este protocolo de enrutamiento, se utiliza la métrica como un coste de cada enlace, y el nodo trata de encontrar una ruta de mínimo coste, esperando que la vida útil de esa ruta sea más larga y con ello se pueda reducir la frecuencia de actualización de ruta y la sobrecarga debida a tráfico de control y se incremente el rendimiento global de la transferencia de paquetes de datos.

En este protocolo, la carga de tráfico de un nodo está representada por una tasa de ocupación del nodo durante un período de tiempo dado. Una ruta que tenga la menor carga de tráfico de los nodos se elige en un algoritmo de selección de ruta. Se espera que el algoritmo pueda conducir a un mejor equilibrio de carga de la red, es decir, pueda evitar concentración de tráfico respecto a nodos particulares de la red.

Cuando se usan métodos convencionales de enrutamiento de red ad hoc en redes de comunicación de radio móviles, se pueden presentar algunos problemas. Un problema consiste en que dado que los usuarios son móviles, éstos se desplazarán y el sistema experimentará cambios en la calidad de radio debidos, por ejemplo, a desvanecimiento, pérdida de propagación, y generación de sombras. Esto es también cierto si el sistema de infraestructura consiste en elementos móviles, por ejemplo si el equipo del cliente forma parte de la infraestructura. Incluso en un sistema con componentes de infraestructura inalámbrica fijos, pueden ocurrir esos problemas debido, por ejemplo, a vehículos u otros objetos que bloqueen temporalmente la trayectoria de la señal entre dos componentes de la infraestructura, lo que conduce a cambios de la calidad del enlace de radio. Las principales preocupaciones respecto a estos tipos de problemas surgen cuando éstos cambian de forma más rápida que la frecuencia de actualización de la tabla de enrutamiento o que los cambios de trayectoria de enrutamiento.

Si se trata de resolver los problemas mencionados anteriormente incrementando la frecuencia de actualización de la información de enrutamiento, en algún momento se empezará a degradar la eficacia de transmisión, debido a que la actualización de la información de enrutamiento ocupará una parte sustancial del volumen de transmisión posible de datos en el medio.

En la solicitud de Patente U.S. 2003/0120809 se describe un sistema que detecta fuentes de interferencia en una red escuchando señales no autorizadas en la banda de frecuencia de uso, en este caso la banda ISM de 2,4 GHz. En este documento existe un foco principal de problemas que surgen en una capa de red y menos en la capa de radio. El documento describe solamente una adaptación al estado actual y no se da relevancia a la naturaleza posiblemente entrante del estado de enlace. El sistema trata de adaptar la ruta del paquete para reducir consiguientemente los efectos de la interferencia. La solución está enfocada a detectar solamente interferencia y el problema se resuelve ajustando la posición y la dirección de la antena de nodos cercanos al interferente con el fin de reducir la cobertura de radio hacia la fuente de interferencia.

En la Patente U.S. 5.537.394 se introduce una función de predicción de estado para una solución de red fija. La solución incluye grandes cálculos estadísticos de información a partir de una función de monitorización de estado. Los cálculos estadísticos se hacen para la interpretación de las implicaciones del sistema de red completo y no pueden ser ajustados fácilmente para una red ad hoc, y en particular no pueden serlo para una red inalámbrica ad hoc.

La publicación de solicitud de Patente U.S. núm. 2003/131856 va dirigida a un sistema de compartimiento y equilibrio de carga dinámica para una red inalámbrica acoplada a una red alámbrica. El sistema incluye un enrutador de red para acoplar una pluralidad de trayectorias de red alámbrica y para proporcionar información de estado para la pluralidad de trayectorias de red alámbricas y una pluralidad de radios de banda ancha que forman una pluralidad de trayectorias de frecuencia de radio y para proporcionar información de estado para cada una de la pluralidad de trayectorias de radio. El sistema comprende además un módulo de arbitraje de red para recibir la información de estado desde la pluralidad de trayectorias de red alámbrica y para recibir información de estado desde al menos una de la pluralidad de trayectorias de frecuencia de radio y para dirigir tráfico entre la pluralidad de trayectorias de radio en base a la información de estado desde las trayectorias de red alámbrica y la pluralidad de trayectorias de frecuencia de radio.

Sumario de la Invención

Un objeto de la presente invención consiste en proporcionar un método de enrutamiento ad hoc que reduce algunos de los problemas mencionados anteriormente, introduciendo un método de diversidad de ruta en colaboración con un control de enrutamiento predictivo.

Tomando periódicamente mediciones de la propiedad de canal de radio, calidad de enlace u otros parámetros importantes del enlace, es posible analizar el estado de red/enlace. Esta información se hace pasar a un elemento de procesamiento de enrutamiento que utiliza esta información para decidir sobre el tipo de calidad de señal y monitoriza a tiempo los cambios del estado de enlace. El elemento de procesamiento puede extrapolar las tendencias medidas y predecir los cambios de calidad de la señal, y responder así consecuentemente de una manera apropiada para usar de manera eficiente los recursos de red disponibles.

Conociendo el estado de enlace entre nodos en rutas disponibles, se puede introducir una función de transmisión doble o múltiple donde un paquete de datos es enviado a través de al menos dos rutas diferentes y combinado en destino. Existe una posibilidad de que uno de los paquetes de datos sea transferido intacto mayor que la posibilidad de que el paquete sea enviado solamente a través de una ruta. Utilizando el método de adquisición de estado y el modelo predictivo, es posible incluso sacar mejor ventaja del esquema de diversidad de ruta. Esto se hace seleccionando al menos dos rutas diferentes con buen estado de enlace seleccionado a partir de las mediciones del

estado de enlace.

Otra posibilidad que usa el método de diversidad de ruta consiste en enviar un paquete de datos por dos rutas diferentes con bits sistemáticos y bits de paridad introducidos en el paquete de datos original y en el copiado, respectivamente. En ese caso es posible combinar los dos paquetes en destino y manejar errores usando control de bit de paridad. También en este ejemplo el método puede ser incluso mejorado usando la información de estado de enlace adquirida y las predicciones de estado de enlace.

La información de propiedad de canal obtenida a partir de la capa 1 como modelo de referencia de red de OSI, es transportada, junto con la información de calidad de enlace obtenida desde la capa 2, a la capa 3 en donde se sitúa la programación de control y tráfico de enrutamiento. La información medida y obtenida se almacena y se analiza en cuanto a tendencias en la calidad/estado de enlace entre nodos contiguos disponibles y nodos de dentro del área de la red que forma parte del esquema de enrutamiento del nodo actual. A partir de todo esto, el protocolo de enrutamiento ad hoc decide sobre trayectorias apropiadas para los paquetes de datos que han de ser enviados.

La información acerca de las propiedades del canal y de la calidad de enlace puede ser obtenida mediante medición de varios parámetros diferentes. Ejemplos de esta clase de parámetros puede ser la expansión Doppler de la señal de radio debido al desvanecimiento de la señal de radio, pudiendo consistir una alternativa diferente a todo esto deducir el tiempo de coherencia de la señal de radio, la velocidad de variación de la señal recibida, o la relación de la señal respecto al ruido de interferencia.

El uso de esta clase de comportamiento predictivo es independiente del tipo de protocolo de enrutamiento ad hoc que se utilice.

En una realización, un método de enrutamiento eficiente es una red de comunicación inalámbrica de salto múltiple, en donde los paquetes de datos son enrutados por trayectorias de transmisión utilizando las siguientes etapas: proporcionar información de enlace adquiriendo dicha información de enlace que comprende estado de enlace y calidad de enlace entre nodos de la red, actualizar un elemento (101) de enrutamiento con dicha información de enlace; caracterizado por: determinar posibles rutas con información de enlace esencialmente similar para dichos paquetes de datos en base a un estado de enlace futuro cercano pronosticado entre nodos de la red, en donde dicho estado de enlace futuro cercano pronosticado comprende características de estado de enlace para una gama larga que cubre varias tramas de tráfico y para una gama corta que cubre varios símbolos o bits transmitidos, y enrutar dichos paquetes de datos a través de rutas determinadas.

El método comprende además la etapa de combinar dichos paquetes de datos una vez que los paquetes de datos hayan alcanzado un nodo de destino a través de las rutas determinadas.

El método comprende además la etapa de enrutar bits de paridad a efectos de detección de error y de corrección de error, en donde los bits de paridad son introducidos en uno de dichos paquetes de datos a efectos de detección de error y de corrección de error.

El método comprende además la etapa de usar un sistema de transmisión en base a radiación electromagnética con una frecuencia comprendida en la gama de 100 kHz a 100 PHz dentro de la red de comunicaciones inalámbricas.

El método comprende además la etapa de usar dicho sistema de transmisión a partir de uno o más de los estándares de radio siguientes dentro de la red de comunicaciones inalámbricas: IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, 16 HiperLAN, HomeRF, Bluetooth, IR, UWB, JTRS, 3G, GPRS y EDGE.

En otro ejemplo de realización, un nodo (800) de una red de comunicación que tiene una pluralidad de nodos, comprendiendo dicho nodo: medios (801) de procesamiento para procesar la información de control de red recibida, medios (802) de almacenamiento para almacenar la información de control de red, medios (805) de transmisión para transmitir paquetes de datos, y medios (3001) de adquisición de estado de enlace para adquirir información de enlace que comprende estado de enlace y calidad de enlace entre nodos contiguos, en donde el nodo comprende además un medio de determinación, caracterizado por: medios (3002) de determinación que utilizan la información de enlace adquirida y la información de control de red para determinar al menos dos rutas hasta un destino para enrutamiento de un paquete de datos en base al estado de enlace futuro cercano pronosticado entre nodos de la red, en donde dicho estado de enlace futuro cercano pronosticado comprende características de estado de enlace para una gama larga que cubre varias tramas de tráfico y para una gama corta que cubre varios símbolos o bits transmitidos, y medios de enrutamiento para enrutar dichos paquetes de datos a través de dichas rutas determinadas.

El nodo se caracteriza además porque la comunicación entre nodos es inalámbrica.

El nodo se caracteriza además porque la red de comunicación es una red ad hoc.

El nodo se caracteriza además por una etapa de enrutamiento de bits de paridad con fines de detección de error y de corrección de error, en donde los bits de paridad son introducidos en uno de dichos paquetes de datos a efectos de detección de error y de corrección de error.

- 5 El nodo se caracteriza además porque el medio de transmisión utiliza radiación electromagnética con una frecuencia comprendida en la gama de 100 KHz a 100 PHz dentro de la red de comunicaciones inalámbricas.

10 El nodo está caracterizado además porque los medios de transmisión utilizan uno o más de los siguientes estándares de radio dentro de la red de comunicaciones inalámbricas: IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16 HiperLAN, HomeRF, Bluetooth, IR, UWB, JTRS, 3G, GPRS, y EDGE.

En otro ejemplo de realización, una red de comunicación inalámbrica comprende uno o varios nodos de acuerdo con cualquiera de las etapas discutidas anteriormente.

15 Según otro ejemplo de realización más, un programa de ordenador en una red de comunicación inalámbrica, comprendiendo el programa: un primer conjunto de instrucciones para adquirir información de enlace entre nodos de la red, y un segundo conjunto de instrucciones para actualizar un elemento (101) de enrutamiento con la citada información de enlace, en donde la citada información de enlace comprende estado de enlace y calidad de enlace entre nodos de la red; caracterizado porque el programa comprende además: un tercer conjunto de instrucciones para determinar posibles rutas con información de enlace esencialmente similar basada en un estado de enlace futuro cercano pronosticado entre nodos de la red, en donde dicho estado de enlace futuro cercano pronosticado comprende características de estado de enlace para una gama larga que cubre varias tramas de tráfico y una gama corta que cubre varios símbolos o bits transmitidos; y un cuarto conjunto de instrucciones para enrutar un paquete de datos a través de dichas rutas determinadas.

25 Estos y otros objetos, características, funciones y beneficios de la presente invención resultarán evidentes con referencia a la descripción detallada que sigue.

Breve descripción de los dibujos

- 30 La Figura 1 es un diagrama esquemático de bloques de algunos de los componentes y de su papel respectivo según un concepto de inter-capa de una realización preferida de la invención;
La Figura 2 es un diagrama de un parámetro de intensidad de señal y velocidad de variación respecto al tiempo, con un nivel de umbral que gobierna la determinación de categoría lenta o rápida;
35 La Figura 3 es una ilustración esquemática de cómo la información de estado de canal y la información de calidad de enlace se pasan de nuevo en el sistema respecto a un protocolo de enrutamiento reactivo;
La Figura 4 es una ilustración esquemática de cómo se pasan de nuevo las predicciones de estado de canal en el sistema respecto a un protocolo reactivo;
La Figura 5 es una representación esquemática de una pequeña red ad hoc y de las posibles rutas entre dos nodos de esta red;
40 La Figura 6 es una ilustración esquemática de una topología de red ad hoc inalámbrica;
La Figura 7 es un diagrama esquemático de bloques que ilustra parte del proceso de enrutamiento y de determinación de ruta para un protocolo ad hoc de enrutamiento reactivo (Figura 7A) y un protocolo de enrutamiento ad hoc proactivo (Figura 7B);
La Figura 8 es un diagrama esquemático de bloques que ilustra un nodo de la red.

45 *Descripción detallada de la Invención*
En la Figura 6, se muestra el concepto básico de una red ad hoc inalámbrica móvil de salto múltiple según la presente invención. Una pluralidad de nodos o elementos de infraestructura 601, 602, 603, 604, ..., 60n, conforman en conjunto una red 610 ad hoc mediante comunicación de unos con otros y reenvío de tráfico de datos y tráfico de control entre sí, con el fin de mantener el tráfico de red entre nodos extremos y nodos intermedios comunicantes. A veces están presentes una o más puertas de acceso 601 en una red 610 ad hoc. Esta puerta de acceso 601 actúa como enlace entre, por ejemplo, una red 610 ad hoc inalámbrica y una red 620 de IP fija estándar (por ejemplo, Internet). La conexión 600 con la red de IP estándar puede ser o bien una línea fija, usando por ejemplo una red Ethernet, o bien una conexión inalámbrica fija usando por ejemplo sistemas LMDS o "Minilink" o una tecnología similar.

Aunque no se han representado explícitamente en la Figura 6, existen terminales de cliente/usuario final que pueden comunicar a través de estos nodos 601, 602, 603, 604, ..., 60n de infraestructura; sin embargo, la infraestructura puede ser configurada realmente utilizando los propios terminales de cliente/usuario final. Ésta puede ser construida mediante enrutadores dedicados o se puede construir una red con una combinación de estos dos elementos. En la actualidad, los terminales de cliente/usuario final tienen potencia de cálculo para manejar aplicaciones de creación de redes, incluso en un entorno ad hoc. Los terminales de cliente pueden incluir equipamiento tal como ordenadores de sobremesa, estaciones de trabajo, ordenadores portátiles, PDAs (Asistentes Personales Digitales), teléfonos móviles u otro equipamiento de procesamiento de datos con medios de comunicación o de creación de red.

Un elemento de infraestructura o nodo 601, 602, 603, 604, ..., 60n, 800 comprende al menos medios (801) de procesamiento, medios (802) de almacenamiento, medios 805 de comunicación y medios 101, 803 de enrutamiento. Los medios 805 de comunicación pueden ser inalámbricos 806 o usar una conexión 806 alámbrica, aunque en una realización preferida los medios 805 de comunicación son inalámbricos. Los medios 101, 803 de enrutamiento se implementan en un algoritmo de enrutamiento, utilizando con frecuencia un programa de software, y normalmente ambos medios 101, 803 de enrutamiento y/o medios 805 de comunicación están con preferencia incorporados en el elemento 800 de infraestructura, pero también pueden estar dispuestos en un dispositivo externo conectado a un elemento 601, 602, 603, 604, ..., 60n, 800 de infraestructura a través de un conector 804. Un ejemplo de esta disposición puede ser un PDA que tenga un dispositivo externo conectado al PDA; este dispositivo externo maneja los medios de enrutamiento y/o comunicación para permitir que el PDA forme parte de una red 610 ad hoc o de una red inalámbrica en general.

En la Figura 1, se muestran los componentes clave del elemento 800 de enrutamiento y sus respectivos cometidos junto con los patrones de flujo de tráfico de datos y de control dentro de un modelo de referencia de red por capas, por ejemplo el modelo OSI. La primera capa 104 (L1) es responsable de la transmisión física de bits de datos y en esta capa puede existir funcionalidad para medir y obtener el estado y la calidad de las propiedades del medio físico, por ejemplo el estado de canal de radio inalámbrico. Esta información se hace pasar por la tercera capa 106 (L3) hasta un monitor 102 de estado de enlace.

Existen varios parámetros diferentes que pueden ser medidos con el fin de obtener el estado de enlaces de radio entre los nodos de la infraestructura. Uno de tales parámetros es la expansión Doppler. La expansión Doppler y el tiempo de coherencia (mencionado a veces como duración media de desvanecimiento) son ambos parámetros que describen la naturaleza variable en el tiempo del canal de radio. Si existe un movimiento relativo entre una estación móvil y el nodo de la infraestructura, entonces existirán problemas de desvanecimiento asociados al mismo. Esto se aplica también si existe un objeto que se mueva en la trayectoria de radio entre dos nodos de la infraestructura o un nodo de infraestructura y una estación móvil. Cuando cada nodo envía y recibe periódicamente señales de baliza, por ejemplo "mensajes de hola", o monitoriza de cualquier otro modo señales de radio procedentes de nodos contiguos, es posible medir lo que se conoce como desplazamiento Doppler f_D que puede dar una indicación de la calidad del canal de radio, siendo el desplazamiento Doppler una medición del ancho de expansión Doppler. Esta medición se compara con un límite superior para el desplazamiento Doppler f_{DUL} que establece el límite al que el algoritmo de enrutamiento ad hoc será todavía capaz de adaptarse sin degradar la eficiencia de la transmisión. Si el ancho de banda es mucho más grande que la expansión Doppler, los efectos son despreciables y esta situación se define como desvanecimiento lento y por tanto no es un problema para que el algoritmo de enrutamiento ad hoc se adapte incrementando la frecuencia de actualización. Sin embargo, si la expansión Doppler es más alta que el nivel de umbral determinado, el desvanecimiento está en lo que se conoce como región rápida, entonces el algoritmo de enrutamiento necesita incrementar la frecuencia de actualización de ruta y esto empezará en algún punto a degradar la eficacia del flujo de tráfico puesto que el tráfico de control tendrá una porción cada vez más grande de las capacidades de transmisión disponibles.

La duración de desvanecimiento media $\langle \tau_D \rangle$ se calcula a partir del modelo de desvanecimiento de Rayleigh. A partir de estos cálculos es posible deducir la duración de desvanecimiento media y compararla con un límite de umbral $\langle \tau_{DUL} \rangle$ que puede ser comparado con su homólogo f_{DUL} , $\langle \tau_D \rangle$ puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación

$$\langle \tau_D \rangle = \frac{\sum_{m=1}^M \tau_m}{N(R_s)T}$$

donde M es el número de duraciones de desvanecimiento monitorizadas, τ_m es la duración m^{ésima} de desvanecimiento, $N(R_s)$ es el número de cruces por niveles desvanecidos a un nivel R_s por segundo, y T es el tiempo de medición.

Otro parámetro que describe la calidad del enlace de radio es el que se conoce como velocidad de variación VS 201, según se ha ilustrado en la Figura 2, el cual es una medición de lo rápido que cambia la intensidad 202 de la señal recibida o la relación 202 de señal respecto a interferencia-ruido. VS 201 puede ser calculada por diferenciación de la intensidad 202 instantánea de canal. Cuando VS 201 es más baja que un valor de umbral V_{SUL} 203, el algoritmo de enrutamiento ad hoc está aún en condiciones de adaptarse sin degradar la eficacia de red. Sin embargo, cuando VS 201 es más alta que V_{SUL} 203, se planteará el mismo problema que para la expansión Doppler mencionada anteriormente, donde la frecuencia 204 de la tabla de enrutamiento conducirá a una degradación de la eficacia de transmisión debido a que el tráfico de control necesita una porción mayor de las capacidades de transmisión disponibles.

La segunda capa 105 (L2) maneja el control de transmisión de piezas de información más grandes, y se encarga del manejo de errores, la detección y las respuestas apropiadas a los errores. También puede proporcionar a la tercera

capa 106 información acerca de la calidad de enlace puesto que ésta maneja la detección de errores. Por ejemplo, se puede pasar información acerca del número de señales de NACK o de ACK 408, 409 y 410 en el monitor 102 de estado de enlace. Una interpretación de esos parámetros puede consistir en que un incremento del número de señales NACK podría indicar que la calidad del enlace se está reduciendo, mientras un incremento de las señales de ACK indicaría que el canal de radio está mejorando su calidad.

También, el número de errores de bits que sean detectados y corregidos por un elemento de Corrección de Error de Envío (FEC) 105 localizado en L2, puede ser comunicado al monitor 102 de estado de enlace. Este parámetro puede reflejar calidad de enlace que no aparezca explícitamente a partir de la señalización de ACK/NACK mencionada anteriormente.

El monitor 102 de estado de enlace monitoriza la información de idoneidad del canal y de calidad de enlace obtenida desde la primera capa de red 104 y la segunda capa de red 105. El monitor 102 de estado de enlace determina la calidad, con respecto a criterios predeterminados, del canal de radio, y la clasifica en uno de dos tipos diferentes de categorías de desvanecimiento; desvanecimiento lento o rápido si se mide la expansión Doppler, o bien en las categorías de VS lenta o rápida si se mide VS.

El monitor 102 de estado de enlace puede recibir también información desde una capa de aplicación o desde el hardware del nodo, que sea relevante en un proceso de determinación de ruta. Esa información puede ser, por ejemplo, nivel de batería o estado energético de nodos de infraestructura de la red con el fin de excluir tales nodos de la trayectoria de enrutamiento o al menos reducir la cantidad de uso de esos nodos. Esta exclusión se hace con el fin de preservar el nivel de batería de esos nodos, puesto que los mismos pueden ser terminales de clientes y los clientes/usuarios finales no desean que la energía de su equipo se agote por diversas razones. Existe también un incremento del riesgo de que nodos con niveles de batería bajos puedan interrumpir el trabajo en un momento futuro cercano. Otro parámetro de enrutamiento relevante de ese tipo puede ser información sobre la propiedad de los nodos de infraestructura, con el fin de estar capacitados para implementar un método de enrutamiento de menor coste económico en una red multipropietario. En un método de ese tipo, los paquetes pueden ser enrutados a través de elementos de infraestructura que sean propiedad del operador del cliente o enrutados a través de elementos de infraestructura donde el operador del cliente tenga un acuerdo con el propietario. Esta alternativa es útil en caso de que existan costes monetarios de enrutamiento implementados en cada nodo de infraestructura y sea de interés mantener los costes monetarios tan bajos como sea posible. Esta alternativa no se limita a redes ad hoc inalámbricas, sino que puede ser implementada en cualquier red de comunicación en la que sean enrutados paquetes de IP.

El monitor 102 de estado de enlace transmite la información de estado obtenida y analizada a un elemento 101 de enrutamiento. Este elemento 101 realiza cálculos de enrutamiento para determinar una ruta para el actual paquete de datos que va a ser enviado, y también determina cuándo y cómo se debe actualizar la tabla de enrutamiento. El elemento 101 de enrutamiento maneja el envío y la recepción tanto de tráfico de datos como de tráfico de control. Éste maneja el procesamiento de actualizaciones de enrutamiento e inicia las actualizaciones de enrutamiento de acuerdo con programas predeterminados o a partir de información de estado obtenida desde el monitor 102 de estado de enlace.

El método de determinación de ruta que utiliza un modelo o un procedimiento predictivo consiste en tomar la información de estado de enlace obtenida a partir de mediciones de la calidad de radio y/o de enlace, monitorizar las variaciones de los enlaces, y anticipar o extrapolar el estado próximo futuro de cada enlace almacenado en la tabla de enrutamiento, de modo que el elemento 101 de enrutamiento pueda actualizar la configuración de enrutamientos antes de que fallen los enlaces. Esto tiene la ventaja de reducir flujo de tráfico innecesario debido a paquetes perdidos.

El método o procedimiento de determinación de ruta puede ser resuelto en un programa de software residente en los nodos de infraestructura.

En la L3 106, se almacena información acerca de mediciones previas durante una cierta cantidad de tiempo con el fin de entender las tendencias y los cambios de calidad de enlace. Esto se almacena con técnicas estándar que dependen del hardware usado en los nodos de infraestructura.

La Tabla 1 muestra algunos escenarios y su interpretación considerando la intensidad de la señal junto con un parámetro de desvanecimiento o un parámetro de velocidad de variación VS.

Tabla 1: Características de estado de enlace

Intensidad de señal o calidad de L2	f_D alta o VS alta	f_D baja o VS baja
Baja	Constante y errores aleatorios	Errores de ráfaga durante algo de duración del tiempo
Alta	Constante y buena condición	Ráfaga y buena condición durante algo de duración del tiempo

A partir de la tabla 1 es posible obtener los ejemplos siguientes de criterios de anticipación junto con las suposiciones relacionadas a continuación sobre tendencias de intensidad de la señal:

1. En caso de f_D baja o VS baja:

Si la intensidad de la señal va de baja a alta, va a surgir una nueva ruta.

Si la intensidad de la señal va de alta a baja, la ruta actual se va a desvanecer.

2. En caso de f_D alta o VS alta:

Si la intensidad de la señal va de baja a alta, va a surgir lentamente una nueva ruta constante.

Si la intensidad de la señal va de alta a baja, la ruta constante actual va a desaparecer lentamente.

La intensidad de la señal o calidad de L2 en la Tabla 1 se refieren a niveles medios, lo que significa que representan calidad de canal durante una gama de tiempo relativamente larga, mientras que f_D o VS están definidas en una gama de tiempo corta. La definición de larga y corta en ese sentido depende del sistema donde se implemente la presente invención. La gama de tiempo larga puede ser definida como cobertura de la gama de varias tramas de tráfico, mientras que una gama de tiempo corta puede ser definida como cobertura de la gama de varios símbolos o bits transmitidos. Por lo tanto, las variaciones rápidas de canal en un tiempo corto pueden provocar errores de bit aleatorios que pueden ser recuperados mediante técnicas FEC (Corrección de Error de envío). Puesto que FEC porta una parte de información (a veces denominada bits sistemáticos) y su parte de paridad, utilizando diferentes instantes de tiempo, si los instantes de tiempo están suficientemente separados para que no exista ninguna correlación de canal de tiempo entre los dos instantes, la FEC puede proporcionar un efecto de diversidad de tiempo, en el que ya sea la parte de información o ya sea la parte de paridad pueden sobrevivir al desvanecimiento. La función FEC puede entonces recuperar la información correcta.

A partir de estos casos, resulta evidente cómo es posible modificar el protocolo de enrutamiento ad hoc de una manera predictiva, concerniente en particular a actualizaciones de ruta.

Algunos ejemplos de uso de este método van a ser proporcionados ahora para ambos protocolos de enrutamiento ad hoc reactivo y proactivo.

Si el enrutamiento está basado en un protocolo proactivo, la tabla de enrutamiento se actualiza periódicamente mediante procedimientos normales dependiendo del protocolo utilizado. Un protocolo de ese tipo puede ser el DSDV que mantiene una tabla de nodos de enrutamiento en la red. Este protocolo de enrutamiento se modifica de acuerdo con la medición de estado y se añade un listado extra a la tabla de enrutamiento que indica consiguientemente el estado de enlace. La información de estado de enlace se distribuye utilizando técnicas normales dependiendo del protocolo de enrutamiento elegido, por ejemplo usando "mensajes de hola" y/o mensajes de topología.

Si, por ejemplo, un paquete de datos debe ser enviado al nodo C 503 desde el nodo A 501 según se ha indicado en la Figura 5A, el paquete de datos es transmitido a través del nodo B 502. Sin embargo, puesto que se sabe que el estado de enlace actual entre el nodo B 502 y el nodo C 503 en este ejemplo se van a cerrar (es decir, la intensidad de señal se reduce con el tiempo) y el comportamiento es de ráfaga (es decir, el desvanecimiento o el parámetro de VS ha sido medido como un valor más alto que el valor de umbral), y el sistema tiene también conocimiento a partir de las mediciones de que una ruta que pasa a través del nodo D 504 tiene mejor calidad, el elemento 101 de enrutamiento decide entonces que el siguiente paquete debe ser enviado a través del nodo D 504 en vez de usar la antigua ruta 505 y 506 a través del nodo B 502, habiéndose indicado este cambio de ruta en la Figura 5B.

Un método de enrutamiento según un protocolo de enrutamiento proactivo puede ser ilustrado en el algoritmo que se describe a continuación (véase también la Figura 7B).

1. Todos los nodos de la red ad hoc inalámbrica miden su calidad de enlace respectiva hacia los contiguos sobre una base regular.
2. Toda la información de calidad de enlace se distribuye a todos los nodos de la red ad hoc inalámbrica y se actualiza y se almacena en sus respectivas tablas de enrutamiento de acuerdo con frecuencias de actualización de enrutamiento determinadas.
3. Un nodo fuente donde se originan los paquetes de datos, determina una ruta apropiada utilizando la información de calidad de enlace y el modelo predictivo.
4. El paquete de datos que se está considerando es enrutado a un nodo de destino de acuerdo con la ruta determinada.

Si el enrutamiento está basado en un protocolo de enrutamiento reactivo, se utiliza un método ligeramente diferente. La determinación de ruta no se actualiza de la misma manera periódica que para el protocolo proactivo, sino que por

el contrario se actualiza por demanda; el protocolo de enrutamiento reacciona ante la demanda de envío de un paquete y por lo tanto de la necesidad de conocer al menos parte de la ruta para enviar el paquete.

Según se aprecia en la Figura 3, la información 304, 305 y 306 de estado de enlace está incluida en el mensaje de respuesta de ruta normal (RREP) que define la información de descubrimiento de ruta enviada de nuevo al nodo 300 fuente. Con esta información, el elemento 101 de enrutamiento puede cambiar la ruta del paquete de datos dependiendo de la información obtenida acerca de la ruta actual activa. La información de estado incluida proporciona un mensaje 313, 314 y 315 de RREP modificado que proporciona al elemento 101 de enrutamiento la información para obtener el estado de enlace actual y predecir el estado de enlace próximo futuro de todos los enlaces de la cadena entre el nodo fuente 300 y el de destino 303. La información de estado de enlace acerca de cada nodo de la cadena de enrutamiento se añade al mensaje de respuesta de ruta modificado (RREP). En el ejemplo de la Figura 3 se han incluido cuatro nodos en una transacción de paquete. Un paquete es transferido desde un nodo 300 fuente hasta un nodo 303 de destino a través de dos nodos 301 y 302 intermedios. Cuando el paquete es transferido al nodo 303 de destino, el último nodo 302 intermedio envía de nuevo un mensaje 313 de RREP modificado. Este mensaje 313 de RREP modificado contiene información acerca de la información 304 de enlace entre el último nodo 302 intermedio y el nodo 303 de destino. El mensaje de RREP es transferido de nuevo en la cadena al nodo 301 intermedio anterior (en el ejemplo de la Figura 3, éste es el nodo 1 intermedio 301) y este nodo 301 añade información acerca del estado de enlace entre el propio enlace y el siguiente nodo 302 de la cadena (nodo 2 intermedio 302). Cuando el mensaje 315 de RREP retorna finalmente al nodo 300 fuente contendrá información acerca de todos los enlaces de la cadena de enrutamiento de red entre el nodo fuente 300 y el nodo 303 de destino. Esta clase de esquema puede ser usada independientemente del número de nodos de la red, aunque en la Figura 3 solamente se han representado cuatro nodos pero se comprenderá que éste no es un número limitativo. El número de nodos puede ser más bajo o más alto. Solamente la información de L1 del RREP ha sido ilustrada en la Figura 3, aunque también puede estar incluida la información L2 procedente de cada nodo involucrado y/u otra información relevante para el enrutamiento. Este método puede ser usado mediante un protocolo de enrutamiento reactivo de base ad hoc tal como, por ejemplo, AODV o DSR.

Un método de enrutamiento conforme a un protocolo de enrutamiento reactivo puede ser ilustrado en el algoritmo descrito más adelante (véase también la Figura 7A)

1. Todos los nodos de la red ad hoc inalámbrica miden su calidad respectiva de enlace hacia los contiguos sobre una base regular.
2. Toda la información de calidad de enlace se distribuye a todos los nodos participantes en la ruta de la red ad hoc inalámbrica, y es actualizada y almacenada en sus respectivas tablas de enrutamiento cuando se haya emitido una petición de ruta.
3. El nodo fuente determina una ruta apropiada utilizando la información de calidad de enlace y el modelo predictivo.
4. El paquete de datos que se está considerando es enrutado de acuerdo con la ruta determinada.

También es posible modificar la señal de RERR estándar enviada en protocolos de enrutamiento reactivos de base ad hoc, y esto ha sido ilustrado en la Figura 4. Esta modificación se hace enviando un mensaje de RERR modificado desde un nodo 402 que ha detectado un fallo posiblemente de llegada hacia el siguiente salto 406. Esta RERR modificada contiene información acerca del estado 404 de enlace de este enlace 406 de interés, y es enviada de nuevo al nodo 400 fuente. Los nodos intermedios anteriores de la cadena 401 de red retardan esta información 404 respecto al nodo 400 fuente. El elemento 101 de enrutamiento del nodo fuente 400 utiliza esta información 404 y puede cambiar la ruta según corresponda.

Utilizando esta alternativa de RERR 404 modificada es posible reducir drásticamente retransmisiones de paquetes debidas a fallos de enlace posteriores en la cadena de red. Normalmente, esto requiere solamente algo de tiempo antes de que el protocolo de enrutamiento detecte un fallo de enlace y el elemento 101 de enrutamiento intentará reenviar el paquete de datos varias veces antes de decidir que se ha producido un fallo de enlace y cambiar la configuración de enrutamiento. Con el presente método es posible cambiar la trayectoria de la ruta antes de que falle un enlace, y por lo tanto el número de retransmisiones debidas a fallos de enlace puede ser reducido o incluso eliminado.

Con la información acerca del estado de enlace entre nodos de la infraestructura, se puede usar el modelo predictivo para cambiar la ruta tras la detección de un fallo de enlace con anterioridad a que se hagan retransmisiones de datos a través de la misma ruta, dado que es el procedimiento normal para protocolos de enrutamiento estándar. El paquete enviado que haya fallado es retransmitido usando una nueva ruta puesto que el elemento 101 de enrutamiento tiene conocimiento del fallo de enlace a través del método de adquisición de estado de enlace, específicamente a través de los mensajes de RERR modificados. Las Figuras 5A y 5B se usan para ilustrar este ejemplo de diversidad de enrutamiento, en donde se envía un paquete desde un nodo A 501 hasta el nodo C 503, primero a través del nodo B 502 y tras el fallo de enlace, la retransmisión del mismo paquete se hace a través del nodo D 504 en cambio.

En esta clase de entorno de enrutamiento ad hoc es posible introducir otro esquema de diversidad de ruta. Esto es lo que se conoce como diversidad de combinación de ruta, donde un paquete de datos es enviado a través de al menos dos rutas diferentes y combinado en el nodo de destino.

5 Conociendo el estado de enlace entre nodos en rutas disponibles, se puede introducir una función de transmisión doble o múltiple donde un paquete de datos es enviado a través de al menos dos rutas diferentes y combinado en el destino. Existe una probabilidad más alta de que uno de los paquetes de datos sea transferido intacto que si el paquete hubiera sido enviado solamente a través de una ruta. Usando el método de adquisición de estado y el modelo predictivo es posible incluso sacar más ventaja del esquema de diversidad de ruta. Esto se hace
10 seleccionando al menos dos rutas diferentes con buen estado de enlace seleccionado a partir de las mediciones de estado de enlace.

Otra posibilidad que hace uso del método de diversidad de ruta consiste en enviar un paquete de datos por dos rutas diferentes con bits sistemáticos y bits de paridad introducidos en el paquete de datos original y en el copiado, respectivamente. Entonces es posible combinar los dos paquetes en el destino y manejar los errores usando control de bit de paridad. También en este ejemplo el método puede ser incluso perfeccionado usando información de estado de enlace adquirida y predicciones de estado de enlace para seleccionar dos rutas preferidas.

El modelo o procedimiento de enrutamiento inteligente utilizando el método predictivo puede ser usado en muchas áreas de aplicación diferentes tal como, por ejemplo, por política general o durante eventos especiales, rescatar fuerzas durante un desastre o un accidente, fuerzas militares en el campo de batalla o durante el entrenamiento, o para construir áreas de acceso inalámbrico a efectos de comunicación tanto para acceso de red residencial y comercial. Por ejemplo, es posible usar estas redes ad hoc para construir accesos de banda ancha usando equipamiento inalámbrico de gama corta, de bajo coste, en zonas residenciales donde otra tecnología de acceso de banda ancha sea escasa o sea cara para conectarse a la misma. También se puede usar en distritos comerciales ya sea para proporcionar acceso de banda ancha a empresas o pequeñas compañías, o para conexiones inalámbricas en los denominados puntos calientes. Los puntos calientes se caracterizan porque los mismos proporcionan acceso de comunicación dentro de una cierta zona, por ejemplo en una sala de un aeropuerto o en hoteles, para usuarios de pago o gratis dependiendo del modelo de negocio.

Se apreciará que incluso aunque en una realización preferida se use un monitor 102 de estado de enlace, esta función puede también estar incorporada en el elemento 101 de enrutamiento.

El protocolo de enrutamiento es independiente del esquema de codificación de radio utilizado y se puede usar cualquier tipo de radio. Por ejemplo, se puede hacer mención a estándares de radio tales como de la serie IEEE 802.11 (véase IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, y así sucesivamente), IEEE 802.15, IEEE 802.16, HiperLAN, HomeRF, Bluetooth, IR (infrarrojos), UWB (Ultra Banda Ancha), JTRS (Sistema de Radio Táctica Conjunta), o EDGE (tasa de Datos Incrementada para Evolución Global). Sin embargo, los estándares de radio posibles no se limitan a los mencionados anteriormente. Puede considerarse cualquiera de los esquemas adecuados de transmisión basados en radiación electromagnética que operan dentro de la banda de frecuencia de 100 KHz a 100 PHz; esto incluye frecuencias de radio, frecuencias de microondas, y frecuencias de los regímenes del infrarrojo, visible y ultravioleta.

Solicitudes paralelas para resolver programación de tráfico y enrutamiento predictivo:

1. "Ad hoc predictivo"
2. "Programación de tráfico ad hoc"

de los presentes inventores han sido presentadas simultáneamente y se incorporan en la presente memoria por referencia.

También se debe apreciar que incluso aunque se haya ilustrado una red ad hoc inalámbrica en la realización preferida, los mismos conceptos pueden ser aplicables a una red alámbrica o a una red inalámbrica fija.

Aunque la invención ha sido descrita en detalle con fines ilustrativos, se comprenderá que ese detalle es solamente para tal efecto y que los expertos en la materia pueden realizar variaciones en la misma sin apartarse del alcance de la invención salvo en lo que pueda estar limitada por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1.- Un método para enrutamiento eficiente en una red de comunicación inalámbrica de salto múltiple, en donde son enrutados paquetes de datos por trayectorias de transmisión usando las siguientes etapas:

adquirir información de enlace que comprende estado de enlace y calidad de enlace entre nodos de la red; actualizar un elemento (101) de enrutamiento con la citada información de enlace; **caracterizado por:**

determinar rutas posibles con información de enlace esencialmente similar para dichos paquetes de datos basada en un estado de enlace futuro cercano pronosticado entre nodos de la red, en donde dicho estado de enlace futuro cercano pronosticado comprende características de estado de enlace para una gama de tiempo larga que cubre varias tramas de tráfico y una gama de tiempo corta que cubre varios símbolos o bits transmitidos, y enrutar dichos paquetes de datos a través de las rutas determinadas.

2.- El método según la reivindicación 1, que comprende además la etapa de combinar dichos paquetes de datos una vez que los paquetes de datos han alcanzado un nodo de destino a través de las rutas determinadas.

3.- El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de enrutar bits de paridad a efectos de detección de error y de corrección de error, en donde los bits de paridad son introducidos en uno de dichos paquetes de datos a efectos de detección de error y de corrección de error.

4.- El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de usar un sistema de transmisión basado en radiación electromagnética con una frecuencia comprendida en la gama de 100 KHz a 100 PHz dentro de la red de comunicaciones inalámbricas.

5.- El método según la reivindicación 4, que comprende además la etapa de usar dicho sistema de transmisión a partir de uno o de varios de los estándares de radio siguientes dentro de la red de comunicaciones inalámbricas: IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, HiperLAN, HomeRF, Bluetooth, IR, UWB, JTRS, 3G, GPRS y EDGE.

6.- Un nodo (800) en una red de comunicación que tiene una pluralidad de nodos, comprendiendo dicho nodo:

medios (801) de procesamiento para procesar información de control de red recibida; medios (802) de almacenamiento para almacenar la información de control de red; medios (805) de transmisión para transmitir paquetes de datos, y medios (3001) de adquisición de estado de enlace para adquirir información de enlace que comprende estado de enlace y calidad de enlace entre nodos contiguos; en donde el nodo comprende además medios de determinación, **caracterizado por:**

medios (3002) de determinación que utilizan la información de enlace adquirida y la información de control de red para determinar al menos dos rutas hasta un destino para el enrutamiento de un paquete de datos en base a un estado de enlace futuro cercano pronosticado entre nodos de la red, en donde dicho estado de enlace futuro cercano pronosticado comprende características de estado de enlace para una gama de tiempo larga que cubre varias tramas de tráfico y una gama de tiempo corta que cubre varios símbolos o bits transmitidos, y medios de enrutamiento para enrutar dichos paquetes de datos a través de dichas rutas determinadas.

7.- El nodo (800) según la reivindicación 6, en donde la comunicación entre nodos es inalámbrica.

8.- El nodo (800) según la reivindicación 7, en donde dicha red de comunicación es una red ad hoc.

9.- El nodo (800) según la reivindicación 6, que comprende la etapa de enrutar bits de paridad con fines de detección de error y de corrección de error, en donde los bits de paridad son introducidos en uno de dichos paquetes de datos a efectos de detección de error y de corrección de error.

10.- El nodo (800) según la reivindicación 6, en donde dichos medios de transmisión utilizan radiación electromagnética con una frecuencia comprendida en la gama de 100 KHz a 100 PHz dentro de la red de comunicaciones inalámbricas.

11.- El nodo (800) según la reivindicación 10, en donde dichos medios de transmisión utilizan uno o varios de los estándares de radio siguientes dentro de la red de comunicaciones inalámbricas: IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, HiperLAN, HomeRF, Bluetooth, IR, UWB, JTRS, 3G., GPRS y EDGE.

12.- Una red de comunicación inalámbrica que comprende uno o varios nodos según cualquiera de las reivindicaciones 6-11.

13.- Un programa de ordenador en un nodo de una red de comunicación inalámbrica, comprendiendo el programa:

- 5 un primer conjunto de instrucciones para adquirir información de enlace entre nodos de la red, y
un segundo conjunto de instrucciones para actualizar un elemento (101) de enrutamiento con la citada información de enlace, en donde dicha información de enlace comprende estado de enlace y calidad de enlace entre nodos de la red; **caracterizado porque** el programa comprende además:
- 10 un tercer conjunto de instrucciones para determinar posibles rutas con información de enlace sustancialmente similar en base a estado de enlace futuro cercano pronosticado entre nodos de la red, en donde dicho estado de enlace futuro cercano pronosticado comprende características de estado de enlace para una gama de tiempo larga que cubre varias tramas de tráfico y una gama de tiempo corta que cubre varios símbolos o bits transmitidos, y
- 15 un cuarto conjunto de instrucciones para enrutar un paquete de datos a través de dichas rutas determinadas.

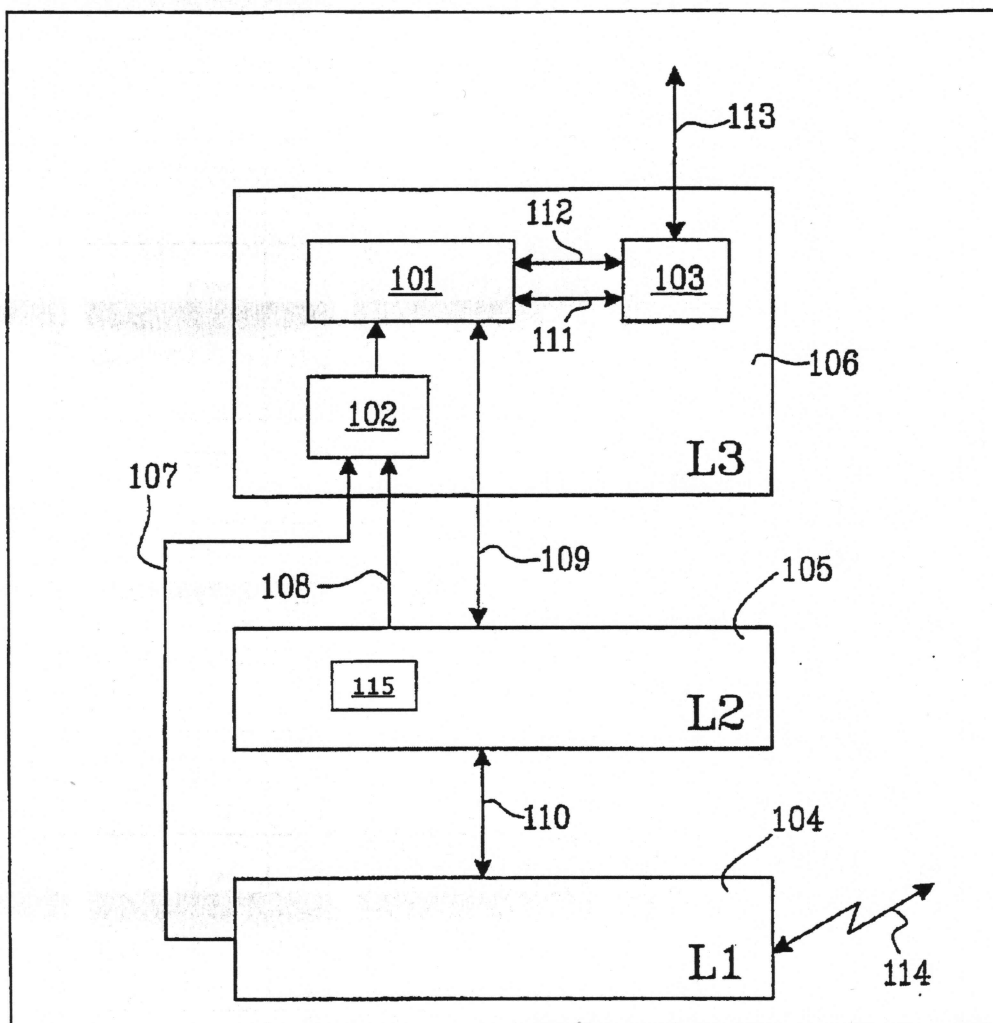


Fig. 1

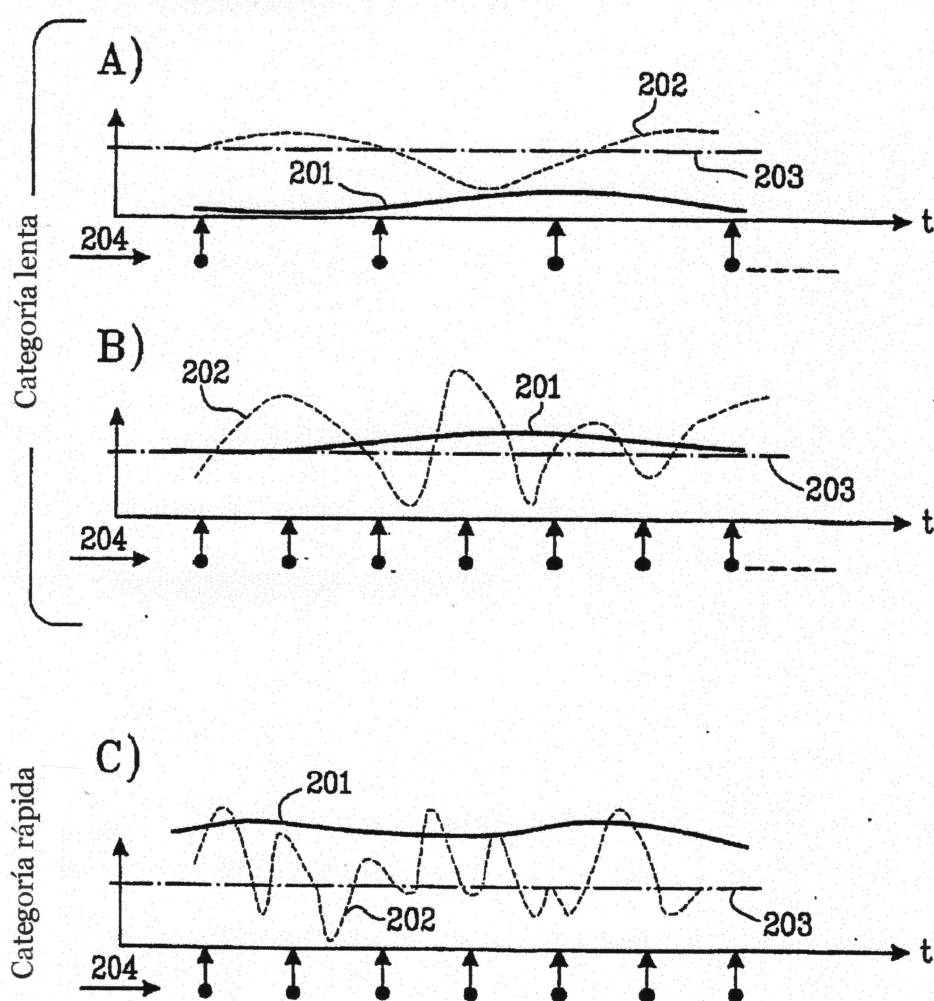


Fig. 2

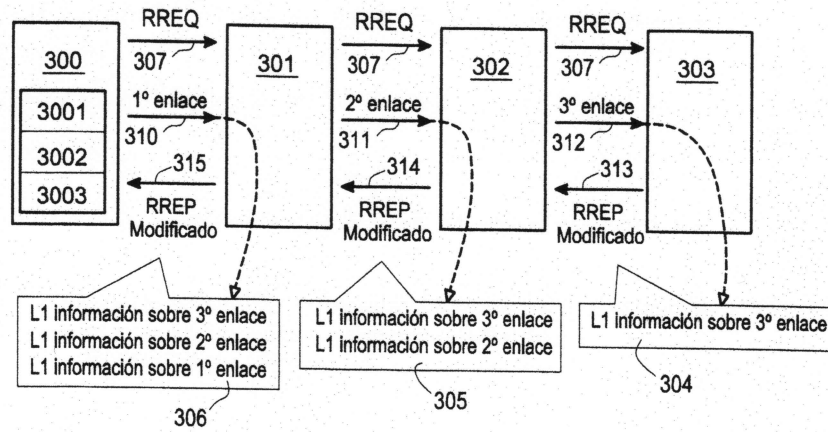


FIG. 3

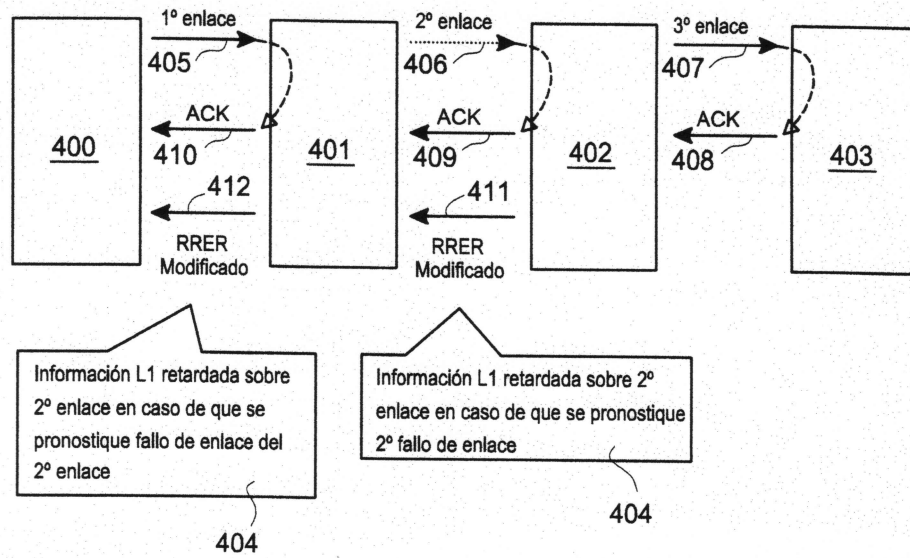
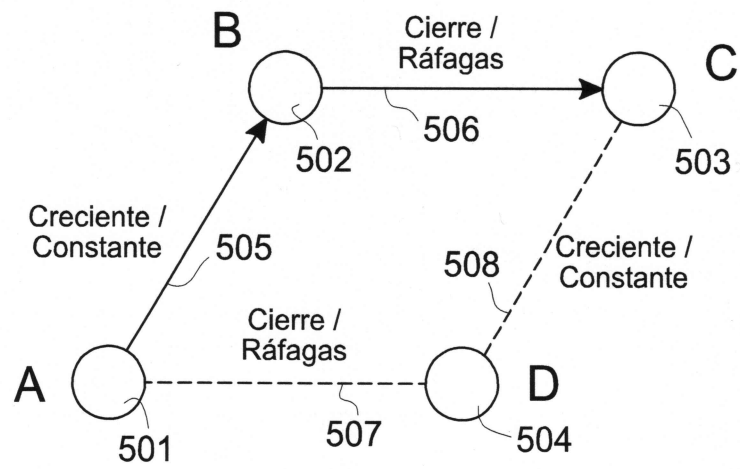
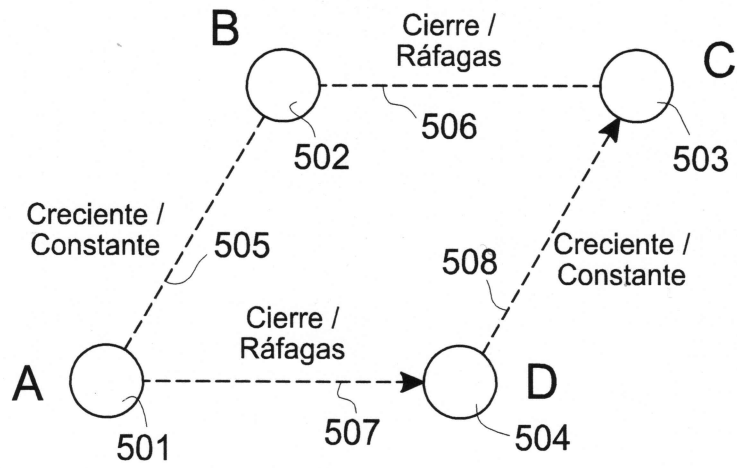


FIG. 4



A



B

FIG. 5

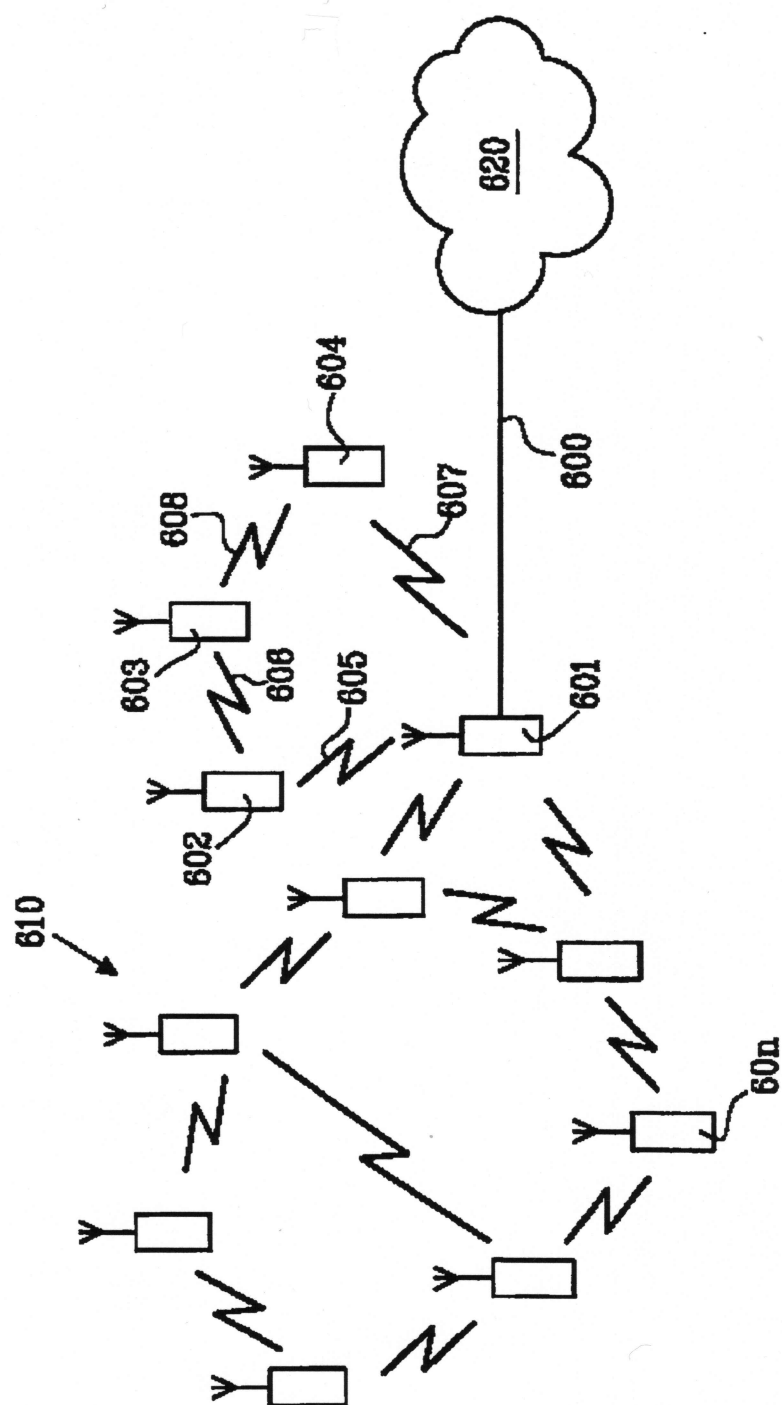


Fig. 6

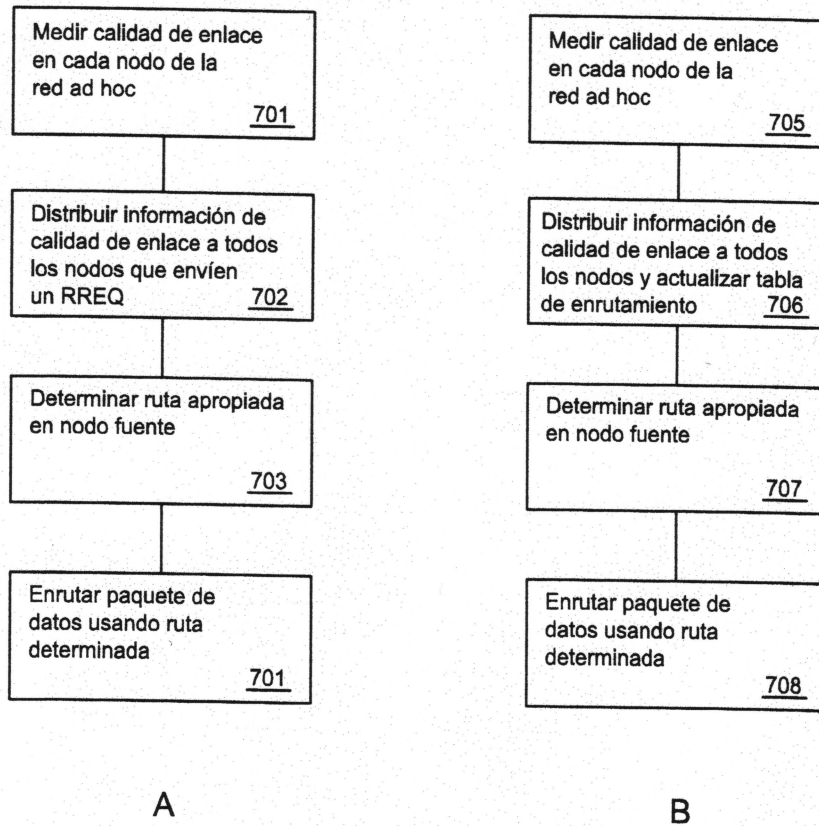


FIG. 7

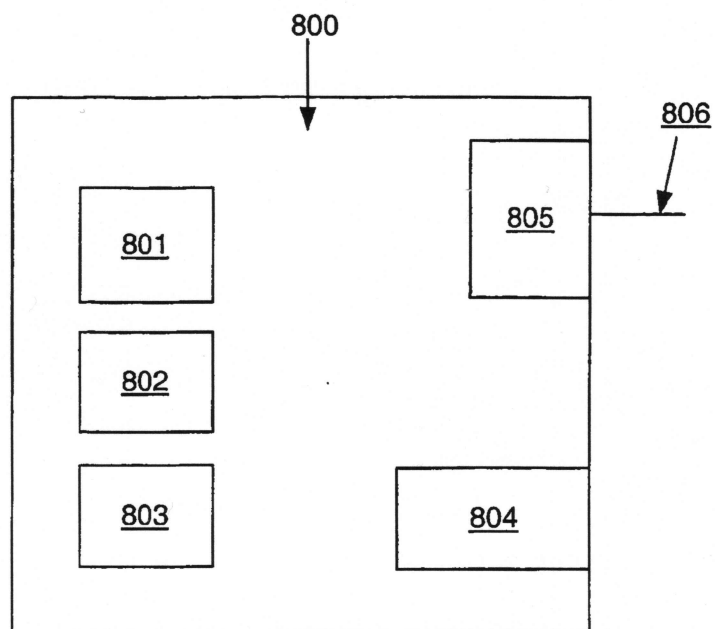


Fig. 8