(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 512 691**

(51) Int. CI.:

H04W 24/02 (2009.01)
H04L 12/24 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.09.2010 E 10177396 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.07.2014 EP 2432269**

(54) Título: **Procedimiento y sistema para la configuración óptima de una red en malla considerando las características del tráfico**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.10.2014

(73) Titular/es:

DEUTSCHE TELEKOM AG (100.0%)
Friedrich-Ebert-Allee 140
53113 Bonn, DE

(72) Inventor/es:

VON HUGO, DIRK

(74) Agente/Representante:

MORGADES MANONELLES, Juan Antonio

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para la configuración óptima de una red en malla considerando las características del tráfico

Sector de la invención

Las redes en malla inalámbricas ("Wireless Mesh Network") (WMN) se considera que constituyen una tecnología prometedora para el establecimiento con eficiencia de costes de acceso a internet en áreas rurales poco pobladas y también en áreas urbanas densamente pobladas. En una WMN, los enrutadores envían tráfico a cuenta de clientes o de otros enrutadores y de esta forma, constituyen una red inalámbrica multi-salto. Un reto para las WMN es la congestión de enlaces entre los enrutadores de la malla y la optimización de la configuración de la red con respecto a ofrecer máxima velocidad de datos y fiabilidad a bajo coste.

La presente invención describe un procedimiento y componentes de red que permiten determinar parámetros característicos de tráfico y utilizar esta información para hallar y llevar a cabo la configuración óptima.

Las WMN tienen en especial capacidad para proporcionar:

- Ampliación de la cobertura de red sin aumentar la potencia de transmisión o sensibilidad de recepción
- Fiabilidad mejorada mediante redundancia de ruta
- Configuración de red más fácil
- Mayor vida de la batería del dispositivo, debido a menores retransmisiones.

Un resumen de la situación actual de la tecnología se facilita en el documento [1].

Una red en malla inalámbrica es una red constituida por tres tipos de nodos: los que proporcionan acceso a los usuarios finales (Puntos de Acceso ("Access Points"), AP), los que interconectan otro nodos y reenvían tráfico entre ellos (Puntos de Malla ("Mesh Points"), MP) y los que proporcionan acceso a una red externa global, por ejemplo, como pasarelas a internet (("GateWays"), GW). La red puede utilizar diferentes disposiciones de conexión, mediante malla completa, malla parcial o topología de árbol. En la topología de malla completa, cada nodo está conectado directamente a cada uno de los demás. En la topología de malla parcial, los nodos están conectados solamente a algunos de los otros nodos (por ejemplo, los siguientes o aquellos con los que intercambian la mayor parte del tráfico de datos). En la topología de árbol, cada nodo está conectado solamente con el siguiente nodo adyacente hacia la GW como raíz y los AP subyacentes como hojas.

Un ejemplo para una topología de árbol es la que se muestra en la figura 1, en la que una GW 1 está conectada por enlaces 100 a los AP 2, 3, 4 y 5. En la figura 2, se ha mostrado una topología de malla en la que están configurados adicionalmente enlaces de malla entre algunos AP (malla parcial, por ejemplo, con enlaces 101 entre 3 y 4 y entre 2 y 5) o entre más AP (grado de malla más elevado con enlaces 101 y 102).

Para sistemas de comunicación, una topología de malla completa es solamente relevante para pequeñas cantidades de nodos (por ejemplo, 4 AP por GW) y la estructura tradicional de árbol y la de malla parcial son las más habituales.

Si bien se encuentran disponibles comercialmente en la actualidad (por ejemplo, [4]), las WMN basadas en tecnología estándar de radio pueden sufrir de congestión en enlaces a la pasarela y de condiciones adversas de acceso a una distancia de varios saltos desde la pasarela y, por lo tanto, puede necesitar soporte adicional para la disposición de QoS y para un rendimiento mejorado. Se han hecho ciertos esfuerzos en la normalización (por ejemplo, [5], [6], [7]), pero se está llevando a cabo actualmente esfuerzos de investigación adicionales (por ejemplo, [2], [8]). También se han propuesto y se han patentado mecanismos para Enrutado dentro de las WMN (por ejemplo, [9]).

El documento US2008/225717 da a conocer técnicas para ingeniería de tráfico en redes en malla inalámbricas para la asignación inteligente de ancho de banda en enlaces con una red en malla inalámbrica. Como contraste a las reconfiguraciones específicas que se describen, correspondiendo a enlaces de malla distintivos, el enfoque reivindicado de la invención consiste en generalizar una información de tráfico abstractiva y cambiar la topología de la red de modo total, simplificando de este modo el esfuerzo operativo requerido. El documento US2008/181124 propone deducir métricas de red detalladas y utilizar éstas para decidir sobre la conversión de nodos de acceso (sin funcionalidad de pasarela) a pasarelas. Como contraste, el enfoque reivindicado propone no introducir cambios en las características del nodo, sino simplemente adición o eliminación de enlaces con respecto a los nodos de malla adyacentes.

Resumen de la invención

La correlación entre el grado de enmallado de la tipología de red y el impacto sobre la mejora del rendimiento (por ejemplo, en caso de interrupción de un enlace) es bien conocida. No obstante, la cantidad de enlaces de malla por nodo aumenta también el coste del equipo y la complejidad de la red y puede degradar el rendimiento debido a

distorsiones por interferencia. Por lo tanto, la cantidad de enlaces de malla se debe mantener en un mínimo. Por otra parte, el rendimiento mejorado, tal como mejoras conseguidas en re-enrutado e incremento de producción por técnicas de equilibrado de la carga, han sido investigados recientemente (por ejemplo, [11], [12], [13], [14]). Combinando estos procedimientos con los mecanismos que se proponen, se puede conseguir una mejora adicional, tanto en términos de ahorro de costes (dado que solamente se configuran los interfaces que son realmente necesarios para proporcionar el rendimiento óptimo) como en la producción total de tráfico de la red. Contrariamente a esto, la invención no propone un nuevo algoritmo de enrutado, sino llevar a cabo una configuración dinámica de la red y del equipo basadas en simples mediciones de tráfico de la red o en características de tráfico conocidas a priori.

medirla medición de las características de tráfico en redes de comunicación por paquetes (IP) basándose en flujos de IP que pasan por los elementos de red, es frecuentemente interesante, útil o incluso necesario para objetivos administrativos o de otro tipo y se encuentra en el estado de la técnica (ver, por ejemplo, [10]). No obstante, en comparación con la multitud de parámetros de información recogidos de manera general y analizados, el procedimiento que se da a conocer intenta reducir a un mínimo el esfuerzo de recogida y almacenamiento.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra una red en malla inalámbrica a título de ejemplo que consiste en una pasarela 1 y cuatro puntos de acceso 2, 3, 4, 5 en una topología de árbol, es decir, cada punto de acceso 2, 3, 4, 5 está conectado solamente a pasarela 1 mediante un enlace de red 100.

La figura 2 es un ejemplo de una red en malla con topología parcialmente enmallada. Cada punto de acceso 2, 3, 4, 5 está conectado por la pasarela 1 mediante enlaces de malla 100 y puede conectar también con puntos de acceso adyacentes con intermedio de enlaces de malla 101 y/o 102.

La figura 3 es un diagrama funcional de bloques de un nodo enrutador de malla de radio 200 de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención. Los módulos de equipo de radio 300, 301, …, 303 están controlados por módulos funcionales 400 - 403.

La figura 4 es un ejemplo de la estructura de tabla para análisis de características de tráfico con respecto a la aplicación de la presente invención.

La figura 5 es un ejemplo de una estructura hexagonal simétrica de n AP (puntos de acceso de malla) alrededor de una GW central (pasarela) con enlaces inter-AP/MP para tres topologías (flechas continuas) y enlaces de malla (flechas de trazos) para topología de malla. Se han incluido a título de ejemplo, algunos otros enlaces de malla adicionales (m>0). Diferentes tipos de células grises indican el caso de n=7, 19, 31 y 37 (AP por GW).

La figura 6 muestra un resultado relativo que se puede conseguir por AP para 3 topologías comparadas y ganancia para malla como función de la cantidad de tráfico intra-malla para diferentes parámetros (6 enlaces GW).

La figura 7 muestra un resultado relativo que se puede conseguir por AP para 3 topologías comparadas y ganancia para malla como función de la cantidad de tráfico intra-malla para diferentes parámetros (3 enlaces GW).

La figura 8 muestra un rendimiento global relativo que se puede conseguir por AP para topología de malla como función de la cantidad de tráfico intra-malla para diferentes cantidades de AP por GW con y sin m enlaces inter-MP adicionales.

La figura 9 muestra resultados de simulación de rendimiento para una estructura de malla de 7 AP con demanda de tráfico variable en cada AP, resultados teóricos para variabilidad 0% y simulación para variabilidad baja y alta.

La figura 10 muestra resultados de interrupción a partir de simulación para una malla de 7 AP y una estructura de topología de árbol con una variabilidad de tráfico de 5%.

La figura 11 muestra los resultados de la ganancia simulada de rendimiento malla/árbol para diferentes cantidades de AP por GW y variabilidades de distribución de tráfico en comparación con resultados teóricos.

Descripción detallada de realizaciones preferentes

Un ejemplo simple para la aplicación del procedimiento propuesto sería la red mostrada en la figura 2, en la que cada nodo quedaría configurado con 3 ó 4 interfaces de radio con respecto a otros nodos de malla. En el caso de que se produzca el intercambio de una gran fracción de tráfico con nodos correspondientes fuera de la red en malla (a través de la pasarela 1), los enlaces 102 a otros nodos que no son pasarela se podrían omitir sin perder capacidad de rendimiento como promedio. La razón es que estos enlaces mejorarían solamente el rendimiento si los otros enlaces 100 y 101 estuvieran congestionados o degradados.

Por otra parte, en caso de una fracción elevada de tráfico intra-malla, es decir, tráfico a intercambiar entre los nodos 2 y 3, 4, 5, ambos enlaces 101 y 102 al nodo 2 quedarían considerablemente cargados y la configuración correspondiente de todos los 3 ó 4 enlaces por nodo aumentaría el rendimiento del sistema de malla de modo correspondiente, puesto que la carga en el enlace de pasarela 100 quedaría descargada de forma correspondiente.

La invención analiza y cuantifica la ganancia potencial en redes en malla aplicando procedimientos de equilibrado de carga y conformación de tráfico activados por reacoplamiento de terminales de usuario final (UT) a celdas adyacentes. Se puede demostrar que, mediante la configuración apropiada de una red en malla, la capacidad de transmisión total disponible es explotada de manera más eficiente también en términos de enrutado dependiente de QoS y decisiones de movilidad.

A efectos ilustrativos, las mejoras de capacidad que se pueden conseguir gracias al equilibrado combinado de carga de acceso/malla ha sido calculado analíticamente como función de la cantidad n de puntos de acceso de malla (AP) por pasarela (GW), el grado de asimetría de tráfico de enlace ascendente y enlace descendente y la relación de tráfico dentro de la malla con respecto al tráfico total. Una simulación considerando fuentes de tráfico distribuido de manera no homogénea y carga, muestra la ventaja de la topología de la malla en caso de enlaces cuello de botella fuertemente cargados entre GW y los AP/MP.

Para mejorar el rendimiento del servicio para los UT acoplados a una red en malla tales como bloqueo y supresión de sesión reducida, se investiga el impacto de las reconfiguraciones correspondientes tales como acoplamiento a un nuevo AP y enrutado con intermedio de MP alternativos. Para el cálculo de rendimiento, se toma en consideración tanto la cantidad de recursos disponibles (capacidad de enlace) en enlaces potenciales de acceso y de malla, y el QoS mínimo proporcionado en términos de saltos múltiples (retraso) para diferentes clases de tráfico. A continuación, se deducirá una expresión analítica para las mejoras de rendimiento que se pueden conseguir como promedio gracias a la técnica de equilibrado de carga combinada de acceso/malla para un conjunto de escenarios de referencia simplificados. El objetivo consiste en obtener una estimación superior de la mejora relativa que se puede esperar considerando tanto la capacidad de acceso como de malla. A diferencia de las redes para comunidades, en este caso, se supone la situación de una red en malla de operador inalámbrico que tiene una estructura de celdas hexagonal, y proporciona idéntica capacidad de enlace en cada enlace de malla.

Las figuras 6-11 analizan y cuantifican la ganancia potencial en redes enmalladas aplicando métodos de equilibrado de carga y conformación de tráfico activados por re-acoplamiento de terminales de usuario final (UT) a celdas adyacentes.

Una red ideal, a título de ejemplo, se muestra en la figura 5, indicando una pasarela GW central (color negro) rodeada de varias hileras de AP/MP (gris). La cantidad mínima de enlaces entre nodos se ha mostrado en forma de flechas continuas (estructura árbol) con flechas de trazos que representan enlaces de malla para configuración de malla mínima, mientras que los enlaces de malla adicionales a título de ejemplo están indicados por flechas de trazos.

El enfoque para calcular la capacidad AP promedio soportada por un escenario de malla de referencia de n AP por GW supone una distribución homogénea de usuarios. Cada AP (que sirve a terminales cubiertos por esta unidad) genera (y recibe) la misma cantidad de tráfico unitario igual a 1. Los enlaces de malla entre los MP muestran, por lo tanto, la mayor carga de tráfico (compuesta) como múltiplo de 1 limitando la capacidad o rendimiento total de la malla.

Se supone que la capacidad de enlaces de malla para todos los enlaces entre MP de la misma longitud es uniforme y que todos los AP (con menor rango de celda) ofrecen una capacidad considerablemente mayor para acceso de usuario. En este caso, se considera que el tráfico de fuentes internas de la malla de los AP y el tráfico que termina en los AP son iguales. Para el tráfico externo de la malla, el nivel de simetría como proporción entre tráfico de enlace descendente (es decir, entrante en la malla) y tráfico de enlace ascendente (es decir, saliente de la malla) se define por la designación β. Como resultado, la proporción total de datos tiene que ser ampliada de forma correspondiente, y se tiene que tener en cuenta algún recurso específico de la tecnología.

A efectos de simplicidad, se supone una colocación concéntrica de n-1 AP con una estructura de celda hexagonal alrededor de una GW. En este caso, tanto la GW como también todos los MP intermedios, sirven también como AP para tráfico de usuario.

Se distingue entre tráfico de usuario que permanece dentro de la malla (es decir, tráfico entre pares o intra-malla destinado a conexión a otro AP dentro de la estructura de la malla) y tráfico que está destinado a un nodo correspondiente fuera de la malla, y por lo tanto, tiene que ser enrutado con intermedio de la GW. Designando la probabilidad de tráfico intra-malla por p, la parte de tráfico que tiene que ser enrutada a través de la GW, es 1-p por AP, por lo tanto, n*(1-p) de tráfico emergente a través del interfaz de la GW hacia el mundo exterior. Un volumen de tráfico de β*n*(1-p) se recibe por la GW dese el exterior y tiene que ser reenviado a través de interfaces internos de la malla. Suponiendo que, como promedio la parte intra-malla está distribuida igualmente a todos los n AP desde cada uno de los AP 1-p/n del tráfico total supuesto emerge a través de todos los enlaces activos de la malla.

Se supone además que dentro de un árbol y estructura de malla originalmente de promedio, el tráfico emergente de k AP se agrega en un MP, y que el tráfico de 1 AP (cantidad de AP menor de la mitad del total sin GW, es decir, 1 ≤ (n-1)/2) podría ser re-enrutado mediante enlaces de malla a efectos de reducir cargas sobre los enlaces a la GW. Para un escenario hexagonal con una hilera de (n=6) AP alrededor de la GW (cada uno conectado por un enlace separado) se obtiene, por lo tanto, k= (n-1)16=1, para dos hileras (n=18) AP rodean la GW, y de manera que k= (n-1)/6=3. El rendimiento promedio máximo soportado por conectividad de GW en escenarios de árbol, depende de si los nodos de la malla tienen una función en realidad de enrutado o no (en este último caso, se designa como "árbol jerárquico", todo el tráfico tiene que ser enrutado a través de la GW).

En la estructura de red hexagonal modelada, tres partes diferentes contribuyen al tráfico total por enlace de malla. Representada por tres términos, la carga P de tráfico consiste en una parte que emerge de los k AP, la parte destinada a los k AP que emerge de la GW, y la parte que emerge de los otros n-k AP dentro de la malla

$$P_{jerar.} = k - (k+(n-1)/6-1)/n*p + k*\beta*(1-p) + k*(n-k)/n*p$$

$$P_{enrut} = k - k*k/n*p + k*\beta*(1-p) + k*(n-k)/n*p$$

$$=k*(1+\beta- \beta*p) - k*(2*k-n)/n*p$$

para topología jerárquica y de árbol de enrutado, respectivamente. Para una topología de malla suponiendo que todo el tráfico interno es enrutado alrededor del enlace de GW cargado, se obtiene

$$P_{malla,\ GW} = k*(1+\beta- \beta*p) - k* (n-2*k)/n*p + 2*k^2*p/n$$

En este caso, el último término representa tráfico desde y hacia AP, más distantes, que sería enrutado a través de la GW para reducir el contaje y latencia de saltos. De manera correspondiente, el tráfico en los enlaces inter-MP asciende a $2*k^2p/n$ por ramal de *k* MP. Es decir, en caso de que todo el tráfico de *n-1* MP es reenviado alrededor de la GW central, la mitad del mismo (utilizando la cantidad "segunda más corta" de salto) contribuye a cada enlace, excepto el exactamente opuesto (en caso de número par de AP dentro de cada hilera) de manera que

$$P_{malla,\ MP} = 2*k^2*p/n *(n-2)/2 = k^2*(n-2)*p/n$$

En el caso de que el AP más alejado se excluye de re-enrutado, el factor *n-2* se reduce a n-3.

Esta carga puede ser asignada de forma equilibrada a todos los enlaces inter-MP entre ramales adyacentes o subagrupaciones de MP formadas por *k* AP. Esta cantidad es 1 en caso de un escenario con una cantidad mínima de enlaces inter-MP, pero aumenta a 2 ó 3 en caso de que la cantidad *m* de enlaces de malla adicionales por ramal aumente a 1 ó 2. El rendimiento total es determinado por el máximo de cargas de enlace en un enlace GW y enlaces inter-MP, $P_{malla,GW}$ y $P_{malla,MP}$, pero el mínimo con respecto a la decisión de cómo proceder con el tráfico AP más alejado, por lo que

$$P_{malla} = \text{Min}\ \{\text{Max}\ [k*(1+\beta- \beta*p) - k*(n-4*k)/n*p;\ k^2*(n-3)*p/n/(m+1)];$$
$$\text{Max}\ [k*(1+\beta- \beta*p) - k* (n-2*k)/n*p;\ k^2*(n-2)*p/n/(m+1)]\ \}$$

Se debe observar, que se supone en las fórmulas anteriores que tanto el tráfico de enlace ascendente como de tráfico descendente se considera que comparte el mismo medio sobre los mismos enlaces de malla, pero no se ha tenido en cuenta ningún recurso adicional para separar ambos flujos.

Los resultados numéricos de las fórmulas deducidas anteriormente se indican en las figuras 6-8, en las que la invención ha definido como ganancia G la relación entre rendimiento en caso de malla y en el caso de topología de árbol.

$$G = P_{malla} / P_{árbol}$$

para diferentes magnitudes de *n*, *m* y β.

Tal como se puede apreciar por los resultados mostrados en las figuras 6 y 7 para 7 AP, la ventaja de la malla aumenta con la cantidad de tráfico interno. No obstante, con una cantidad elevada de tráfico de enlace descendente de redes externas indicado por una proporción β más elevada, la ganancia de rendimiento para topología de malla

es menos pronunciada y llega al máximo para valores incluso más elevados de p indicando el porcentaje de tráfico intra-malla. Tal como se puede apreciar para valores muy grandes de p, la ganancia disminuye nuevamente, dado que los enlaces hacia la GW ya no son cuello de botella. Tal como se esperaba, el rendimiento se degrada para solamente 3 enlaces GW en la figura 7 en comparación con 6 enlaces GW que se suponen para la figura 6.

De acuerdo con ello, en la figura 8 se ha mostrado una comparación del rendimiento promedio que se puede conseguir para tráfico simétrico para una cantidad diferente de AP por GW a una cantidad constante de 6 enlaces GW. El gráfico superior muestra la capacidad sin instalar enlaces de malla adicionales entre MP (m = 0), mientras que los gráficos inferiores muestran que al añadir hasta 3 enlaces de malla, se puede conseguir un incremento de capacidad adicional para una parte elevada del tráfico intra-malla.

Tanto para un escenario 7 AP como para un escenario 13 AP, se ha llevado a cabo una simulación de variabilidad de tráfico en el que, por razones de simplicidad, solamente se ha considerado tráfico de enlace ascendente (β = 0). Se ha supuesto que se originaba una demanda de tráfico variable al azar en los AP y se han registrado tanto el rendimiento conseguido como también la probabilidad de interrupción ocurrida por sobrecarga de tráfico para las topologías de árbol y de malla y para diferentes porcentajes de tráfico intra-malla p. Los resultados mostrados en la figura 9 para variabilidad de tráfico elevada (5,6%) y baja (0,06%) (definida como relación entre la variancia de tráfico y promedio para cada AP) representan la relación de rendimiento entre topología de malla y topología de árbol. La comparación con los valores teóricos (variabilidad 0%) a partir de las anteriores fórmulas muestra una buena correlación para probabilidad de tráfico intra-malla de baja a media y para baja variabilidad. Para alta variabilidad (es decir, distribución de tráfico no homogénea), el rendimiento de malla simulado excede los valores teóricos con una probabilidad baja de tráfico intra-malla, dado que en este caso la ganancia para una topología de árbol es peor que en la teoría, tal como se podía esperar. Las desviaciones para la fracción elevada del resultado de tráfico intra-malla, debido a la suposición ideal de nueva enrutabilidad perfecta de tráfico intra-malla y la alta falta de homogeneidad, provocar un rendimiento peor. La incidencia simulada que se ha mostrado en la figura 10 por una parte demuestra el aumento de rendimiento de malla con respecto a árbol al mostrar una probabilidad de incidencia para malla menor de 10% de la de la topología de árbol para p = 0 (que se reduce a menos de 0,01% para p = 0,4, mientras que las incidencias en el caso de la topología de árbol aumentan de manera continuada). Debido al origen de tráfico no homogéneo, el rendimiento disminuye nuevamente para una elevada cantidad de tráfico intra-malla y sobrecarga de los enlaces de malla inter-AP.

También se ha llevado a cabo una comparación simulada entre proporciones 1:7 y 1:13 de GW y AP. Tal como se puede apreciar en la figura 11, el cálculo teórico mejora nuevamente los resultados de la simulación. La proporción de rendimiento muestra un máximo relativo en el escenario 13 AP cuando la carga en 12 enlaces de malla y 6 enlaces de pasarela está equilibrada. Esto no puede ser detectado en el escenario 7 AP en el que la cantidad de ambos tipos de enlaces es igual.

Se han descrito anteriormente tanto los resultados de análisis analítico como de simulación numérica para la ganancia de rendimiento a alcanzar dentro de una topología de red en malla. Esto mostrará el impacto de parámetros de tráfico, tales como cantidad de tráfico intra-malla (p) y la asimetría del tráfico (β), así como las configuraciones de topología de red en malla, tales como cantidad de nodos (n) y enlaces inter-MP (m) sobre el rendimiento óptimo que se puede conseguir en la red en malla.

Referencias

[1] Akyildiz, I.F, Wang, X., A Survey on Wireless Mesh Networks, IEEE Radio Communications, (Septiembre 2005), S23-S30.

[2] T. H. Szymanski, Throughput and QoS optimization in nonuniform multichannel wireless mesh networks, International Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, in: Proceedings of the 4th ACM symposium on QoS and security for wireless and mobile networks, páginas 9-19

[3] EU-Projekt CARMEN, http://www.ict-carmen.eu/

[4] MeshDynamics Patented Third Generation Wireless Mesh Technology, http://www.meshdynamics.com/mesh-network-technology.html, accedido en 30 de marzo, 2010

[5] IEEE P802.11s/D1 .08. Draft amendment to standard - IEEE 802.11: ESS Mesh Networking. IEEE, enero 2008

[6] IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 5 (TG5) Mesh Networking, http://www.ieee802.org/15/pub/TG5.html

[7] IEEE "Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Multihop Relay Specification", http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16j-2009.pdf

[8] Bayer, N. and van Hugo, D., "Challenges for Wireless Mesh Networks to provide reliable carrier-grade services", presentado en ARS 2010 (Kleinheubacher Berichte 2009)

[9] Method and Device for Routing Mesh Network Traffic, Keith J. Goldberg and Christopher L. Bear, http://www.faqs.org/patents/app/20090028169

[10] B. Claise, Ed., "Specification of the IP Flow Information Export (IPFIX) Protocol for the Exchange of IP Traffic Flow Information", RFC 5101, IETF enero 2008

[11] Hejiao Huang and Yun Peng, "Throughput Maximization with Traffic Profile in Wireless Mesh Network", Computing and Combinatorics, LCNS 5092/ COCOON 2008, verano 2008, páginas 532-540

[12] Ashish Raniwala, Kartik Gopalan, and Tzi-cker Chiueh, "Centralized Channel Assignment and Routing Algorithms for Multi-Channel Wireless Mesh Networks", Mobile Computing and Communications Review, Volumen 8, número 2, páginas 50-65

[13] Vinh Dien HOANG, Maode MA, Hiroshi HARADA, "Multi-paths Routing with Load Balancing for Internet Access in Wireless Mesh Networks", IJWMN, volume 2, febrero 2010, páginas 55-75

[14] Liang Ma, Mieso K. Denko, "A Routing Metric for Load-Balancing in Wireless Mesh Networks," ainaw, volumen 2, páginas 409-414, 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AIN-AW'07), 2007

[15] Chen Wei-Peng and Su Ching-Fong, Traffic Engineering on Wireless Mesh Networks, Patent Application US 2008/225717 Al ([US] ET AL) 18 de septiembre 2008 (2008-09-18)

[16] Chari Amalavoyal, Conversion of Access Nodes to Gateways within a Wireless Mesh Network, Patent Application US 2008/181124 Al ([US]) 1-16, 31 de Julio de 2008 (2008-07-31)

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para mejorar un sistema de red en malla, en el que la red en malla comprende n puntos de acceso de malla AP y, como mínimo, una pasarela GW, teniendo cada AP, como mínimo, un interfaz para establecer, como mínimo, m enlaces de malla, en el que, como mínimo, un AP o un nodo central especializado determina una proporción β de tráfico que sale de la red en malla a través de la GW y tráfico entrante en la red en malla a través de la GW y/o una proporción p de tráfico interno de malla con respecto al tráfico total y dependiendo de umbrales predefinidos para β y/o p se añaden *q* enlaces de malla adicionales *m+q* o se eliminan *m-q* entre 2 o más AP, y el tráfico es re-enrutado de forma correspondiente mediante los enlaces de malla.

2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la relación β de tráfico saliente de la malla y el tráfico entrante de la malla se calcula como la cantidad de tráfico a partir de una fuente de datos situada dentro de la malla, que tiene que ser enrutada a través de la pasarela GW a un destino dentro de una red externa con respecto a la cantidad de tráfico desde una fuente de datos fuera de la red en malla que tiene que ser enrutada a través de la pasarela GW a un destino dentro de la red en malla, y/o en el que la proporción p de tráfico interno y tráfico total se calcula como la cantidad de tráfico interno de la malla en el que tanto la fuente de datos como el destino están localizados dentro de la red en malla, con respecto a la cantidad total de tráfico interno y externo de la malla, a partir de la inspección de los paquetes recibidos y reenviados.

3. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la información de tráfico en términos de parámetros p y β es medida centralmente y distribuida a todos los nodos dentro de la red en malla para adaptar el número de enlaces de malla.

4. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que la información de tráfico en términos de parámetros p y β es medida localmente y distribuida a todos los nodos dentro de la red en malla para adaptar el número de enlaces de malla.

5. Procedimiento, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, en el que la proporción p de tráfico interno de malla al tráfico total define el número de enlaces de malla entre los puntos de acceso de malla en el que un tráfico interno más elevado conduce a un número mayor de enlaces de malla entre los puntos de acceso de malla, y viceversa.

6. Procedimiento, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, en el que la proporción β de tráfico saliente y entrante en la malla define el número de enlaces de malla a partir de los puntos de acceso de la malla a la pasarela GW, en el que un tráfico mayor de enlace descendente conduce a un número más elevado de enlaces de malla desde la GW al AP, y viceversa.

7. Procedimiento, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, en el que se utilizan procedimientos de equilibrado de carga de tráfico para reconfigurar una red en malla para conseguir un rendimiento de red general óptimo después del cambio de los enlaces de malla.

8. Procedimiento, según una o varias de las reivindicaciones anteriores, en el que la relación p es almacenada en la lógica de control de reconfiguración inteligente como función de n, m β, midiendo la proporción entre la cantidad de tráfico intra-malla y el tráfico total en cada AP y transfiriendo esta información a una unidad de control que calcula la cifra promedio p para la red en malla en el nodo de control central a partir de una tabla de consulta, almacenando la relación entre la ganancia que se puede conseguir de promedio y los parámetros, deduciendo a continuación la configuración óptima en términos de enlaces de malla q adicionales o menos activados y se envía una señal de conmutación de activación o desactivación de estos enlaces a todos los AP.

9. Sistema de red en malla, en el que la red en malla comprende n puntos de acceso de malla AP y, como mínimo, una pasarela GW, teniendo cada AP, como mínimo, un interfaz para establecer, como mínimo, m enlaces de malla, en el que, como mínimo, un AP o un nodo central especializado comprende una unidad de determinación para determinar la proporción β de tráfico entrante y tráfico saliente de la y/o una proporción p de tráfico interno de malla con respecto al tráfico externo y dependiendo de umbrales predefinidos para β y/o p, y/o enlaces adicionales de malla q, los AP son capaces de sumar m+q o restar m-q entre dos o más AP, y de enrutar el tráfico correspondiente sobre los enlaces de malla.

10. Sistema de red en malla, según la reivindicación 9, en el que la relación β de tráfico entrante y tráfico saliente en la malla se calcula como cantidad de tráfico a partir de una fuente de datos situada dentro de la malla, que tiene que ser enrutada a través de la pasarela GW a un destino dentro de una red externa con respecto a la cantidad de tráfico desde una fuente de datos fuera de la red en malla que tiene que ser enrutada a través de la pasarela GW a un destino dentro de la red en malla, y/o en el que la proporción p de tráfico interno total de la malla se calcula como cantidad de tráfico interno de la malla en el que tanto la fuente de datos como el destino están localizados dentro de la red en malla con respecto a la cantidad total de tráfico interno y externo de la malla a partir de la inspección de los paquetes recibidos y reenviados.

11. Sistema de red en malla, según la reivindicación 9, en el que el nodo central especializado está adaptado para medir la información de tráfico en términos de parámetros p y β centralmente y para distribuir el resultado a todos los AP dentro de la red en malla para adaptar el número de enlaces de malla.

12. Sistema de red en malla, según la reivindicación 9, en el que la información de tráfico en términos de parámetros p y β es medida localmente y distribuida a todos los AP dentro de la red en malla para adaptar el número de enlaces de malla.

13. Sistema de red en malla, según una o varias de las reivindicaciones 10-12, en el que la proporción p de tráfico interno de malla con respecto al tráfico total p define el número de enlaces de malla entre los puntos de acceso de malla, en el que un tráfico interno más elevado conduce a un número mayor de enlaces de malla entre los puntos de acceso de malla y viceversa.

14. Sistema de red en malla, según una o varias de las reivindicaciones 10-13, en el que la proporción β de tráfico saliente y entrante en la malla define el número de enlaces de malla a partir de los puntos de acceso de la malla a la pasarela GW, en el que un mayor tráfico entrante en la malla conduce a un número más elevado de enlaces de malla desde la GW al AP, y viceversa.

15. Sistema de red en malla, según una o varias de las reivindicaciones 10-14, en el que los procedimientos de equilibrado de carga de tráfico son utilizados para reconfigurar una red en malla para conseguir un rendimiento de red global óptimo después del cambio de los enlaces de malla.

16. Sistema de red en malla, según una o varias de las reivindicaciones 10-15, en el que la relación p es almacenada en la lógica de control de reconfiguración inteligente del AP o el nodo central como función de n, m β, midiendo la proporción entre la cantidad de tráfico intra-malla y el tráfico total en cada AP y transfiriendo esta información a la unidad de control que calcula la cifra promedio de p para la red en malla a partir de una tabla de consulta de la unidad central de control, almacenando la relación entre la ganancia promedio que se puede conseguir y los parámetros, deduciendo a continuación la configuración óptima en términos de enlaces de malla q adicionales o menos activados, y una señal de activar o desactivar de estos enlaces se envía a todos los AP.

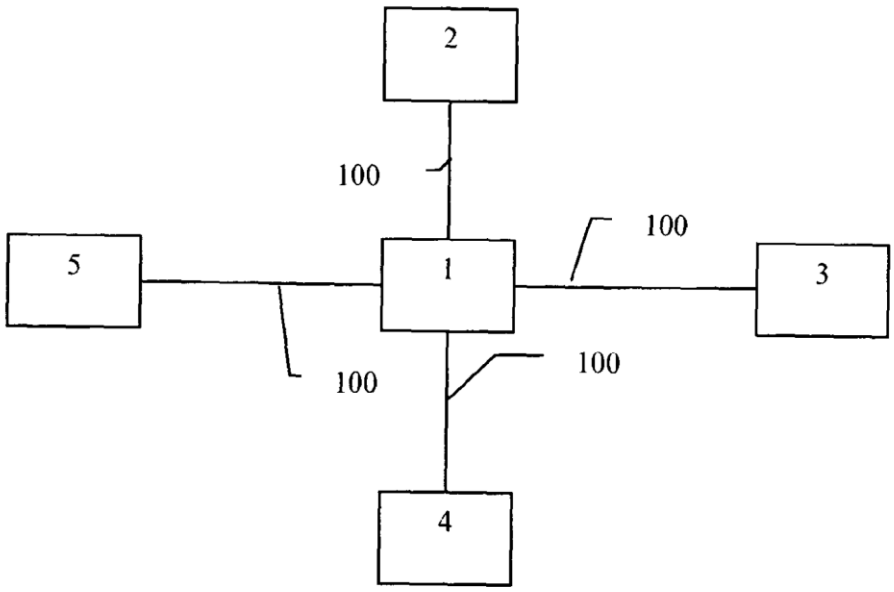


Figura 1

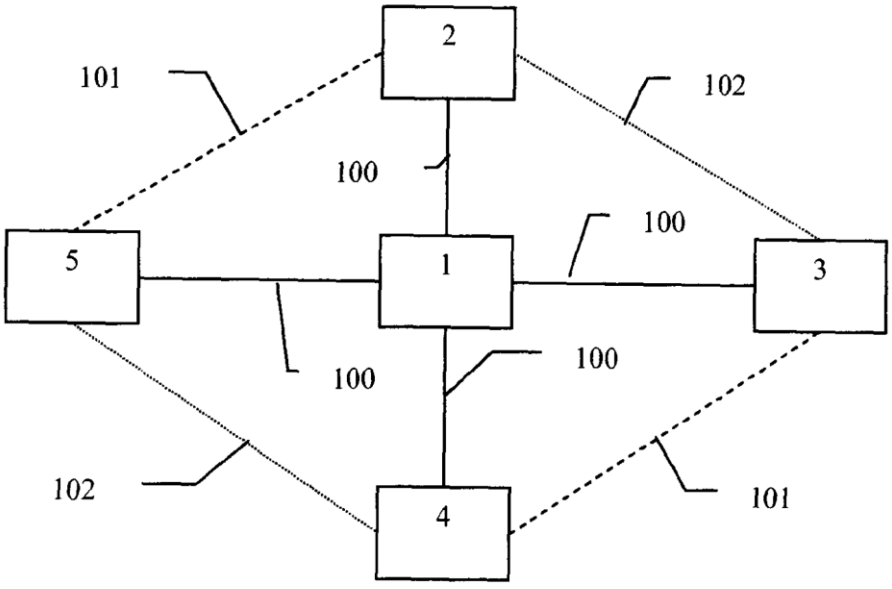


Figura 2

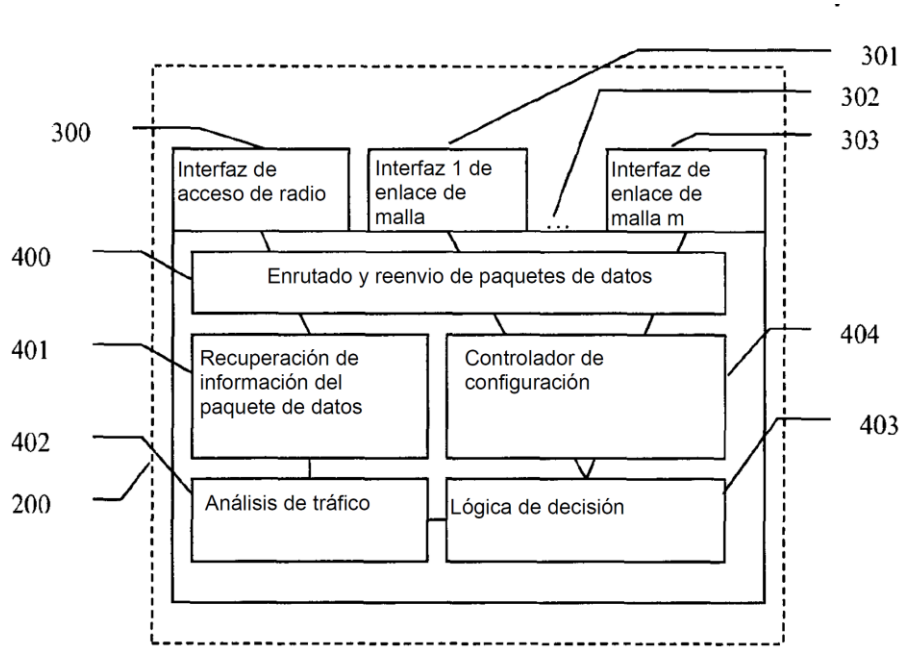


Figura 3

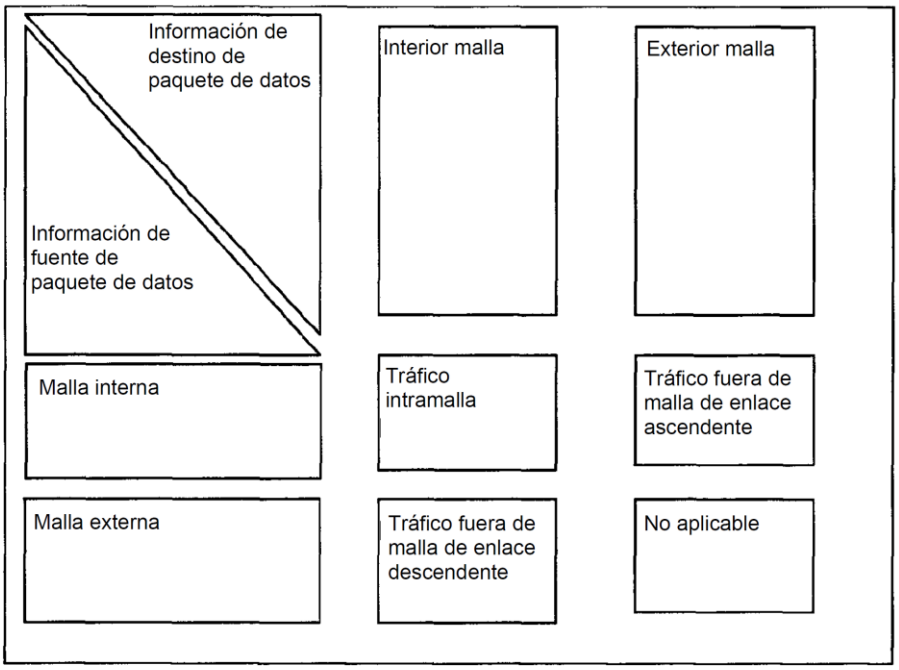


Figura 4

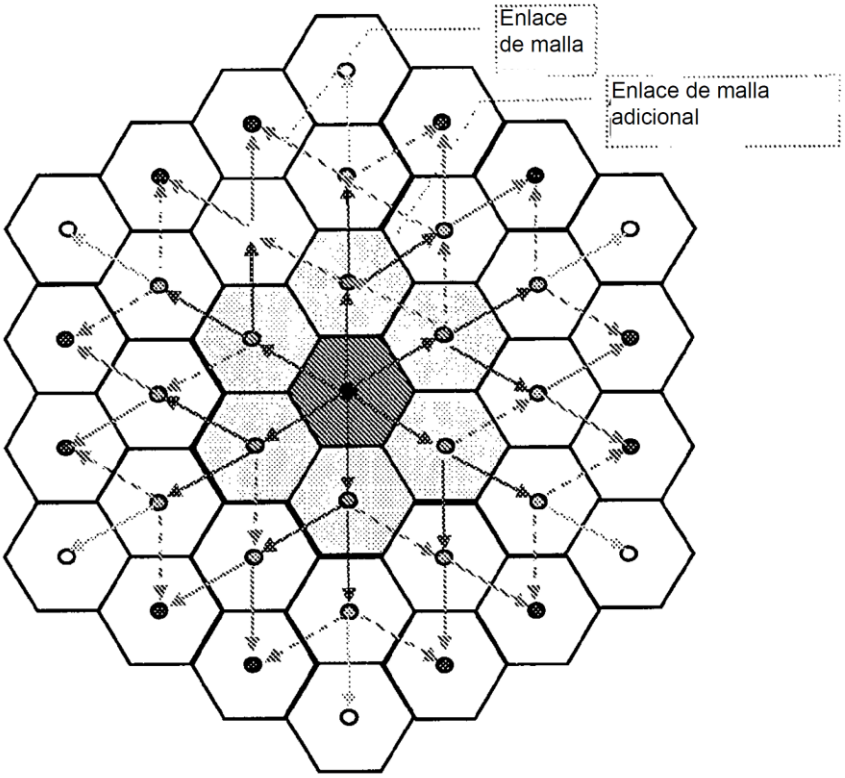
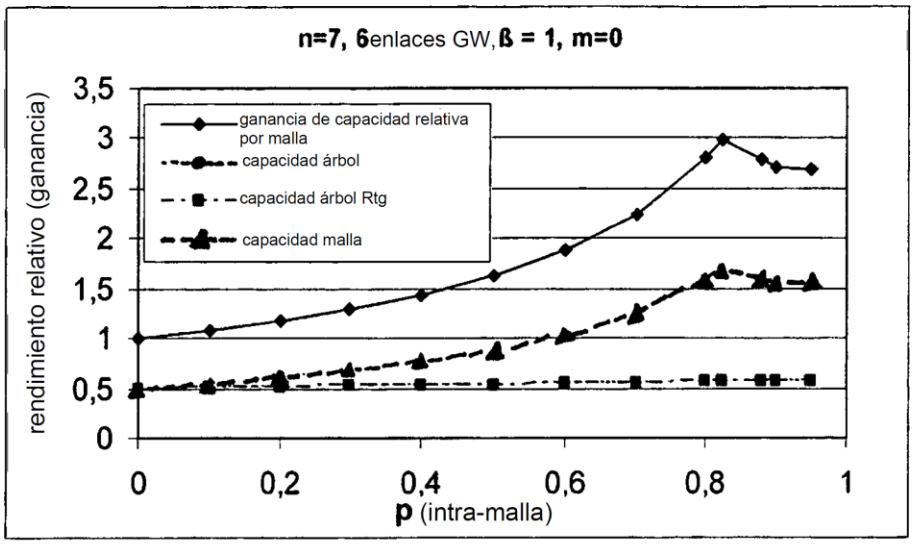


Figura 5


n=7, 6enlaces GW, ß = 1, m=0
rendimiento relativo (ganancia)
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
ganancia de capacidad relativa por malla
capacidad árbol
capacidad árbol Rtg
capacidad malla
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
p (intra-malla)

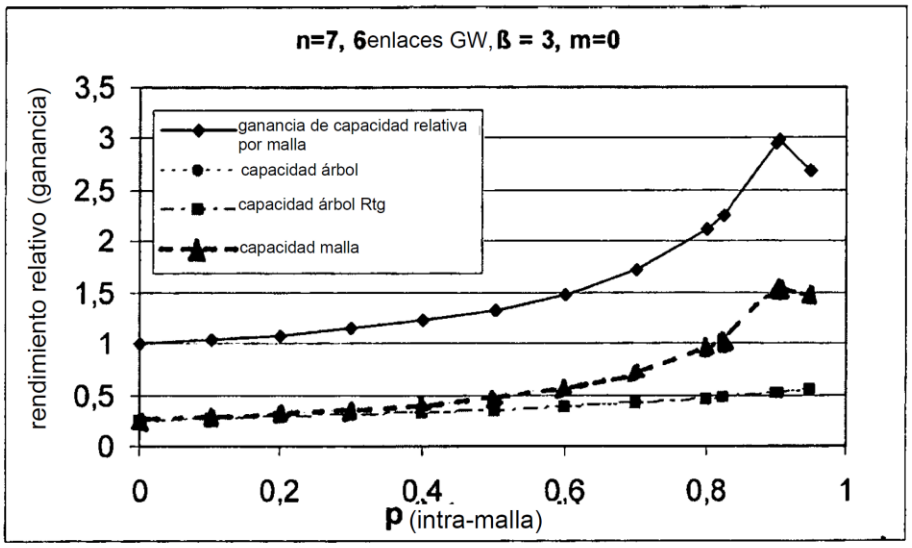
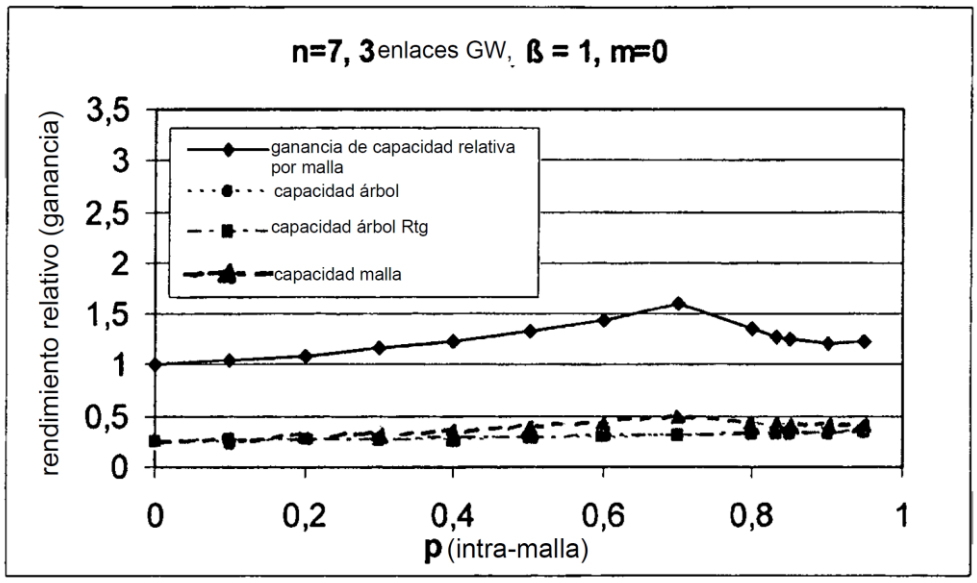

n=7, 6enlaces GW, ß = 3, m=0
rendimiento relativo (ganancia)
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
ganancia de capacidad relativa por malla
capacidad árbol
capacidad árbol Rtg
capacidad malla
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
p (intra-malla)

Figura 6


n=7, 3enlaces GW, ß = 1, m=0
rendimiento relativo (ganancia)
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
ganancia de capacidad relativa por malla
capacidad árbol
capacidad árbol Rtg
capacidad malla
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
p (intra-malla)

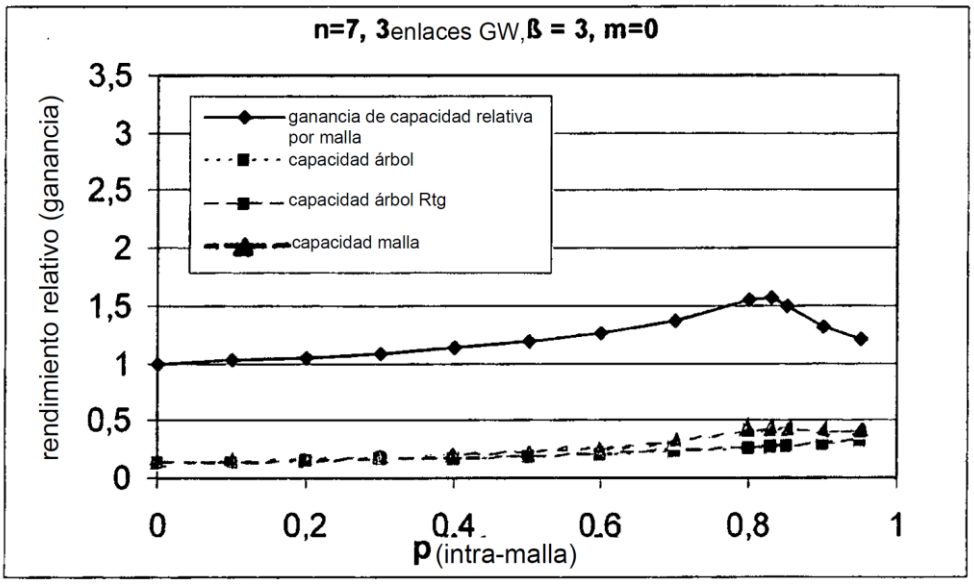
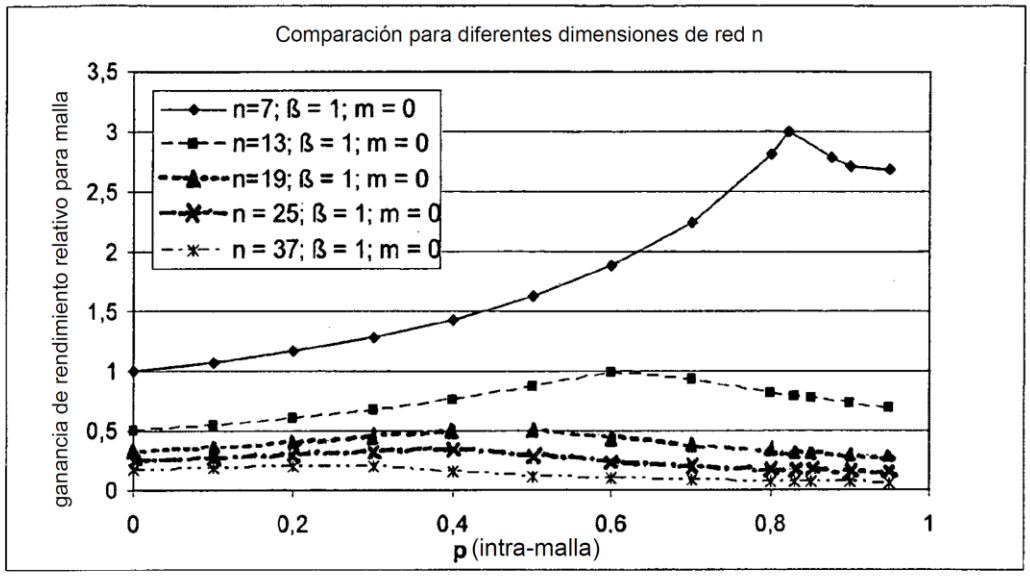

n=7, 3enlaces GW,ß = 3, m=0
rendimiento relativo (ganancia)
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
ganancia de capacidad relativa por malla
capacidad árbol
capacidad árbol Rtg
capacidad malla
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
p (intra-malla)

Figura 7


Comparación para diferentes dimensiones de red n
ganancia de rendimiento relativo para malla
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
n=7; ß = 1; m = 0
n=13; ß = 1; m = 0
n=19; ß = 1; m = 0
n = 25; ß = 1; m = 0
n = 37; ß = 1; m = 0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
p (intra-malla)

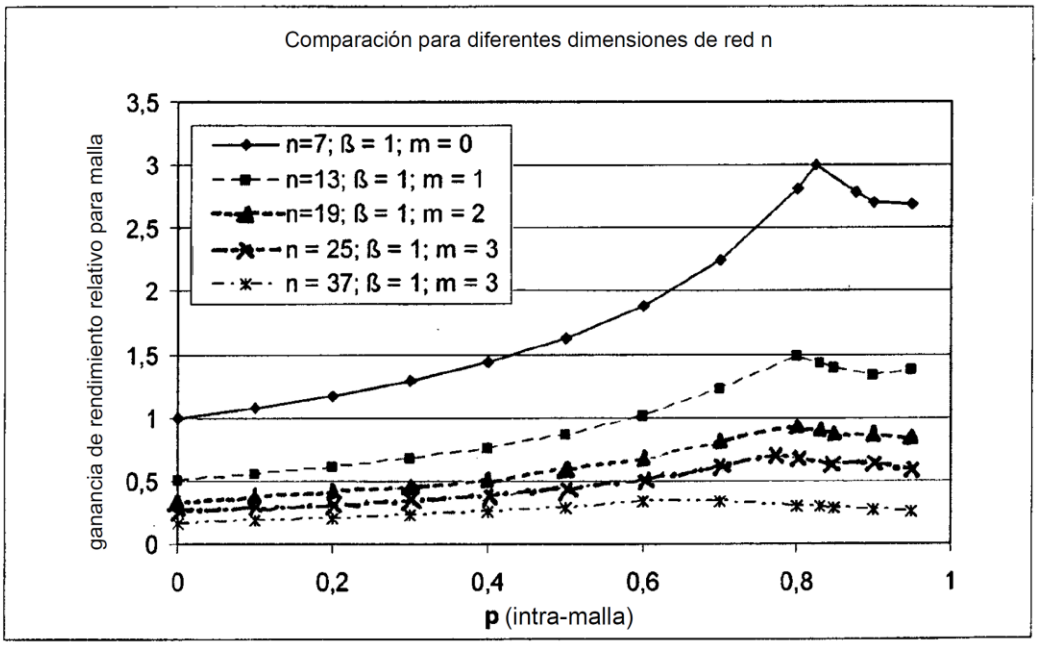

Comparación para diferentes dimensiones de red n
ganancia de rendimiento relativo para malla
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
n=7; ß = 1; m = 0
n=13; ß = 1; m = 1
n=19; ß = 1; m = 2
n = 25; ß = 1; m = 3
n = 37; ß = 1; m = 3
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
p (intra-malla)

Figura 8

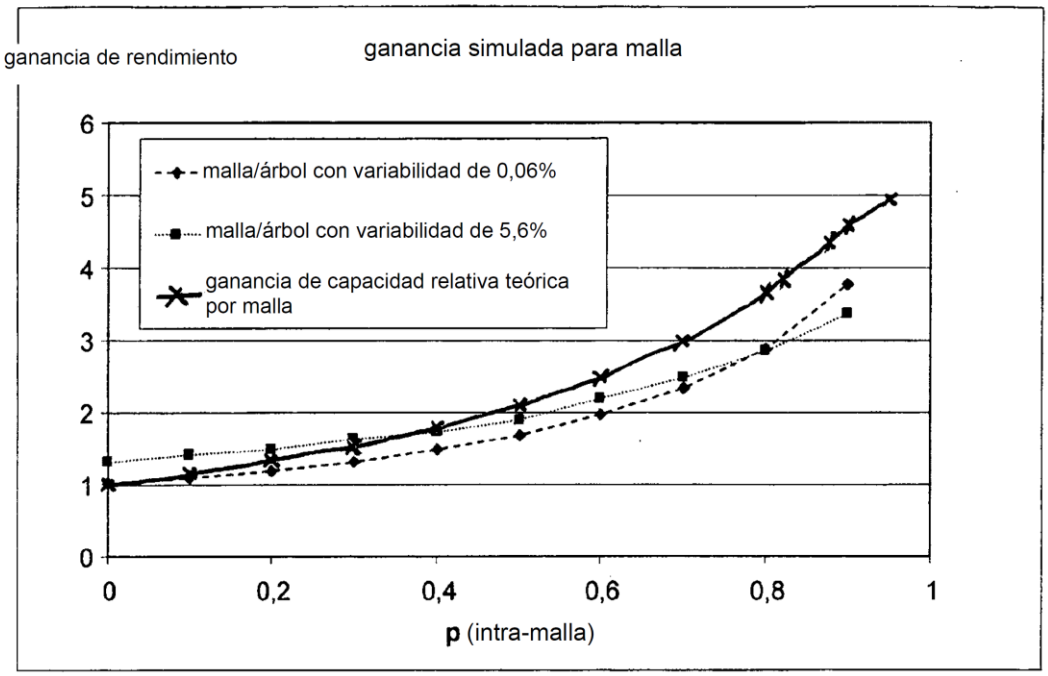


Figura 9

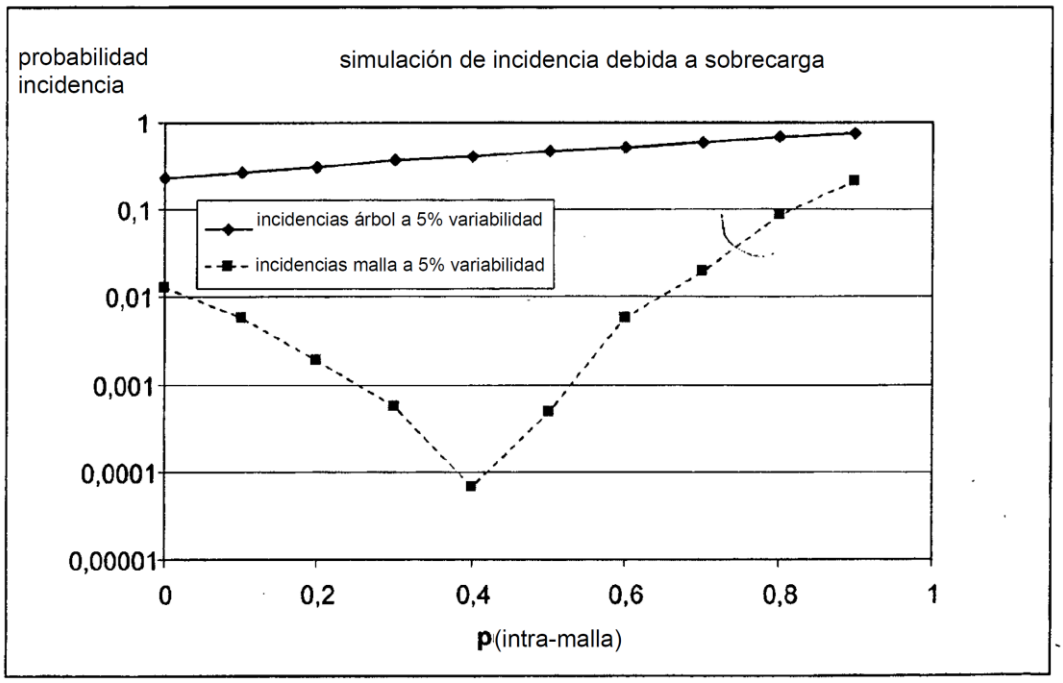


Figura 10

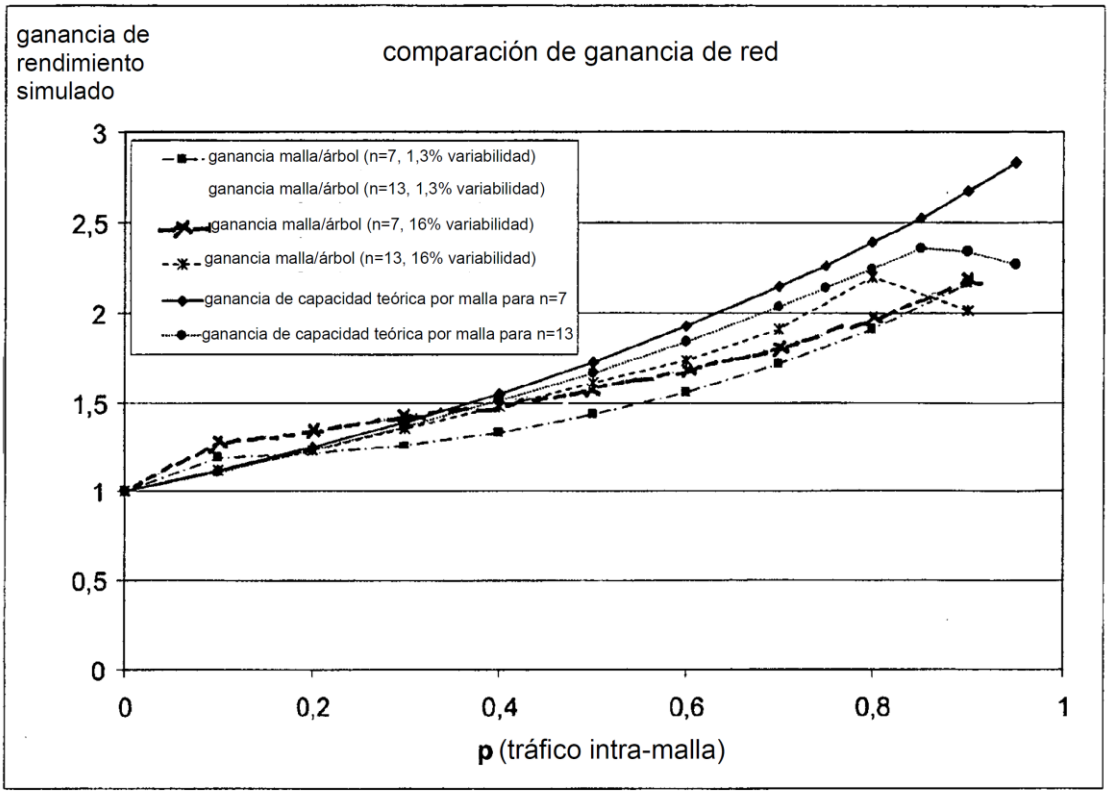

ganancia de rendimiento simulado
comparación de ganancia de red
ganancia malla/árbol (n=7, 1,3% variabilidad)
ganancia malla/árbol (n=13, 1,3% variabilidad)
ganancia malla/árbol (n=7, 16% variabilidad)
ganancia malla/árbol (n=13, 16% variabilidad)
ganancia de capacidad teórica por malla para n=7
ganancia de capacidad teórica por malla para n=13
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
p (tráfico intra-malla)

Figura 11