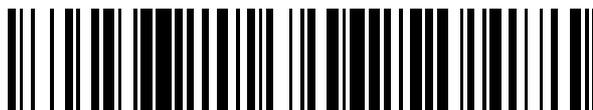


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 670 434**

51 Int. Cl.:

H04W 52/32 (2009.01)

H04W 52/34 (2009.01)

H04W 16/08 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.04.2007 PCT/US2007/009545**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.11.2007 WO07123980**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.04.2007 E 07775746 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018 EP 2008374**

54 Título: **Procedimientos y dispositivos de equilibrio de la carga en puntos de acceso en redes de área local inalámbricas**

30 Prioridad:

20.04.2006 US 793305 P
07.06.2006 US 447912

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.05.2018

73 Titular/es:

ALCATEL-LUCENT USA INC. (100.0%)
600-700 Mountain Avenue
Murray Hill, NJ 07974 , US

72 Inventor/es:

BEJERANO, YIGAL y
HAN, SEUNG-JAE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 670 434 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

Procedimientos y dispositivos de equilibrio de la carga en puntos de acceso en redes de área local inalámbricas

Solicitud relacionada

5 Esta solicitud se refiere a, y reivindica el beneficio de prioridad de, la Solicitud de Patente de Estados Unidos Provisional N.º 60/793305 presentada el 20 de abril de 2006 titulada "Cell Breathing Techniques for Load Balancing in Wireless LANS".

Antecedentes de la invención

10 En redes de área local inalámbricas (WLAN), un dispositivo inalámbrico explora todos los canales disponibles para detectar puntos de acceso (AP) cercanos y a continuación se asocia así mismo con un AP que tiene el indicador de intensidad de señal recibida (RSSI) más fuerte sin tomar en consideración la carga en un AP de este tipo o en otros AP cercanos. Recientes estudios sobre WLAN de IEEE 802.11 operacionales han mostrado que a menudo las cargas de tráfico se distribuyen desigualmente entre AP dentro de una WLAN. Típicamente, en cualquier momento dado algunos AP tienden a sufrir grandes cargas (así llamadas AP "congestionadas") mientras que otras no. Esta situación crea un desequilibrio de carga dentro de una WLAN. No se desean desequilibrios de carga porque impiden que una red utilice completamente su capacidad y evita que la red proporcione servicios de una manera imparcial y uniforme.

15 En la actualidad la norma IEEE 802.11 WLAN no proporciona un procedimiento establecido para resolver desequilibrios de carga. Para superar esta deficiencia, se han propuesto diversos esquemas de equilibrio de carga tanto por el ámbito académico como la industria. La mayoría de estos procedimientos toman el enfoque de controlar directamente asociaciones de usuario-AP desplegando software de cliente propietario o tarjetas de WLAN diseñadas especialmente en dispositivos (por ejemplo, ordenadores) operados por usuarios. En estos enfoques los AP difunden sus niveles de carga a los dispositivos de usuario (en ocasiones denominados como solo "usuarios") a través de mensajes de baliza modificados, y cada usuario elige el AP menos cargado.

20 Aunque un enfoque de selección de usuario de este tipo puede conseguir equilibrio de carga, es difícil conseguir el despliegue de software/hardware de cliente propietario a todos (o la mayoría) los dispositivos de usuario. Por ejemplo, hoy los usuarios acceden una diversidad de WLAN tales como hoteles, aeropuertos, centros comerciales y campus universitarios. Estas diferentes redes se gestionan mediante diferentes organizaciones que han adoptado más probablemente diferentes mecanismos de equilibrio de carga. No es realista esperar que los usuarios tengan múltiples y diferentes módulos de cliente; uno para cada red diferente.

25 Por lo tanto, es deseable proporcionar nuevos esquemas de equilibrio de carga que no requieran el uso de módulos de cliente propietarios y similares.

30 Otros tipos de redes también se enfrentan a desafíos de equilibrio de carga. Por ejemplo, en redes celulares de CDMA un aumento en el número de usuarios activos en una célula provoca un aumento en la interferencia total detectada en las estaciones base de la célula. Esto provoca que la célula se congestione. Cuando una célula se congestiona, los dispositivos operados por usuarios dentro de la célula necesitan transmitir a niveles de potencia más altos para superar los efectos de interferencia para garantizar que las señales que se están transmitiendo a las estaciones base se reciben a relaciones de señal a interferencia aceptables. Como los niveles de potencia dentro de una célula aumentan, las señales generadas provocan un aumento de interferencia con células vecinas. Como resultado, la capacidad general de una red que tiene tales células comienza a descender. Para superar estos aumentos no deseados en interferencia, se han desarrollado las así llamada técnicas de "respiración celular". Hablando en general, sin embargo, las técnicas de respiración celular existentes desarrolladas para redes de CDMA no funcionan bien en WLAN.

35 Porque WLAN se enfrenta a desafíos de equilibrio de carga similares que en redes CDMA, los presentes inventores comenzaron a estudiar cómo resolver estos desafíos comprendiendo primero las deficiencias de técnicas de respiración celular existentes. Por ejemplo, haciendo referencia a la Figura 1(a), se muestra una WLAN 1 con tres AP, *a*, *b* y *c* que se suponen que están transmitiendo al mismo nivel de potencia máxima. Por simplicidad, se asignará un número de usuarios a cada AP. En la Figura 1(a), 1 usuario se asigna inicialmente al AP *a*, 8 al AP *b* y 1 al AP *c*. En este ejemplo, se define la carga de un AP para ser el número de sus usuarios asignados o asociados. Dado este escenario, el AP *b* tiene una carga mucho mayor que AP *a* y *c*. De acuerdo con una técnica de respiración celular existente, para reducir la carga en AP *b* debe reducirse su potencia de transmisión. Esto conduce a una reducción en el alcance de transmisión/tamaño de célula de *b*. En la Figura 1(a) el alcance encoge desde el límite 101 a 102, por ejemplo. Como se ilustra en la Figura 1(a), los cuatro usuarios/dispositivos 1-4 ubicados más lejos del AP *b* se ven afectados por esta reducción en tamaño de célula. En su tamaño original, los usuarios 1-4 están dentro de la célula y, por lo tanto, dentro del alcance de transmisiones de AP *b*. A medida que la célula encoge del tamaño 101 a 102 los usuarios 1-4 se encuentran a sí mismo ubicados en el borde del alcance de AP *b* (y por supuesto en ocasiones fuera del alcance). Estar alejado más allá de AP *b* habitualmente resulta en una disminución de la calidad de señal en los dispositivos usados por los usuarios 1-4. En respuesta a la detección de una calidad de señal inferior, los dispositivos usados por los usuarios 1-4 inician la exploración de operaciones para seleccionar un

5 AP asociado con una calidad de señal mayor. Por ejemplo, dos de los usuarios 1-2 en la Figura 1(a) pueden detectar una calidad de señal mayor desde el AP *a*, mientras los usuarios 3-4 detectan una calidad de señal mayor desde el AP *c*. Una vez que se detecta una calidad de señal mayor, de acuerdo con una técnica de respiración celular existente, los usuarios se desplazan a AP *a* y *c*, respectivamente. Como se ilustra en la Figura 1(b), el efecto neto es la distribución más uniforme de la carga/usuarios dentro de la WLAN 1 (es decir, porque se asignan ahora 3 usuarios a AP *a*, 4 a AP *b* y 3 a AP *c*).

10 Sin embargo, una reducción en la potencia de transmisión de AP *b* afecta a la calidad de señal de los canales/enlaces entre AP *b* y todos los usuarios dentro de su célula, no solo a los usuarios 1-4. Por lo tanto, usuarios/dispositivos 5-8 que no se desplazan a otro AP (es decir, permanecen asociados con AP *b*) también detectan calidades de señal inferiores. En respuesta, los dispositivos usados por los usuarios 5-8 pueden tener que comunicarse a una tasa de bits inferior. A tasas de bits más lentas, la información (en ocasiones denominada como "tráfico") puede tardar más en transmitirse desde un usuario 5-8 al AP *b*. Esto aumenta de forma efectiva la carga contribuida por cada usuario 5-8 en AP *b* (si la carga de AP se determina considerando no únicamente el número de usuarios sino también el caudal de usuario efectivo). Por lo tanto, en lugar de reducir la carga en un AP, técnicas de respiración celular existentes pueden realmente aumentar la carga.

15 Por consiguiente, es deseable proporcionar procedimientos y dispositivos que eviten o minimicen desequilibrios de carga dentro de redes inalámbricas. En particular, es deseable proporcionar procedimientos de respiración de célula más efectivos (y dispositivos asociados) que puedan usarse para minimizar desequilibrios de carga dentro de WLAN.

20 La publicación de Patente de Estados Unidos N.º 2005/0152320 a Marinier et al., publicada el 14 de julio de 2005, se dirige a un procedimiento de comunicación inalámbrica y aparato de equilibrio de la carga de puntos de acceso.

Un artículo del IEEE (0-7803-4872-9/98), describiendo un algoritmo de compartición de carga dinámica a través de control de potencia en CDMA celular, publicado en 1998 en las páginas 1280-1284, da a conocer un algoritmo que maximiza dinámicamente el uso de capacidad de CDMA mediante compartición de carga de células adyacentes.

Sumario de la invención

25 Los inventores han descubierto procedimientos y dispositivos que minimizan desequilibrios de carga dentro de redes inalámbricas, tales como WLAN, pero evitando los desequilibrios descritos anteriormente. De acuerdo con la presente invención, el nivel de potencia de transmisión usado para transmitir datos/tráfico se separa del nivel de potencia de transmisión usado para transmitir mensajes de baliza; únicamente se reduce el último.

30 Manteniendo el nivel de potencia usado por un AP para transmitir datos, se mantiene la tasa de bits de transmisión de dispositivos dentro del alcance del AP. Sin embargo, porque cada usuario/dispositivo dentro de un AP, o los que se acercan a un AP, determina si permanecer o no asignado (o asignarse) a un AP existente o conmutar a otro AP detectando y evaluando la calidad de señal de mensajes de baliza separados del AP al que está actualmente asignado (o busca asignarse a), reduciendo el nivel de potencia usado para transmitir mensajes de baliza la presente invención, en efecto, encoge el tamaño de una célula(s) del AP. En consecuencia, esto desanima a nuevos usuarios a asignarse a un AP. En el caso en el que un AP ya está congestionado, esto evita que el AP se congestione adicionalmente.

35 Reducir la carga de tráfico en un AP es parte de la solución para evitar desequilibrios de carga. La otra parte es dirigir o redirigir ("dirigir" colectivamente) tráfico desde un AP a un AP vecino que no está sobrecargado.

40 La combinación de reducir la carga de tráfico en un AP mientras se aumenta la carga en un AP vecino adecuado equilibra la carga de tráfico dentro de una WLAN.

Por el contrario a intentos anteriores de equilibrar cargas de tráfico dentro de una WLAN que dependen principalmente de heurísticas de optimización locales, la presente invención usa procedimientos de dimensionamiento de célula óptimos (y dispositivos asociados) para encontrar soluciones de equilibrio de carga *mín-máx* determinísticas.

45 Los procedimientos y dispositivos proporcionados por la presente invención también son particularmente atractivos porque no requieren la ayuda de usuario o la modificación de normas 802.11 existentes, a diferencia de la mayoría de propuestas existentes para equilibrio de carga de WLAN.

50 En su lugar, los procedimientos proporcionados por la presente invención pueden implementarse cambiando software que controla dispositivos existentes. Más particularmente, por ejemplo, cambiando software usado por un controlador de red o unidad de gestión que se ubica en un centro de operaciones de red (NOC).

55 En una realización de la invención, un controlador de este tipo es operable para disminuir un tamaño de célula del AP cambiando la potencia de transmisión de los mensajes de baliza del AP sin cambiar la potencia de transmisión del canal de tráfico de datos del AP. Posteriormente, el controlador dirige a usuarios/ dispositivos cerca de un límite de la célula a AP menos congestionados. Hoy, AP disponibles ya soportan múltiples niveles de potencia de transmisión, así que los inventores creen que la presente invención puede implementarse fácilmente, por ejemplo,

distribuyendo/descargando actualizaciones de software en AP existentes.

Además, los procedimientos de respiración de célula novedosos proporcionados por la presente invención no están sujetos a ninguna definición de carga particular, sino que soportan un amplio abanico de definiciones de carga. Las contribuciones de carga pueden ser tan simples como el número de usuarios asociados con un AP o pueden ser más sofisticadas para tener en cuenta factores como tasa de bits de transmisión efectiva, demanda de tráfico promedio o contribuciones de carga de usuario multiplicativas.

En realizaciones adicionales de la invención, procedimientos y controladores proporcionados por la invención que operan en un centro de operaciones de red (NOC) o similar recogen datos e información de asociación de AP (por ejemplo, a través de mensajes de Protocolo de Gestión de Red Simple, "SNMP"). Dependiendo del alcance de la información disponible, uno de dos modelos o procedimientos (las dos palabras pueden usarse de manera intercambiable en el presente documento) pueden a continuación usarse para efectuar equilibrio de carga. El primero es un modelo de *conocimiento completo* (CK), en el que asociaciones de usuario-AP potenciales y sus correspondientes cargas de AP se conocen *a priori* para todas las posibles asignaciones de potencia de baliza. Porque tal información puede no estar disponible fácilmente, la presente invención proporciona también un modelo de *conocimiento limitado* (LK) en el que las asociaciones de usuario-AP y cargas de AP están disponibles únicamente para las asignaciones de potencia de baliza actuales. El modelo CK sirve como un componente básico para el modelo LK más práctico.

Cada uno de los modelos proporcionados por la presente invención implica, en general, dos etapas. La primera etapa es minimizar la carga en el AP más congestionado, cuya carga se llama la *carga de congestión*. La presente invención proporciona dos algoritmos/procedimientos de tiempo polinómicos (en lo sucesivo denominados como "procedimientos" o "procedimiento") que encuentran soluciones óptimas, una para cada modelo. Esto es un logro significativo porque los problemas de equilibrio de carga se conocen que son NP-complejos fuertes (es decir, muy difíciles de resolver dentro de una cantidad de tiempo determinada). Además, es particularmente significativo que los presentes inventores han descubierto un procedimiento óptimo de tiempo polinómico que puede usarse en el modelo LK. De acuerdo con la presente invención, las soluciones proporcionadas para resolver los problemas de equilibrio de carga son a base de la idea descubierta por los inventores que, siempre que ajustes de nivel de potencia de AP actuales 'dominen' ajustes de nivel de potencia óptimos (es decir, cada AP tiene el mismo o mayor nivel de potencia que el nivel de potencia en una solución óptima), una solución óptima puede obtenerse sin embargo realizando una secuencia de operaciones de reducción de potencia. En un procedimiento ilustrativo proporcionado por la presente invención, comenzando desde un nivel de potencia máxima, el nivel de potencia de un conjunto de AP seleccionado se reduce iterativamente. En el modelo CK, el concepto de un *conjunto de cuello de botella* se usa para garantizar convergencia con una solución óptima. Después de reducir el nivel de potencia de todos los AP en el *conjunto de cuello de botella*, se garantiza que la carga de cada AP permanezca la misma o estrictamente inferior que la carga de congestión inicial antes de las reducciones de nivel de potencia. Para el modelo LK se usa un enfoque diferente, llamado *registro de estado óptimo*, en el que los niveles de potencia de AP congestionados se reducen gradualmente hasta que la potencia no puede reducirse más, registrando todo el tiempo la mejor solución encontrada después de cada reducción en potencia.

La segunda etapa implica resolver el problema de encontrar una solución o soluciones de carga equilibrada *mín-máx*. Aunque las evidencias se han omitido por claridad/brevidad en el presente documento, los inventores han descubierto/probado que esto es también un problema de NP-complejo fuerte a resolver y que no existe un procedimiento aceptable de aproximación a una solución. Más específicamente, los inventores probaron que no existe ningún procedimiento que garantice ninguna tasa de aproximación de coordenadas y la tasa de aproximación de cualquier algoritmo de aproximación de prefijo-suma es al menos $P(\log n)$, en la que n es el número de AP en la red. Impertérritos, los inventores descubrieron una variante del problema de *mín-máx*, llamado *equilibrio de carga prioritaria*, cuya solución óptima puede calcularse en un tiempo polinómico para ambos modelos. En equilibrio de carga prioritaria, la carga de AP se define como un par ordenado de las contribuciones de carga agregadas de los usuarios asociados del AP y una prioridad de AP única. Usando *registro de estado óptimo*, se construyó un procedimiento que calcula iterativamente cada coordenada de una solución o soluciones de carga equilibrada prioritaria *mín-máx*.

Breve descripción de los dibujos

Las Figuras 1(a) y (b) representan ejemplos de WLAN usadas para ilustrar características de la presente invención.

Las Figuras 2(a) y (b) representan ejemplos adicionales de WLAN usadas para ilustrar características de la presente invención.

La Figura 3 representa un ejemplo de un programa de software que puede usarse para calcular un "conjunto de cuello de botella" de acuerdo con la presente invención.

La Figura 4 representa un ejemplo de un programa de software que puede usarse para ejecutar un procedimiento de conocimiento completo de la presente invención.

Las Figuras 5(a) a (d) representan ejemplos de cambios a una WLAN como resultado de la ejecución del procedimiento de conocimiento completo de la presente invención.

La Figura 6 representa un ejemplo de un programa de software que puede usarse para ejecutar un procedimiento de conocimiento limitado de la presente invención.

5 Las Figuras 7(a) a (d) representan ejemplos de cambios a una WLAN como resultado de la ejecución del procedimiento de conocimiento limitado de la presente invención.

La Figura 8 representa un ejemplo de un programa de software que puede usarse para ejecutar un procedimiento de equilibrio de carga prioritaria *min-máx* de la presente invención.

10 Las Figuras 9(a) y (b) representan ejemplos de cambios a una WLAN como resultado de la ejecución del procedimiento de equilibrio de carga prioritaria *min-máx* de la presente invención.

Las Figuras 10 a través de 13 representan gráficos que ilustran las diferencias entre procedimientos proporcionados por la presente invención y procedimientos de equilibrio de carga existentes.

La Tabla I es una lista de algunos de los símbolos usados a lo largo de esta descripción y sus significados ilustrativos.

15 La Tabla II representa estadísticas de ejecución ilustrativas para un controlador o similar que ejecuta un procedimiento de conocimiento limitado proporcionado por la presente invención.

Descripción detallada de la invención, con ejemplos

Haciendo referencia de nuevo a la Figura 1(a), se muestra una WLAN 1000 con un conjunto de AP, indicados mediante *a-c*. Aunque no se muestra, debería entenderse que todos los AP *a-c* pueden unirse directamente a una infraestructura por cable, por ejemplo, la Internet. Cada AP *a-c* tiene un cierto alcance de transmisión y puede servir únicamente a esos usuarios 1-8 dentro de su alcance. Además, cada AP *a-c* puede configurarse para usar uno de una pluralidad de niveles de potencia de transmisión. Por simplicidad, puede suponerse que los AP *a-c* se despliegan para garantizar un alto grado de solapamiento entre sus alcances de modo que cada usuario 1-8 está cubierto por al menos un AP incluso cuando todos los AP están transmitiendo en un nivel de potencia mínimo.

25 Además, puede suponerse que usuarios 1-8 tienen un patrón de movilidad cuasi estático. En otras palabras, usuarios pueden moverse libremente, pero tienden a permanecer en la misma ubicación relativa durante un largo periodo de tiempo. En cualquier periodo de tiempo dado, cada usuario 1-8 se asocia con un único AP *a-c*. Cada AP *a-c* transmite periódicamente mensajes de baliza para "anunciar" su presencia. Cuando un usuario entra a la WLAN 1000, su dispositivo asociado explora todos los canales dentro de la WLAN 1000 para detectar los mensajes de baliza. Después de la detección de los mensajes de baliza, el dispositivo del usuario está adicionalmente operable para medir el RSSI de cada mensaje detectado. Típicamente, el dispositivo a continuación inicia un procedimiento para crear un enlace entre el mismo y el AP asociado con el RSSI medido más fuerte. Posteriormente, siempre que la calidad de señal del enlace que el usuario ha establecido comienza a deteriorarse por debajo un cierto umbral, el dispositivo asociado con el usuario de nuevo inicia un procedimiento que explora todos los mensajes de baliza para determinar si existe una señal más fuerte. Si es así, el usuario/dispositivo trata de establecer un nuevo enlace con el AP asociado con la señal más fuerte.

El procedimiento que se acaba de describir equilibra la carga en los AP dentro de una WLAN disuadiendo a nuevos usuarios de asociarse con un AP congestionado. Sin embargo, esto puede no proporcionar un alivio inmediato a un AP congestionado. Para un alivio inmediato (es decir, reducción de carga), los usuarios/dispositivos ya asociados con el AP congestionado necesitan reasignarse fuera del AP congestionado. Para hacer eso, lo que se necesita es una forma de alentar, por así decirlo, que tales usuarios/ dispositivos recurran a sus operaciones de exploración para detectar un mensaje de baliza desde otro AP. Existe un número de formas en las que puede hacerse. Una forma es desencadenar desplazamientos de asociación después de que se altere el alcance de célula de un AP. En lo sucesivo, se limitará la descripción a solo el nivel de potencia de mensajes de baliza. Es decir, en lo sucesivo, cuando se usan las expresiones "potencia de transmisión" o "niveles de potencia" o "estado", se refieren únicamente a la potencia usada para transmitir mensajes de baliza a menos que se indique de otra manera o a no ser que el contexto indique de otra manera.

Como se ha indicado anteriormente, la primera etapa en la minimización de desequilibrios de carga es minimizar la carga en los AP dentro de una WLAN. En una realización de la invención, se usa el modelo CK para minimizar cargas. En una realización alternativa se usa el modelo LK.

Puede decirse que una red tiene "conocimiento completo" cuando (por ejemplo, un controlador dentro de un NOC) es capaz de detectar o recoger las atenuaciones de señal potenciales y contribuciones de carga asociados con cada par de usuario-AP dentro de una WLAN. Un estado de conocimiento completo es viable cuando todos los usuarios recogen información de RSSI de todos los AP cercanos y envían la misma a un controlador ubicado en el NOC. Desafortunadamente, esta capacidad no está disponible en la actualidad en la mayoría de WLAN existentes. Sin

embargo, el modelo CK es útil como un componente básico para el modelo LK que usa carga y asignaciones de usuario actuales.

Puede decirse que una red tiene conocimiento limitado cuando (por ejemplo, un controlador ubicado en un NOC) únicamente es capaz de detectar o recoger información relativa al conjunto de usuarios que están en la actualidad asignados a cada AP y la contribución carga de cada tal usuario en el AP al que están asignados.

De acuerdo con una realización de la invención, en el modelo CK, un controlador puede ser capaz de determinar *a priori* asignaciones/asociaciones de usuario-AP en todos los estados potenciales sin realmente cambiar el estado de una WLAN. Esto permite que el NOC realice cálculos fuera de línea para un estado deseado. Tales cálculos fuera de línea no son viables en el modelo LK.

Para superar problemas relacionados con convergencia (es decir, aunque la carga en un AP congestionado disminuye, la carga en otro AP aumenta) de cualquiera de los dos modelos a un estado equilibrado óptimo la presente invención proporciona el uso de los siguientes dos enfoques adicionales. Para el modelo CK, la presente invención primero calcula una así llamada *reducción de potencia de conjunto de cuello de botella*. Este enfoque implica la realización de una secuencia de reducciones de potencia de conjunto que *monótonamente* converge a un estado óptimo. Esto garantiza que una carga congestiva no aumenta. Como para el modelo LK, la presente invención primero usa *registro de estado óptimo*. En este enfoque, se mantienen registros del mejor estado encontrado hasta el momento.

De acuerdo con la presente invención, un *conjunto de cuello de botella* puede definirse como el conjunto de AP mínimo que contiene todos los AP congestionados (con carga Y) así como todos los AP cuya carga puede elevarse a o por encima de Y como resultado de realizar reducciones de potencia de conjunto. Los presentes inventores han desarrollado una expresión formal para el *conjunto de cuello de botella*. Sin embargo, esta expresión no se necesita para un entendimiento de la presente invención y se ha omitido en el presente documento. En su lugar, se presenta ahora un ejemplo de un *conjunto de cuello de botella*.

Considérese la WLAN 2000 mostrada en la Figura 2(a). Cuando los AP *a, b* tienen el mismo nivel de potencia una reducción en el nivel de potencia de AP *a* disminuye su carga de 3 a 1, mientras aumenta la carga en AP *b* a únicamente 2. Por lo tanto, el *conjunto de cuello de botella* en este momento puede decirse que contiene únicamente el AP *a*. Cuando *a* tiene un nivel de potencia inferior que *b*, como se ilustra en la Figura 2(b), sin embargo, la reducción del nivel de potencia de *b* reduce su carga de 2 a 0 y aumenta la carga de *a* a 3. En este caso, el *conjunto de cuello de botella* contiene ambos AP *a* y *b*. Para completitud, en la Figura 3 se representa un ejemplo de un programa/rutina de software proporcionado por la presente invención que puede usarse para calcular un *conjunto de cuello de botella*.

En el caso en el que un controlador tenga conocimiento completo de una WLAN, el conjunto de cuello de botella de la WLAN puede calcularse fácilmente. En primer lugar, se calcula el RSSI entre cada AP *a* y cada usuario. Esta información permite que el controlador determine las asignaciones/asociaciones de usuario-AP iniciales, la carga en cada AP *a* y la carga máxima Y. A partir de estas el controlador puede calcular un *conjunto de cuello de botella* usando formulas desarrolladas por los presentes inventores. De nuevo, los detalles de tales formulas no son necesarias para un entendimiento de la presente invención, aunque, como se ha indicado anteriormente, un ejemplo de una rutina para calcular un *conjunto de cuello de botella* se expone en la Figura 3. Basta señalar que el resultado neto de todas de las evidencias obtenidas los inventores es el siguiente descubrimiento: que el *conjunto de cuello de botella* para una WLAN dada es el conjunto de AP más pequeño que contiene un conjunto de AP congestionados que se alcanza al usar reducciones de potencia que no aumentan la carga en ningún otro AP a una carga máxima Y o mayor. Habiendo calculado el conjunto de cuello de botella de AP, controladores proporcionados por la presente invención a continuación usan este conjunto para minimizar la congestión en los AP dentro de una WLAN en la que el controlador tiene conocimiento completo de la WLAN.

De acuerdo con una realización de la invención, el procedimiento CK minimiza la congestión suponiendo inicialmente que todos los AP están en un estado de potencia máxima y transmiten a su potencia de transmisión máxima. Posteriormente, el procedimiento CK ejecutado por un controlador de acuerdo con la presente invención iterativamente calcula un *conjunto de cuello de botella*. Usando el conjunto calculado, el procedimiento a continuación determina si necesita aplicarse otra operación de reducción de potencia o si se encuentra un estado óptimo. Para este fin, el procedimiento CK hace uso de dos condiciones de terminación (es decir, condiciones que desencadenan el fin de reducciones de potencia). La primera condición determina si el *conjunto de cuello de botella* es igual al conjunto completo de AP. Esta condición puede satisfacerse cuando la carga en todos los AP dentro de una WLAN se equilibra de tal forma que reducciones de potencia adicionales provocarían que alguno de los AP se vuelva más congestionado, no menos. La segunda condición determina si el *conjunto de cuello de botella* contiene un AP que está transmitiendo usando un nivel de potencia mínima. Si es así, el nivel de potencia de todos los AP en el *conjunto de cuello de botella* no puede disminuirse uniformemente y el procedimiento se termina. Un caso de este tipo habitualmente se produce cuando el procedimiento CK determina que la carga en los AP dentro de una WLAN no está equilibrada y continúa intentando reducir la carga máxima reduciendo repetidamente el nivel de potencia de AP congestionados. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de un programa de software o rutina de realización de un procedimiento CK de acuerdo con la presente invención.

La Figura 5(a) representa un ejemplo de una WLAN 3000 en la que la congestión en los AP *a*, *b* y *c* dentro de la WLAN 3000 se ha minimizado usando un procedimiento CK ilustrativo de la presente invención. Como se muestra, además de AP *a*, *b* y *c*, la WLAN 3000 contiene usuarios ilustrativos, u_1 , u_2 , u_3 , u_4 y el controlador 3001. De acuerdo con realizaciones de la presente invención, AP *a*, *b* y *c* son operables para proporcionar al controlador 3001 con sus usuarios asociados, cargas e información relevante adicional. Tras la recepción y análisis de esta información, el controlador 3001 es operable para ejecutar los procedimientos proporcionados por la presente invención, incluyendo el procedimiento CK en descripción actualmente.

Continuando, cada uno de los AP *a*, *b* y *c* puede operar a 3 niveles de potencia diferentes, 0, 1 y 2. En la Figura 5(a), asignaciones/asociaciones de usuario-AP se representan como líneas continuas o discontinuas, en la que las líneas continuas indican cuando cada uno de los AP transmiten en el mismo nivel de potencia (asociaciones por defecto) y las líneas discontinuas indican otras asociaciones posibles. El número en cada línea indica la contribución por un usuario a la carga en su AP asociado. Por ejemplo, u_1 puede asociarse únicamente con *a* y contribuye una carga de 4. u_3 puede asociarse con cada uno de los AP, y contribuye una carga de 2. u_3 preferentemente elige el AP con el mayor nivel de potencia, pero en caso de un empate prefiere *c*. Si *c* está transmitiendo en un nivel de potencia inferior que *a* y *b* prefiere *b*. Un asterisco indica que se requiere una diferencia de dos niveles de potencia para desplazar un usuario, por ejemplo, u_2 puede cambiar su asociación de *a* a *b* únicamente si el nivel de potencia de AP *a* es 0 y el nivel de potencia de AP *b* es 2.

En un estado inicial mostrado en la Figura 5(b), todos los AP tienen el mismo nivel/índice de potencia, 2, y la carga en cada AP *a*, *b* y *c* es 7, 0 y 12, respectivamente. En una primera iteración de un procedimiento CK proporcionados por la presente invención, se calcula un conjunto de cuello de botella ("B") y AP *c* se identifica como que está contenido en el conjunto. Además, el nivel de potencia de *c* se reduce a 1. En consecuencia, u_3 cambia su asociación a AP *b*. Las nuevas asociaciones de usuario-AP y cargas se muestran en la Figura 5(c). Obsérvese que *b* es aún el AP congestionado. Sin embargo, reducciones adicionales en el nivel de potencia usado por el AP *c* para transmitir mensajes de baliza provocará que el usuario u_4 cambie su asociación a AP *b*, provocando que la carga en AP *b* se vuelva 17. Por lo tanto, en una segunda iteración ilustrada en la Figura 5(d), el conjunto de cuello de botella contendrá tanto *c* como *b*. Esta es la última iteración, ya que $p_c = 0$. El estado final mostrado en la Figura 5(d) minimiza la congestión, pero no equilibra las cargas en los AP no congestionados. Esto se deja para una segunda etapa de la presente invención analizada más adelante.

En un descubrimiento aún más adicional, los inventores descubrieron que los procedimientos CK proporcionados por la presente invención siempre encuentra un estado óptimo que minimiza la carga de congestión de una WLAN. Los inventores desarrollaron evidencias para apoyar este descubrimiento. Estas evidencias, sin embargo, no son necesarias para un entendimiento de la presente invención y se han omitido por claridad y brevedad. Por ejemplo, las evidencias no son necesarias para un entendimiento de cómo pueden usarse los procedimientos CK para minimizar la congestión.

Ahora se presta atención a una realización alternativa de la presente invención que puede usarse para minimizar la congestión cuando no es viable obtener conocimiento completo de una WLAN. Esta segunda realización es el procedimiento o procedimientos LK. A diferencia de los procedimientos CK, un conjunto de cuello de botella de AP no puede calcularse por adelantado.

Este obstáculo, sin embargo, se superó por los presentes inventores cuando descubrieron que siempre que un estado de la red (por ejemplo, una WLAN) es sub-óptimo (por ejemplo, las cargas en los AP en una WLAN están desequilibradas) y este estado domina una solución óptima, una secuencia de reducciones simultáneas a los niveles de potencia de señales de baliza asociadas con un conjunto de AP congestionados resulta en convergencia a un estado óptimo (es decir, a niveles de potencia óptimos que equilibran las cargas dentro de una WLAN). Este descubrimiento creó un dilema en sí mismo: el desafío de identificar una condición de terminación (es decir, cuando detener las reducciones) que se asocia con una solución óptima de este tipo. Sin una condición de terminación la secuencia de reducciones puede haber terminado generando una solución sub-óptima. Para determinar una condición de este tipo, los procedimientos LK proporcionados por la presente invención usan un enfoque de *registro de estado óptimo* que registra/almacena los niveles de potencia de transmisión de todos los AP que corresponden a una carga de congestión más baja. En más detalle, el enfoque de *registro de estado óptimo* define dos variables. La primera mantiene un estado registrado (por ejemplo, niveles) y el segundo mantiene un valor de carga de congestión asociado con el estado registrado, denominados como la carga de congestión registrada.

De acuerdo con una realización de la invención un procedimiento LK comprende las siguientes etapas. Inicialmente, el procedimiento comienza donde todos los AP están operando en un estado de potencia máxima (por ejemplo, niveles de potencia máximos) en la que un estado registrado (por ejemplo, niveles de potencia) y carga de congestión registrada se inicializan a algún valor. A continuación, el conjunto *D* de AP congestionados se calcula iterativamente, y, siempre que el conjunto *D* no contenga un AP en un nivel de potencia mínima, reduce iterativamente los niveles de potencia de los AP en el conjunto *D*. Después de cada iteración se mide una carga de congestión actual del nuevo estado, y si la carga actual medida es más baja que una carga de congestión almacenada/registrada anteriormente, entonces los niveles de potencia actuales (reducidos) y carga congestionada actual se almacenan en lugar de los niveles y carga anteriormente calculados. En la última iteración los niveles de potencia de los AP se establecen usando los últimos niveles de potencia/estado (reducidos)

almacenados/registrados. Un ejemplo de un programa de software de realización de un procedimiento LK de la presente invención se muestra en la Figura 6. Un ejemplo de cómo puede ejecutarse este procedimiento por un controlador o similar es como se indica a continuación.

5 Usando la WLAN 3000 mostrada en la Figura 5(a), puede observarse que en un estado inicial, todos los AP a , b y c tienen el mismo nivel de potencia/índice, 2. Haciendo referencia ahora a la Figura 7(a), se muestran asociaciones de usuario-AP iniciales ilustrativas y cargas de AP. En este ejemplo, c es el AP congestionado. De acuerdo con la presente invención, el procedimiento LK reduce el índice de potencia de AP c dos veces en dos iteraciones sucesivas, como se ilustra en las Figuras 7(b) y 7-(c). Después de la primera iteración, la carga en c se reduce de 12 a 10 y este estado se registra/almacena. Después de la segunda iteración, AP b se convierte en el AP congestionado con una carga congestionada de 17. En la tercera iteración, el procedimiento LK reduce el nivel de potencia/índice de AP b y el usuario u_3 cambia su asociación en consecuencia. Como resultado, AP c se convierte en el AP congestionado una vez más. Porque AP c está ahora transmitiendo usando un nivel de potencia mínima, se termina el procedimiento. Al final, el procedimiento (por ejemplo, un controlador) configura los AP a , b y c usando el estado registrado (por ejemplo, asigna niveles de potencia a los AP), como se ilustra en la Figura 7(b).

15 Como se ha mencionado anteriormente, los inventores descubrieron que el procedimiento LK siempre encuentra un estado óptimo que minimiza la carga de congestión de red. De nuevo, aunque los inventores desarrollaron evidencias detalladas de este descubrimiento, se han omitido para mantener la presente descripción tan simple como sea posible.

20 Los procedimientos de conocimiento completo y limitado analizados anteriormente minimizan cargas de congestión de red, pero no equilibran necesariamente la carga en AP no congestionadas. Comprendiendo esto, la presente invención proporciona procedimientos (y dispositivos asociados, por ejemplo, controladores) que hacen ambos.

25 Desafortunadamente, conseguir esto requiere habitualmente resolver problemas que son "NP-complejos" (es decir, no puede determinarse el tiempo que se tarda en alcanzar una solución) y es complejo encontrar incluso una solución aproximada. A pesar de esto, los presentes inventores descubrieron una variante del problema de *min-máx*, denominado como el *problema de equilibrio de carga prioritaria min-máx*, y adicionalmente descubrieron una solución óptima a esta variante que puede encontrarse en tiempo polinómico (es decir, en un periodo de tiempo que puede determinarse/aproximarse).

Antes de la presentación de la solución descubierta por los inventores, se presentará primero alguna información de antecedentes adicional.

30 Un enfoque comúnmente usado para evaluar la calidad de un procedimiento de equilibrio de carga es determinar si genera o no una solución de equilibrio de carga mínimo-máximo ("*min-máx*"). Informalmente, un estado de red se considera que tiene equilibrio de carga *min-máx* si no existe la forma de reducir la carga de ningún AP sin el aumento de la carga de otro AP con la misma carga o mayor. Los inventores definen un *vector de carga*, Y , de un estado S para ser el conjunto que consiste en la carga de cada AP clasificados en orden decreciente. Además, se dice que un estado de red viable S tiene equilibrio de carga *min-máx* si su correspondiente vector de carga Y tiene el mismo o menor valor lexicográfico que cualquier otro vector de carga Y' de cualquier otro estado viable S' .

35 Como se ha indicado anteriormente, el problema de encontrar un estado de carga equilibrada es un problema NP-complejo a resolver. Debería entenderse que los inventores desarrollaron evidencias detalladas que demostraban esto, pero, igual que antes, estas evidencias se han omitido para simplificar la explicación de la presente invención. Además, los inventores también desarrollaron evidencias para demostrar que incluso un problema "más simple", es decir, el problema de la identificación del conjunto mínimo de AP congestionados para una carga de congestión mínima conocida, es en sí mismo NP-complejo. Estas evidencias también se han omitido.

40 Comprendiendo que las soluciones a estos problemas eran NP-complejas, los inventores a continuación descubrieron una variante del problema de equilibrio de carga *min-máx* y a continuación descubrieron una solución óptima a esta variante que puede calcularse en tiempo polinómico. En la variante descubierta por los inventores, se supone que cada AP a dentro de un conjunto de AP tiene una *prioridad única*, también denominada una *ponderación*, w . La ponderación indica la importancia del AP. Los inventores también desarrollaron una nueva definición de carga de AP, denominada como una *carga prioritaria*.

45 Por ejemplo, considérese un AP a con una prioridad w_a , y sea l_a la carga agregada de todos sus usuarios asociados. La *carga prioritaria* de AP a , indicada mediante y_a , se define como el par ordenado $y_a = (l_a, w_a)$. Por simplicidad se refiere a una carga prioritaria del AP como "carga de AP". Por lo tanto, puede decirse que AP a tiene carga mayor que AP b si $y_a = (l_a, w_a)$ tiene un valor lexicográficamente mayor que $y_b = (l_b, w_b)$ (es decir, se satisface una de las siguientes condiciones: (1) $l_a > l_b$, o (2) $l_a = l_b$ y $w_a > w_b$).

50 Porque no hay dos AP con la misma prioridad, se deduce que no existen dos AP con la misma carga (prioritaria). Esta comprensión llevó a los inventores a descubrir la siguiente propiedad: en cualquier estado de red, el conjunto de AP congestionados siempre contiene un único AP ("Propiedad 1").

Después del descubrimiento de una variante del problema de equilibrio de carga *min-máx*, los inventores se

pusieron a trabajar a continuación para encontrar una solución a este problema. Las soluciones descubiertas se analizan en los párrafos que siguen a continuación.

Para simplificar la explicación a continuación, los procedimientos de equilibrio de carga *min-máx* descubiertos mediante la presente invención se presentarán en combinación con el modelo LK descrito anteriormente. Dicho esto, debería entenderse que los procedimientos *min-máx* también pueden usarse igualmente en combinación con el modelo.

En una realización de la invención, un procedimiento de equilibrio de carga *min-máx* proporcionado por la presente invención iterativamente identifica un *estado de carga equilibrada prioritaria min-máx* que obtiene un vector de carga óptimo, Y^* . Además, en cualquier iteración m , el procedimiento incorpora una rutina, tales como los procedimientos/modelos LK o CK analizados anteriormente, para calcular un estado de red que minimiza la carga prioritaria de la $m^{\text{ésima}}$ coordenada del vector de carga. Los procedimientos *min-máx* proporcionados por la presente invención satisfacen dos requisitos:

- (1) El estado inicial de cada iteración, m , debería dominar el estado óptimo; y
- (2) El estado de red calculado en la $m^{\text{ésima}}$ iteración no debería afectar (aumentar) la carga en los AP que ya se han determinado mediante iteraciones anteriores.

Para cumplir el primer requisito, un procedimiento de *min-máx* proporcionado por la presente invención comienza en un estado de potencia máxima en la primera iteración y garantiza que cada iteración finaliza con un estado dominante de una solución óptima. Además, para cumplir el segundo requisito, se define un conjunto de AP fijos, F , cuyas cargas ya se han determinado mediante iteraciones anteriores. Inicialmente, el conjunto F está vacío. En cada iteración se añade un nuevo AP al mismo, hasta que F contiene todos los AP. Se define una carga de congestión, Y , como la carga máxima en cualquier AP no fijo. A partir de la Propiedad 1 se deduce que en cualquier momento dado existe únicamente un único AP no fijo, denominado el *AP congestionado*, d , que se asocia con la carga de congestión.

En cada iteración m el procedimiento de *min-máx* puede recurrir a un procedimiento LK (o procedimiento CK) para minimizar la $m^{\text{ésima}}$ coordenada del vector de carga. Suponiendo que se satisface el primer requisito al comienzo de la iteración, se generan y almacenan tres variables: (1) una *carga de congestión registrada*, Y , que indica el valor de carga de congestión del estado óptimo encontrado hasta el momento; (2) un *estado registrado variable*, S , que indica el primer estado descubierto con carga de congestión Y ; y (3) un *AP de congestión registrado*, d , que identifica el AP que se asocia con la carga congestionada.

De acuerdo con una realización adicional de la invención, el procedimiento de *min-máx* inicializa primero las variables S , Y y d . A continuación, el procedimiento iterativamente identifica el AP congestionado y se detiene si el AP congestionado ya está transmitiendo en un nivel de potencia mínima. Si no, el procedimiento reduce los niveles de potencia del AP congestionado y evalúa la carga de congestión, así como la carga de los AP fijos (es decir, los AP cuyos niveles de potencia de transmisión ya se ha calculado en una iteración anterior ahora son "fijos" o establecidos). El procedimiento se detiene si uno de los AP fijos sufre una carga elevada. Esto garantiza que se cumpla el segundo requisito para preservar la carga de los AP fijos. De otra manera, si se descubre un estado con una menor carga de congestión el procedimiento mantiene un registro de este estado actualizando las variables. Finalmente, el procedimiento implica el establecimiento de los niveles de potencia de los AP de acuerdo con el último estado almacenado (niveles de potencia) y vuelve al estado registrado S y el correspondiente AP congestionado d . Dicho de otra forma, después de una reducción de nivel de potencia el nivel de potencia de un AP se vuelve fijo. Este AP se añade a continuación al conjunto de AP fijos. Si existe uno o más AP restantes cuyo nivel de potencia no se ha fijado, el procedimiento continúa calculando el nivel de potencia de otro AP no fijo.

El procedimiento puede recurrir a cualquiera de los procedimientos/modelos LK o CK de minimización de la carga de la $(m + 1)^{\text{ésima}}$ coordenada una vez más. Un ejemplo de un programa de software o rutina que representa un procedimiento de *min-máx* proporcionado por la presente invención se muestra en la Figura 8. Lo siguiente es un ejemplo de cómo puede implementarse un controlador para ejecutar el procedimiento de *min-máx* proporcionado por la presente invención.

De nuevo, considérese la WLAN 3000 mostrada en la Figura 5(a). Después de una primera invocación de un procedimiento LK, se genera el estado de red representado en la Figura 9(a). Como se ha demostrado anteriormente, este estado domina cualquier otro estado que minimiza la primera coordenada del vector de carga. Una segunda innovación del procedimiento LK genera el estado mostrado en la Figura 9(b), que es el único estado de carga equilibrada *min-máx* de esta red (independientemente de prioridades de AP).

Los inventores descubrieron que los procedimientos de equilibrio de carga *min-máx* proporcionados por la presente invención siempre encuentran el vector de carga óptimo y una solución de carga equilibrada *min-máx*. Las evidencias, como antes, se han omitido para simplificar adicionalmente la descripción de la presente invención.

Antes de continuar con una descripción de otras características de la presente invención merece la pena indicar un punto adicional. Puede mostrarse (a través de evidencias desarrolladas por los inventores) que la complejidad de los

procedimientos *mín-máx* descubiertos por los presentes inventores es $O(K - IA^k - AU)$ (véase la Tabla I, líneas 6, 1 y 13 respectivamente para las definiciones de K , A y U).

Como se ha mencionado anteriormente, cada uno de los procedimientos proporcionados por la presente invención puede ejecutarse mediante un controlador o similar. Además, una vez que un NOC ha ejecutado cualquiera de los procedimientos descritos anteriormente, puede ser adicionalmente operable para intercambiar mensajes, instrucciones y similares con cada AP dentro de una WLAN de la que es parte para garantizar que los AP implementan las reducciones de nivel de potencia y operaciones de asignación/asociación de usuario que se generan cuando el controlador ejecuta los procedimientos proporcionados por la presente invención.

Dicho esto, requerir que un controlador o similar ejecute los procedimientos de optimización descritos anteriormente cada vez que un usuario llega o se va de una WLAN puede conducir a frecuentes cambios de asociación y la potencial disrupción de sesiones de usuario en curso. Para evitar esto, los inventores desarrollaron una estrategia en línea que encuentra un equilibrio entre el número de cambios de asociación y el deseo de mantener una WLAN de carga equilibrada óptima. Los conceptos subyacentes de una estrategia en línea de este tipo combinan "optimización global" y "optimización local".

Optimización local es una estrategia en la que la carga de una WLAN se equilibra constantemente cada vez que un usuario llega y/o se va, mientras optimización global implica una estrategia en la que se recurren a los procedimientos proporcionados por la presente invención únicamente periódicamente o siempre que una estrategia de optimización local falla en el mantenimiento de un estado de carga equilibrada. De acuerdo con una realización de la presente invención, una estrategia en línea usa tres parámetros de configuración: un *umbral de carga mínimo*, un *umbral de adaptación de célula* y un *umbral de tiempo*. Los primeros dos parámetros determinan cuando recurrir a optimización local para evitar el uso de tal optimización cuando únicamente resultaría en ganancias insignificantes, y para evitar interrupciones de servicio a usuarios activos. El último parámetro controla con qué frecuencia puede recurrirse a la optimización global.

Procedimientos de optimización local son diferentes de procedimientos de optimización global porque pueden disminuir o aumentar un nivel de potencial del AP como se explica brevemente a continuación.

En un procedimiento de optimización local proporcionado por la presente invención, para cada AP a , se define un conjunto N_a de todos sus AP vecinos y sea y_a la carga promedio en los AP en N_a . Cuando la carga en un AP a se reduce por cualquier razón (por ejemplo, movimientos de usuario u operaciones de optimización local), el procedimiento o procedimientos en línea proporcionados por la presente invención comprueban si la nueva carga y_a satisface o no una *condición de ampliación de célula*, que se determina si un AP b en el conjunto de AP vecinos tiene o no una carga que es mayor que el umbral de carga mínimo y la nueva carga y_a tiene un valor que es menor que un valor calculado multiplicando la carga promedio de los AP en N_a por el valor $(1 - \text{el umbral de adaptación de célula})$. Si se satisface esta condición y el índice de potencia, p_a , de AP a no es máximo el procedimiento en línea de la presente invención aumenta en uno el nivel de potencia del AP a .

A la inversa, cuando la carga en el AP a aumenta, el procedimiento en línea de la presente invención comprueba una *condición de reducción de célula*, que es determinar si y_a es mayor o no que el umbral de carga mínimo y mayor que un valor calculado multiplicando la carga promedio de los AP en N_a por el valor $(1 + \text{el umbral de adaptación de célula})$. Si se satisface esta condición y el índice de potencia p_a de AP a no es mínimo, el procedimiento en línea reduce en uno el nivel de potencia del AP a .

Finalmente, si se satisface cualquiera de las dos condiciones, pero operaciones de optimización local no pueden ajustar el nivel de potencia, se recurre entonces a la optimización global.

Los inventores llevaron a cabo simulaciones para comparar el rendimiento de sus novedosos procedimientos de equilibrio de carga con dos existentes procedimientos; un procedimiento de Señal más Fuerte Primero (SSF) y un procedimiento de control de asociación. SSF es el procedimiento de asociación de usuario-AP por defecto usado en la norma IEEE 802.11. El procedimiento de control de asociación determina asociaciones de usuario-AP para conseguir una asignación de ancho de banda equitativa máx-mín, no para determinar asociaciones puramente a base de intensidad de señal. Porque el problema de equidad máx-mín es NP-complejo, el procedimiento de control de asociación primero calcula a solución óptima fraccional (FRAC) bajo la suposición de que un usuario puede asociarse simultáneamente con múltiples AP, y a continuación obtiene una solución integral (INT) a través de redondeo para satisfacer una única restricción de asociación. Los inventores eligieron estos procedimientos como puntos de referencia porque se conocen las características de sus soluciones.

Las soluciones FRAC proporcionan un límite superior de rendimiento estricto (es decir, carga de congestión posible más baja) mientras INT garantiza una solución de tipo de 2 aproximaciones. Adicionalmente, INT converge con FRAC a medida que el número de usuarios aumenta. Los inventores no esperaban que sus procedimientos superasen los procedimientos de control de asociación óptimos que tienen significativamente mayores grados de libertad. El objetivo de los inventores al comparar la solución INT con sus procedimientos era mostrar que sus procedimientos consiguen un rendimiento comparable al procedimiento de control de asociación sin la necesidad de

software de cliente especial en cada móvil que se necesita en el procedimiento INT. Sorpresivamente, sin embargo, los resultados de las simulaciones de los inventores indican que los procedimientos proporcionados por la presente invención superan la solución INT en diversas condiciones de carga.

5 Los detalles de cómo se llevaron a cabo las simulaciones se han omitido para simplificar la descripción. En su lugar, los inventores han incluido gráficos de muestra de sus resultados de simulaciones. Por ejemplo, la Figura 10
 10 representa resultados de simulaciones que implican una comparación de técnicas de equilibrio de carga que incluyeron 100 usuarios distribuidos aleatoriamente. Se eligió este número de usuarios para simular una red cargada moderadamente en la que la relación de AP con usuarios activos es 5. El eje Y presenta y_a (la carga de AP) mientras el eje X representa el nivel/índice de potencia de AP. Debería observarse que los AP se clasifican por sus valores y_a
 15 en orden decreciente. Cada valor y_a se obtiene promediando 300 ejecuciones de simulación. Únicamente los puntos que corresponde a los índices de x enteros son significativos (las líneas continuas se dibujan únicamente para fines de presentación). La línea continua gruesa representa los procedimientos de *min-máx* de los inventores y la línea continua fina representa los procedimientos congestión mínima de los inventores. Mientras ambos procedimientos generan el mismo valor y_a máximo, puede observarse que el procedimiento de *min-máx* genera un vector de carga con un menor orden lexicográfico que los procedimientos de congestión mínima. La línea discontinua gruesa
 20 representa una solución INT y la línea discontinua fina horizontal representa la solución FRAC. Tanto la solución *min-máx* como INT son claramente mejores que la solución SSF. Ambas proporcionan valores y_a máximos muy similares, que son aproximadamente un 35 % mayores que FRAC.

20 Los inventores también ejecutaron simulaciones similares usando 50 usuarios, cuyos resultados se muestran en la Figura 11. Como se representa, el procedimiento o procedimientos de *min-máx* superan el procedimiento INT por un margen significativo. Interesantemente, el rendimiento relativo de los procedimientos de *min-máx* de los inventores cuando se compara con FRAC y SSF no parece verse afectado drásticamente por el número de usuarios. Se observó la misma tendencia en otras simulaciones llevadas a cabo por los inventores. Por ejemplo, cuando se
 25 usaron 200 usuarios (no mostrado en las figuras), la diferencia entre FRAC y los procedimientos de los inventores permaneció en el 35 %. El rendimiento estable relativo de los procedimientos de *min-máx* inventivos cuando se comparan con soluciones FRAC independientemente de condiciones de carga de red (es decir, número de usuarios) es una de las muchas fortalezas de los procedimientos proporcionados por la presente invención.

30 Los inventores también consideraron el caso de distribuciones de usuario desequilibradas. Por ejemplo, en la que únicamente el 20 % de los usuarios se distribuyen aleatoriamente y el resto se concentran en dos zonas de acceso que no se solapan entre sí. Cada zona de acceso puede ser un área con forma de círculo con un radio de 75 metros. Una zona de acceso puede contener dos veces más de usuarios que la otra. Esta configuración provoca una condición de gran carga en las zonas de acceso. La Figura 12 representa resultados ilustrativos cuando el número total de usuarios es 100. Muestra que los procedimientos *min-máx* proporcionados por la presente invención funcionan incluso mejor en la presencia de zonas de acceso (es decir, condiciones de gran carga) y es superior a
 35 INT.

Para examinar el impacto del número de niveles de potencia (hasta ahora los ejemplo descritos han usado 10 niveles de potencia), los inventores simularon 4 intervalos diferentes de niveles de potencia. Los resultados se muestran en la Figura 13. Como se muestra, el impacto del número de niveles de potencia se vuelve marginal más allá de un cierto número de niveles de potencia, que está entre 5 y 10 en las simulaciones llevadas a cabo por los
 40 presentes inventores

Para tener un entendimiento de cuántas operaciones podría tener que efectuar un controlador cuando ejecuta un procedimiento LK de la presente invención, los inventores realizaron una simulación de un procedimiento de este tipo y contaron el número de ajustes de nivel de potencia y cambios de asociación de usuario. Las estadísticas recogidas se resumen en la Tabla II. Para cada entrada, se proporcionan dos números; el primer número es para un
 45 procedimiento de *min-máx* que recurrió a un procedimiento LK mientras que el segundo número es para únicamente el procedimiento/modelo LK (congestión mínima). En general, el último procedimiento converge bastante rápidamente, mientras el primero tarda un poco más. Por ejemplo, si el intervalo de ajuste de potencia es 1 segundo, el equilibrio de carga en una red de 100 usuarios aleatorios tarda aproximadamente 33 segundos usando el procedimiento/modelo LK (congestión mínima), y menos de 2 minutos usando el procedimiento de *min-máx* que
 50 recurre a un procedimiento LK. Un aumento en el número de usuarios no parece aumentar necesariamente el tiempo de convergencia, ni tampoco la presencia de zonas de acceso. De hecho, usando el procedimiento/modelo LK (congestión mínima), disminuye.

La descripción anterior ha expuesto algunos ejemplos de la presente invención. El verdadero ámbito de la presente invención, sin embargo, se determina mediante las reivindicaciones a continuación.

55

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de equilibrio de cargas dentro de una red inalámbrica (1000, 2000, 3000) que comprende:
 cambiar un nivel de potencia de uno o más mensajes de baliza transmitidos por uno o más puntos de acceso, AP, (a-c) en la red; y mantener un nivel de potencia de uno o más canales de tráfico de datos de los AP.
- 5 2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además recoger información sobre una carga en cada AP y uno o más usuarios asignados a cada AP.
3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 en el que la información comprende una carga actual y asignaciones de usuario actuales para cada AP.
4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 en el que la información comprende cargas potenciales y asignaciones de usuario potenciales para cada AP.
- 10 5. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además minimizar cargas en AP congestionados dentro de la red en un periodo de tiempo polinómico y equilibrar cargas en AP no congestionadas dentro de la red en un periodo de tiempo polinómico.
- 15 6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3 que comprende además: determinar un nivel de potencia de mensaje de baliza máximo para cada AP que es igual a, o mayor que, un ajuste de nivel de potencia óptimo para el AP; reducir iterativa y gradualmente un nivel de potencia de mensaje de baliza de AP congestionados en la red desde el nivel de potencia determinado hasta que se alcancen niveles de potencia óptimos para todos los AP congestionados; almacenar un conjunto de niveles de potencia de mensajes de baliza que está asociado con una de las reducciones y está asociado adicionalmente con un estado de carga equilibrada en la red; y aplicar el conjunto de niveles de potencia de mensajes de baliza a los AP congestionados para minimizar la congestión.
- 20 7. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6 que comprende además: determinar una carga de congestión después de cada reducción de nivel de potencia iterativa; comparar la carga determinada con una carga de congestión más baja actual y almacenada; y almacenar la carga determinada como una siguiente carga de congestión más baja si la carga determinada es más baja que la carga más baja actual; aplicar niveles de potencia de mensajes de baliza, asociados con una carga de congestión más baja almacenada después de una iteración final, a los AP congestionados para minimizar la congestión.
- 25 8. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4 que comprende además:
 determinar iterativamente un conjunto mínimo de AP en la red en la que cada AP en el conjunto es un AP congestionado que tiene una carga congestionada o un AP cuya carga puede aumentar a una carga congestionada debido a una reducción en nivel de potencia; determinar un nivel de potencia de mensaje de baliza máximo para cada AP en el conjunto mínimo que es igual a, o mayor que, un ajuste de nivel de potencia de mensaje de baliza óptimo para el AP;
 reducir un nivel de potencia de mensaje de baliza de AP congestionados en el conjunto mínimo desde el nivel de potencia determinado usando una o más reducciones iterativas hasta que se alcancen niveles de potencia de mensajes de baliza óptimos para todos los AP en el conjunto; y aplicar el conjunto de niveles de potencia de mensajes de baliza a los AP congestionados para minimizar la congestión.
- 30 9. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5 que comprende además: determinar un nivel de potencia máxima de mensaje de baliza para cada AP que es igual a, o mayor que, un ajuste de nivel de potencia de mensaje de baliza óptimo para el AP; reducir iterativamente un nivel de potencia de mensaje de baliza de un AP congestionado, que no es una parte de un conjunto almacenado de AP identificados, comenzando en la red desde el nivel de potencia determinado; después de cada iteración, almacenar un nivel de potencia de mensaje de baliza e identificación para uno o más AP congestionados cuyos niveles de potencia óptimos se han determinado, y determinar un siguiente AP congestionado a partir de AP cuyos niveles de potencia óptimos aún no se han determinado; repetir la etapa de reducción iterativa desde un siguiente nivel de potencia reducido hasta que se haya determinado cada nivel de potencia óptimo de los AP; y aplicar los niveles de potencia de mensajes de baliza almacenados a los AP para minimizar la congestión.
- 40 10. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además: cuando una carga en un AP se reduce, determinar si una nueva carga en el AP satisface o no una condición de ampliación de célula, incluyendo dicha condición la determinación de si un AP vecino en un conjunto de AP vecinos tiene o no una carga que es mayor que un umbral de carga mínimo y la nueva carga tiene un valor que es menor que un valor calculado multiplicando una carga promedio de todos los AP vecinos por el valor (1- un umbral de adaptación de célula), y si se cumple la condición y el nivel de potencia del AP puede ajustarse, aumentar el nivel de potencia de mensaje de baliza del AP; o cuando la carga en el AP aumenta, determinar si la nueva carga satisface o no una condición de reducción de célula, incluyendo dicha condición la determinación de si un AP vecino en el conjunto de AP vecinos tiene o no una carga que es mayor que el umbral de carga mínimo y mayor que un valor calculado multiplicando la carga promedio de todos los AP vecinos por el valor (1+ el umbral de adaptación de célula), y si se cumple la
- 50
- 55

condición de umbral de reducción de célula y el nivel de potencia del AP puede ajustarse, reducir el nivel de potencia de mensaje de baliza del AP; y cuando cualquiera de las condiciones se cumple pero el nivel de potencia de mensaje de baliza del AP no puede ajustarse, recurrir a un procedimiento de optimización de equilibrio de carga global que determina niveles de potencia de mensajes de baliza óptimos de los AP dentro de la WLAN sin afectar a los niveles de potencia de canal de datos de los AP.

5

11. Un centro de operaciones de red, NOC, dentro de una red inalámbrica de equilibrio de cargas que comprende:

medios de cambio de un nivel de potencia de uno o más mensajes de baliza transmitidos por uno o más puntos de acceso, AP, en la red; y

medios de mantenimiento de un nivel de potencia de uno o más canales de tráfico de datos de los AP.

10

FIG. 1A

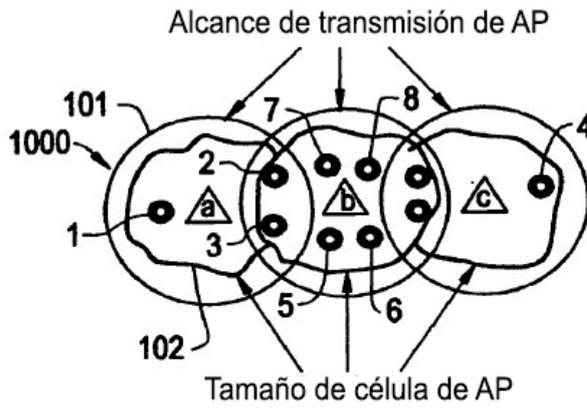


FIG. 1B

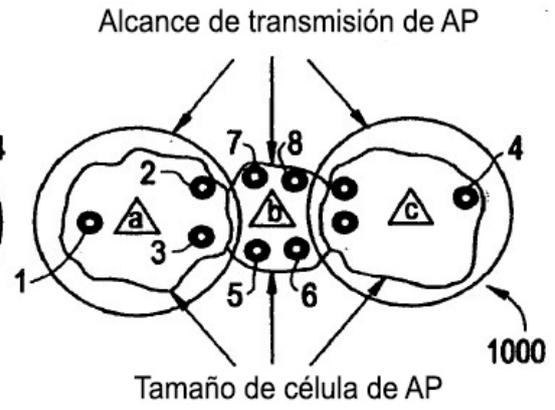


FIG. 2A

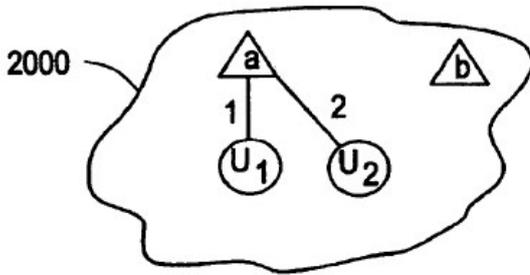


FIG. 2B

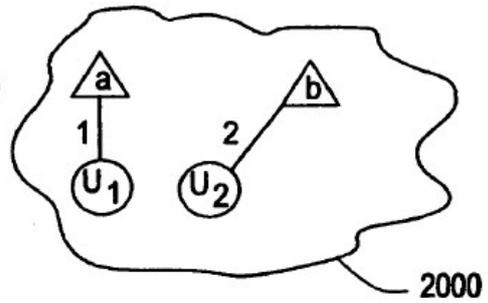


FIG. 3

```

Routine Calc_Bottleneck_Set ( $S^0 = \{(a, p_a^0)\}$ ,  $B_0$ ,  $Y$ )
   $B_{-1} = \emptyset$  //usado para la condición de terminación,
   $i = 0$ 
  while ( $(B_i = B_{i-1})$  and ( $\forall a \in B_i, p_a^i > 0$ )) do
     $i = i + 1$ 
    //Conseguir el estado simulado  $S^i$  realizando operación
    //de reducción de conjunto  $B_{i-1}$  desde estado  $S^{i-1}$ 
    for every  $AP a \in B_{i-1}$  let  $P_a^i = p_a^0 - 1$ 
    for every  $AP a \in A - B_{i-1}$  let  $P_a^i = p_a^0$ 
    // Evaluar la nueva asociación de usuario y calcular
    // la carga en cada AP en estado  $S^i$ .
     $y_a^i =$  La carga de AP en estado  $S^i$ .
     $B_i = B_{i-1} \cup \{a | a \in A \wedge y_a^i \geq Y \wedge y_a^i > y_a^{i-1}\}$ 
  end while
   $B = B_i$ 
  return  $B$ 
end

```

FIG. 4

```

Alg CK_Min_Congestion_Load Alg ( $A, U$ )
  for every  $AP a \in A$  let  $p_a = K$ 
   $End\_Flag = FALSE$ 
  while ( $End\_Flag = FALSE$ ) do
    //Encontrar AP congestionados y sus cargas.
     $Y = \max_{a \in A} y_a$ 
     $D = \{a | a \in A \wedge y_a = Y\}$ 
     $B = Calc\_Bottleneck\_Set(\{(a, p_a)\}, D, Y)$ 
    if ( $(B = A) \vee (\text{exist } a \in B \text{ s.t. } p_a = 0)$ ) then
       $End\_Flag = TRUE$ 
    else
      for every  $AP a \in B$  let  $P_a = p_a - 1$ 
    end if
  end while
  return  $\{(a, p_a) | a \in A\}$ 
end

```

FIG. 5A

La WLAN considerada

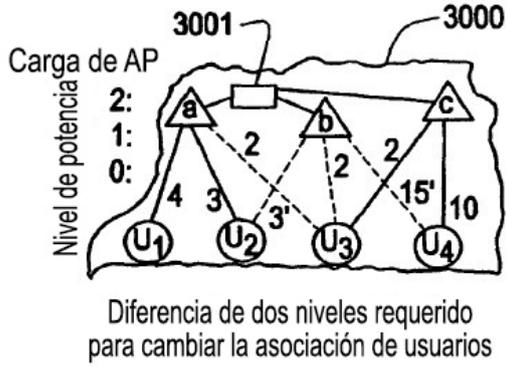


FIG. 5B

El estado inicial

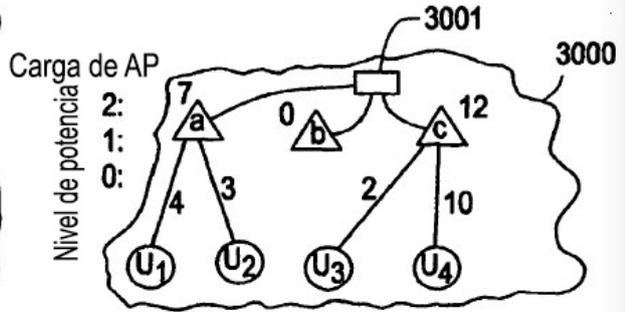


FIG. 5C

Después de primera iteración, $B=(c)$

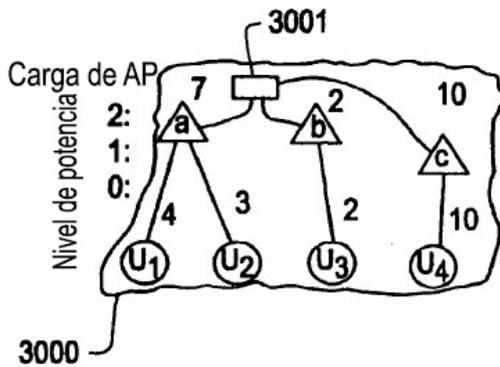


FIG. 5D

Después de segunda iteración, $B=(b,c)$

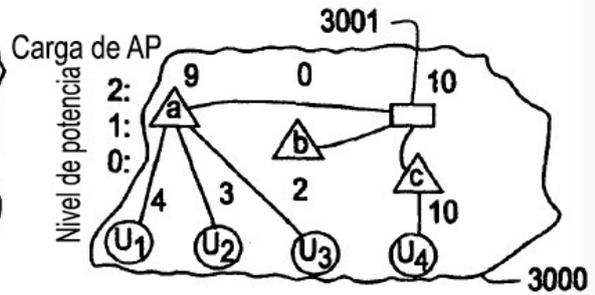


FIG. 6

```

Alg LK_Min_Congestion_Load Alg (A,U)
  for every AP  $a \in A$  let  $p_a = K$ 
    // Establecer índices de potencia de todos los AP a K y evaluar carga de AP.
     $\bar{S} = \{(a, p_a)\}$ 
     $\bar{Y} = \max_{a \in A} y_a$ 
     $End\_Flag = FALSE$ 
    while ( $End\_Flag = FALSE$ ) do
       $Y = \max_{a \in A} y_a$ 
       $D = \{a \mid a \in A \wedge y_a = Y\}$ 
      if ( $\text{exist } a \in D \text{ s.t. } p_a = 0$ ) then
         $End\_Flag = TRUE$ 
      else
        // Disminuir en 1 índices de potencia para todos los AP en D
        // y evaluar carga de AP.
        for every AP  $a \in D$  let  $P_a = p_a - 1$ 
         $Y = \max_{a \in A} y_a$ 
        if ( $Y < \bar{Y}$ ) then
           $\bar{S} = \{(a, p_a)\}$ 
           $\bar{Y} = Y$ 
        end if
      end if
    end while
  return  $\bar{S}$ .
end

```

FIG. 7A

Estado inicial, $D=(c)$

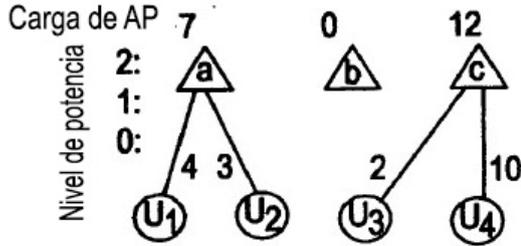


FIG. 7B

Después de primera iteración, $D=(c)$

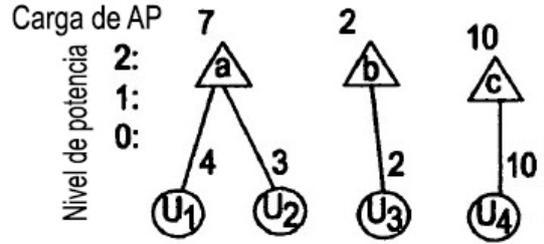


FIG. 7C

Después de segunda iteración, $D=(b)$

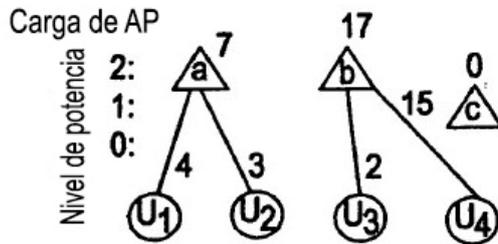


FIG. 7D

Después de tercera iteración, $D=(c)$

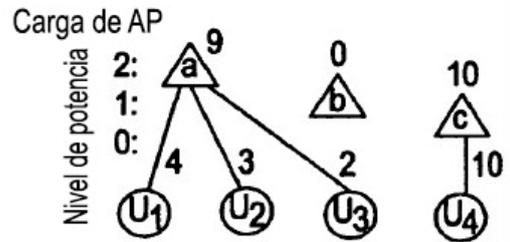


FIG. 8

```

Alg Min_Max_Priority_Load_Balancing_Alg ( $A, U$ )
   $S = \{(a, p_a = K) \forall a \in A\}$ 
   $F = \emptyset$ 
  while ( $f \neq A$ ) do
    ( $S, d$ ) = LK_Minimize_m_Coordinate ( $S, F$ )
     $F = F \cup \{d\}$ 
  end while
  return  $S$ 
end

Routine LK_Minimize_m_Coordinate ( $S^{init}, F$ )
   $\bar{S} = S^{init}$ 
   $\bar{Y} = Y = \max_{a \in A-F} y_a$ 
   $\bar{d} = d = a \text{ s.t. } a \in A-F \wedge y_a = Y$ 
   $End\_Flag = FALSE$ 
  while ( $End\_Flag = FALSE$ ) do
    if ( $pd = 0$ ) then
       $End\_Flag = TRUE$ 
    else
       $Pd = Pd - 1$  //Reducción de potencia y evaluación de carga.
       $Y = \max_{a \in A-F} y_a$ 
       $d = a \text{ s.t. } a \in A-F \wedge y_a = Y$ 
      //Comprobar si carga de AP fijo se ha incrementado.
      if ( $\text{exist } a \in F \text{ s.t. } \bar{y}_a \leq y_a$ ) then
         $End\_Flag = TRUE$ 
        //Comprobar si se encontró un mejor estado de red.
      else if ( $Y < \bar{Y}$ ) then
         $\bar{S} = \{(a, p_a)\}$ 
         $\bar{Y} = Y$ 
         $\bar{d} = d$ 
      end if
    end if
  end while
  return ( $\bar{S}, \bar{d}$ ).
end

```

FIG. 9A

Después de primera iteración, $F=(c)$

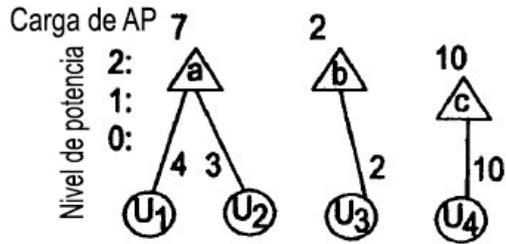


FIG. 9B

Después de segunda iteración, $F=(c,b)$

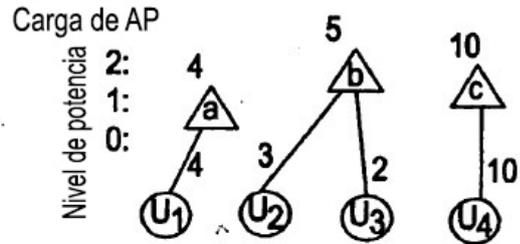


FIG. 10

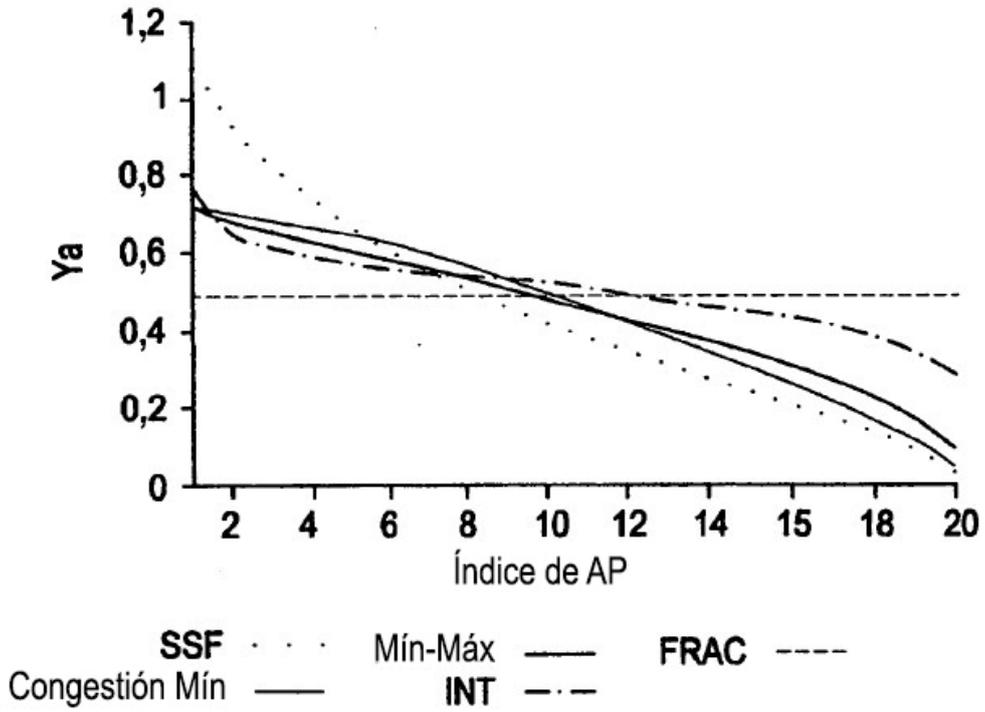


FIG. 11

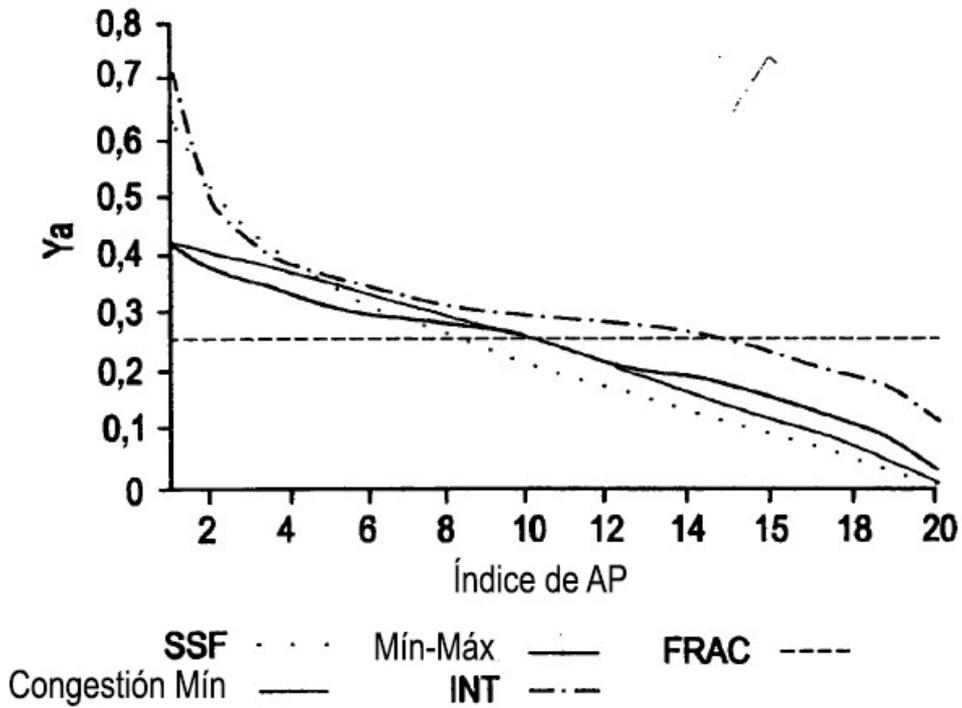


FIG. 12

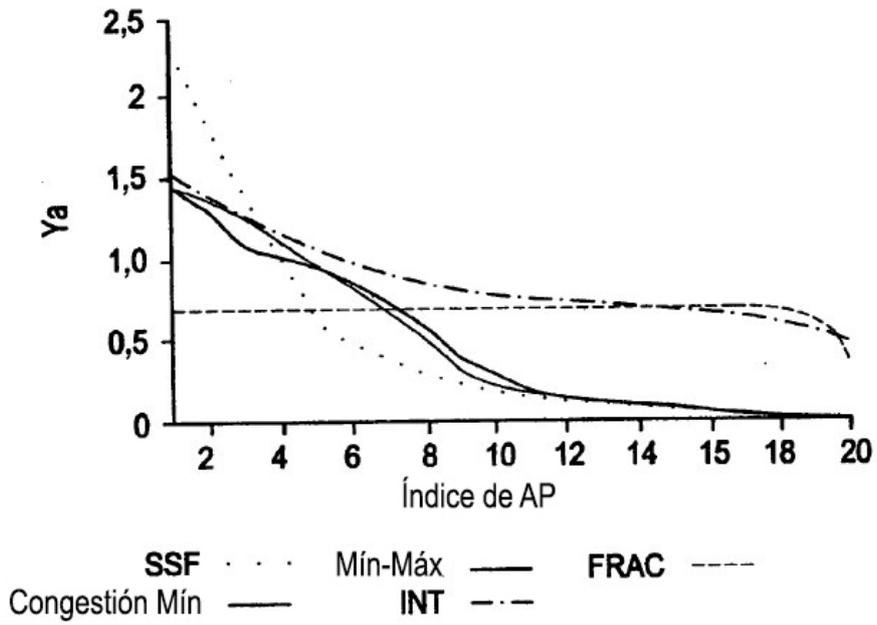


FIG. 13

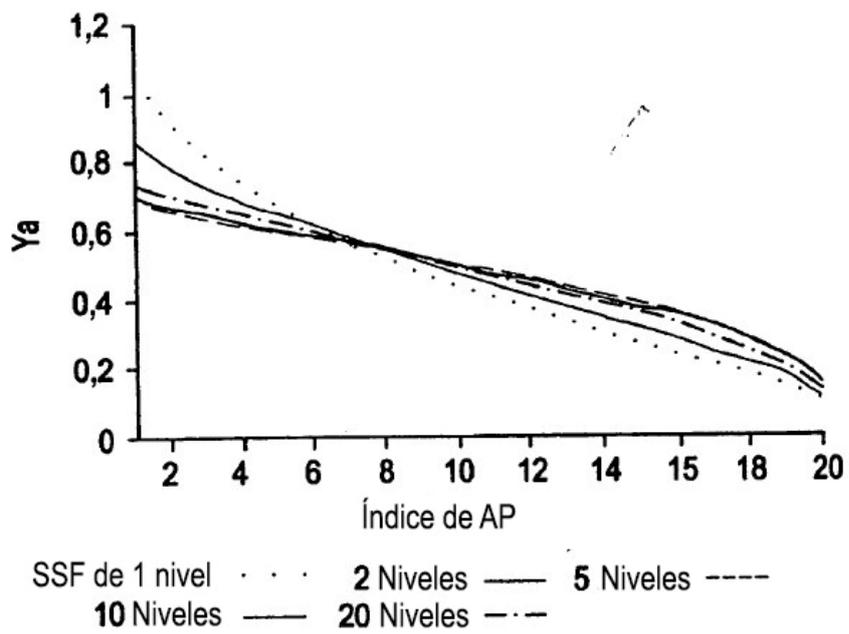


FIG. 14

Símbolo	Semántica
A	El conjunto de los puntos de acceso (AP).
B	El conjunto de cuello de botella de los AP.
D (d)	El conjunto de AP congestionados.
F	El conjunto de AP fijos.
g_{u, a}	Atenuación de señal del AP a detectada por usuario <i>u</i>
K	El índice de potencia de transmisión máxima
l_{a, u}	Contribución de carga de usuario <i>u</i> a AP a
P_a	Potencia de transmisión de AP a.
pa	Índice de potencia de transmisión de AP a. $pa \in [0..K]$.
R_{u, a}	Intensidad de señal de AP a recibida por usuario <i>u</i> .
S	Un estado de red, $S = \{(a, pa)\}$.
S	Un estado de red registrado.
U	El conjunto de todos los usuarios.
U_a	El conjunto de usuarios asociados con AP a.
ya	La carga de AP a.
Y	La carga congestionada de red.
Ȳ	La carga de congestión del estado registrado.
Ȳ	El vector de carga de AP, $\bar{Y} = (y_1, \dots, y_{ A })$.

FIG. 15

Caso	Ajustes de potencia	Movimientos de usuario
100 aleatorios	102,9(33,3)	130,7(53,5)
200 aleatorios	84,9(39,5)	177,2(92,5)
100 zona de acceso	119,2(17,9)	94,6(34,3)
200 zona de acceso	101,6(17,5)	143,6(57,3)