

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 535 181**

51 Int. Cl.:

H04W 28/08 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.07.2012 E 12737553 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.01.2015 EP 2735191**

54 Título: **Agregación de ancho de banda en un punto de acceso**

30 Prioridad:

21.07.2011 US 201161510158 P

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

06.05.2015

73 Titular/es:

**TELFÓNICA S.A. (100.0%)
C/ Gran Vía 28
28013 Madrid, ES**

72 Inventor/es:

**GOMA LLAIRO, EDUARDO;
PAPAGIANNAKI, KONSTANTINA y
GRUNENBERGER, YAN**

74 Agente/Representante:

ARIZTI ACHA, Monica

ES 2 535 181 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).

Agregación de ancho de banda en un punto de acceso
DESCRIPCIÓN

Campo de la técnica

- 5 La presente invención se refiere en general, en un primer aspecto, a un método para la agregación de ancho de banda en un punto de acceso, realizada dicha agregación de ancho de banda en dicho punto de acceso mediante el uso de una solución de punto de acceso de radio única con el fin de aumentar la velocidad de conectividad de los clientes.
- 10 Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema de despliegue de Punto de Acceso de radio única para la agregación de ancho de banda con el fin de aumentar la velocidad de conectividad de los clientes. El sistema está adaptado para implementar el método del primer aspecto.

Estado anterior de la técnica

- 15 A lo largo de la última década, las velocidades de acceso a Internet han aumentado de manera significativa debido a nuevos despliegues de red tales como xDSL, fibra hasta el hogar (FTTH, del inglés *Fiber To The Home*) o cable. De entre estas tecnologías la más generalizada es xDSL, que puede ofrecer unas velocidades de hasta 50 Mbps a los usuarios que se encuentran cerca del DSLAM si los cables de teléfono se encuentran en buenas condiciones. Sin embargo, la realidad es que, en muchas regiones, las velocidades de acceso a Internet siguen siendo bajas (por ejemplo, por debajo de 5 Mbps).

- 20 La agregación de ancho de banda en la red de retorno inalámbrica se ha propuesto como un medio para aumentar una velocidad de conectividad de los usuarios con mínimos cambios al despliegue de red existente [3, 1]. Además, las iniciativas comerciales, como FON, se dirigen a crear comunidades de compartición de WiFi a escala nacional que ofrecen la posibilidad de que los usuarios se conecten a Internet cuando se encuentran lejos de casa si éstos se encuentran cerca de un punto de acceso (AP) de la comunidad. Los Proveedores de Servicios de Internet (ISP, del inglés *Internet Service Provider*) que gestionan redes de acceso cableadas y celulares ven la compartición de WiFi como una oportunidad de descargar el tráfico de la red celular, y la agregación de ancho de banda en la red de retorno es un medio para que éstos aumenten la calidad de su servicio a la vez que mejoran sus redes de retorno.

- 25 Sin embargo, llevar un concepto académico a un despliegue comercial plantea un número de factores que es necesario considerar. En primer lugar, los costes de la solución globales han de mantenerse bajos. Por lo tanto, introducir soporte físico adicional o requerir unos dispositivos sumamente especializados no es una opción. En segundo lugar, el despliegue de la solución no ha de ser demasiado complejo. Entonces, la solución ha de requerir modificaciones al número más pequeño posible de dispositivos.

- 30 Las soluciones actuales de agregación de ancho de banda en la red de retorno [3, 1] requieren modificaciones de controlador en los clientes inalámbricos para posibilitar tal esquema. Cada cliente inalámbrico necesita presentar una tarjeta inalámbrica virtualizada. Esto comporta que, para un despliegue comercial, sería necesario modificar el sistema operativo y el controlador inalámbrico de cada cliente de WiFi posible, incluyendo teléfonos inteligentes, tabletas, ordenadores portátiles, etc. Como puede apreciarse, el coste de un enfoque de este tipo es absolutamente prohibitivo.

- 35 El problema de la diversidad de dispositivos que es necesario modificar puede solucionarse mediante el despliegue del esquema de agregación en un conjunto mucho más pequeño de dispositivos tal como los AP, que se proporcionan habitualmente por los ISP. Sin embargo, no se pretende que los métodos actuales para realizar una agregación con dispositivos de radio única se usen en los AP. La introducción de una radio de WiFi secundaria en los AP podría proporcionar una solución técnica, pero ésta aumenta el coste de un dispositivo que está subvencionado por el ISP, haciendo la solución impracticable.

- 40 Estos esquemas de agregación basados en cliente del estado de la técnica [1, 2, 3] también proponen el uso de TDMA para posibilitar que un cliente de radio única se conecte con la totalidad de los AP colindantes con independencia de su frecuencia de funcionamiento. A lo largo de unos ciclos de 100 ms, el cliente inalámbrico se conecta de manera secuencial con todos los AP seleccionados dentro del alcance de una manera de tipo asignación cíclica (que se muestra en la figura 1). Al usar la característica de ahorro de energía de la norma 802.11, un cliente es capaz de notificar su ausencia a los AP con los que éste está conectado, de tal modo que éstos almacenan en memoria intermedia los paquetes que se dirigen al mismo. De este modo, un cliente que realiza una agregación aparenta estar en suspensión en todos los AP salvo el que está programado actualmente en el ciclo de asignación cíclica.

- 45 Cuando un cliente finaliza el tiempo asignado a un AP, envía un paquete para anunciar al AP que va a pasar al modo de ahorro de energía y que éste ha de almacenar en memoria intermedia los paquetes que se dirigen al mismo. Entonces, el cliente sintoniza la tarjeta WiFi a la frecuencia del siguiente AP en el ciclo de TDMA y envía un paquete para anunciar su presencia y recibir la totalidad de los paquetes que el AP almacenó en memoria intermedia. Durante el tiempo en el que el cliente está conmutando frecuencias, éste no puede enviar / transmitir

datos. Este tiempo se denomina tiempo de conmutación y, para los sistemas del estado de la técnica, es de 1,5 ms [2].

5 Debido a que la capacidad de la red de retorno y la capacidad de enlace inalámbrico a partir del cliente para cada AP podría ser diferente, los sistemas de agregación basados en cliente han de optimizar el porcentaje de tiempo que se dedica a cada AP. En [3], los autores proponen maximizar la velocidad de transmisión individual de cada cliente. Como contraste, [1] muestra que una maximización de la velocidad de transmisión individual puede dar como resultado una distribución de la velocidad de transmisión no equitativa grave y optimiza para una equidad proporcional ponderada para conseguir un buen equilibrio entre equidad y utilización de recursos de red. En ambos sistemas, la velocidad de transmisión que se obtiene a partir de cada AP se controla por el porcentaje de tiempo que se dedica a ésta en el ciclo de TDMA. Obsérvese que un cliente podría ser capaz de captar la totalidad de la capacidad de la red de retorno de los AP colindantes y tener tiempo libre en el que la tarjeta WiFi puede pasar al modo de ahorro de energía y reducir el consumo de energía del sistema.

15 Otras soluciones de agregación de la red de retorno conocida se describen, por ejemplo, en las solicitudes de Patente US USA1- 2007/0217373 y/o US-A1-2005/135422.

20 La solicitud de Patente US-A1-2007/0217373 se refiere a un método y sistema para la comunicación de datos que incluye la selección de modo dinámico de un primer emplazamiento de la red de retorno de entre una pluralidad de emplazamientos de la red de retorno que se configuran para comunicar de modo inalámbrico con un punto de acceso particular. Al menos un parámetro de transmisión usado para comunicar una primera corriente de datos de la red de retorno entre el punto de acceso y el primer emplazamiento de la red de retorno puede configurarse dinámicamente. Al contrario que la presente invención, la solución propuesta en dicha solicitud de patente no prevé que un punto de acceso dedicado que proporciona comunicación a un dispositivo inalámbrico tenga la capacidad de notificar un periodo de ausencia para agregar datos de la red de retorno. La solicitud de Patente US-A1-2005/135422 proporciona un mecanismo para la retransmisión de mensajes a través del medio inalámbrico dentro de un entorno de red en el que un punto de acceso, como en la presente invención, es capaz de operar como cliente con respecto a otros puntos de acceso, sin embargo, al contrario que la presente invención, esta operación no se realiza durante cualquier notificación de periodo de ausencia al dispositivo cliente respectivo.

30 La única forma de proceder es desarrollar una solución que pueda posibilitar la funcionalidad deseada simplemente a través de modificaciones de AP de soporte lógico y sin soporte de cliente alguno. La presente invención presenta AGGRAP, un AP de radio única que hace posible un despliegue comercial de una agregación de la red de retorno inalámbrica. AGGRAP es capaz de agregar la capacidad sin usar de los AP colindantes con independencia de su canal inalámbrico y redirigir ésta a los clientes disponibles en el mercado.

40 Las contribuciones de la invención pueden resumirse como sigue: 1) propone una solución de agregación de ancho de banda de la red de retorno factible y rentable, 2) formula el problema de la agregación de ancho de banda de la red de retorno inalámbrica a través de un AP de radio única que actúa como un AP para sus clientes, y como un cliente para los AP colindantes, y muestran que el problema puede correlacionarse con las soluciones basadas en cliente permitiendo los mismos objetivos de optimización, 3) evalúa el compromiso de rendimiento de las soluciones basadas en AP y en cliente de manera analítica y experimental, y 4) implementa AGGRAP y muestra que es capaz de agregar ancho de banda a partir de redes de retorno colindantes y aumentar la velocidad de transmisión de diferentes tipos de clientes disponibles en el mercado, como ordenadores portátiles o teléfonos inteligentes.

45 **Descripción de la invención**

50 El objeto de la presente invención es la provisión de una solución para posibilitar una agregación de la red de retorno de WiFi solo con modificaciones de Puntos de Acceso, y sin la necesidad de soporte físico de radio adicional con el fin de aumentar la velocidad de transmisión de subida y de descarga cuando los clientes se encuentran en el alcance de los AP participantes.

55 Con ese fin, la presente invención proporciona, en un primer aspecto, un método para la agregación de ancho de banda en un punto de acceso, comprendiendo el método de acuerdo con el uso común en el sector proporcionar comunicación entre al menos un dispositivo de cliente inalámbrico a través de una conectividad con un punto de acceso dedicado correspondiente, así como ubicar y reconocer una pluralidad de Puntos de Acceso colindantes.

Al contrario que las propuestas conocidas, y de una manera característica, comprende las siguientes acciones:

- 60 a) notificar dicho punto de acceso dedicado, un periodo de ausencia predeterminado a dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico al que éste proporciona comunicación;
- b) pasar a ser dicho punto de acceso dedicado, durante dicho periodo de ausencia predeterminado, un cliente para al menos un segundo punto de acceso;
- 65 c) recibir, dicho punto de acceso dedicado como un cliente, unos datos que se corresponden con un ancho de banda de la red de retorno de dicho al menos un segundo punto de acceso y agregar dichos datos de la red de retorno recibidos a partir de dicho al menos un segundo punto de acceso a sus propios datos de la red de

retorno; y

d) enviar, dicho punto de acceso dedicado, dichos datos de ancho de banda de la red de retorno agregados a dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico después de que el periodo de ausencia predeterminado haya transcurrido.

5 En una realización preferida, el punto de acceso dedicado realiza la conectividad y la agregación de ancho de banda mediante el uso de una solución de punto de acceso de radio única que agrega el ancho de banda de reserva de dicho al menos segundo punto de acceso dentro del alcance de comunicación con independencia de su canal de funcionamiento.

10 En otra realización, el punto de acceso dedicado solo envía los datos de ancho de banda de la red de retorno agregados a dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico, inmediatamente después de que el periodo de ausencia predeterminado ha transcurrido.

15 El periodo de ausencia predeterminado tiene un valor, que se calcula mediante el uso de un vector de asignación de red (NAV), de tal modo que dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico mantiene asociación con el punto de acceso dedicado. De acuerdo con una realización, dicho valor tiene una duración máxima de 32 ms.

20 En otra realización, el punto de acceso dedicado solo actúa como un cliente para el dicho al menos segundo punto de acceso cuando su utilización de ancho de banda de la red de retorno supera el 80% de su capacidad.

25 Entonces, el punto de acceso dedicado anuncia a dicho al menos segundo punto de acceso, a través de tramas de baliza, la capacidad de ancho de banda de la red de retorno así como su velocidad de transmisión disponible para la agregación con el fin de posibilitar una deducción de un programa de acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA) apropiado.

30 El tráfico que proviene de dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico en dicho punto de acceso dedicado se prioriza con el fin de asegurar que se usa capacidad de reserva de dicho ancho de banda de la red de retorno para asistencia.

Por último, de acuerdo con otra realización, la agregación de ancho de banda de la red de retorno se realiza al garantizar una compartición igual y equitativa entre los puntos de acceso.

35 Un segundo aspecto de la presente invención proporciona un sistema para la agregación de ancho de banda en un punto de acceso de acuerdo con la reivindicación 13.

De acuerdo con una realización, la comunicación entre puntos de acceso y la comunicación entre el punto de acceso y el dispositivo de cliente inalámbrico se establece mediante una solución de punto de acceso de radio única.

40 De acuerdo con otra realización, la solución de punto de acceso de radio única está ubicada en dicho punto de acceso dedicado y puede ubicarse en uno diferente, o en el mismo, canal de comunicación de dicho al menos segundo punto de acceso.

45 Por último, en dicha solución de punto de acceso de radio única, el al menos un dispositivo de cliente inalámbrico permanece sin modificar durante la comunicación.

Se proporciona un punto de acceso de acuerdo con la reivindicación 16.

Breve descripción de los dibujos

50 Las ventajas y características anteriores, así como otras, se entenderán más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones, con referencia a los dibujos adjuntos, que han de considerarse de una manera ilustrativa y no limitante, en los que:

55 La figura 1 es un ejemplo de un ciclo de agregación de TDMA de cliente inalámbrico.

La figura 2, es un ejemplo de un ciclo de agregación de TDMA de AP inalámbrico.

La figura 3 es una realización del esquema de agregación de ancho de banda de la presente invención. Un cliente obtiene el ancho de banda agregado a partir de tres AP, cuando un segundo cliente se conecta con su AP, la topología de red cambia.

60 La figura 4 es una realización del esquema de agregación de ancho de banda con tres AP y un cliente.

La figura 5 muestra una realización con un canal inalámbrico de superposición que se corresponde con cada enlace de la red de retorno.

La figura 6 es una comparación entre la capacidad de retransmisión y la capacidad de enlace de único salto.

65 La figura 7 es una realización de despliegue de red del experimento de equidad de la presente invención.

La figura 8 es una realización de la configuración de red de las soluciones basadas en cliente y basadas en AP.

La figura 9 muestra un ejemplo de la capacidad de agregación de los sistemas basados en cliente y basados en AP con una red de retorno de base y colindante de 6 Mbps, de acuerdo con una realización.

La figura 10 muestra un ejemplo de la capacidad de agregación de los sistemas basados en cliente y basados en AP con una red de retorno de base de 1 Mbps y una red de retorno colindante de 10 Mbps, de acuerdo con una realización.

Descripción detallada de varias realizaciones

El fin de la presente invención es la provisión de una solución desplegable de agregación de la red de retorno de WiFi. Con este fin, la solución ha de cumplir los siguientes cuatro requisitos:

- AP de radio única: la solución no ha de aumentar el coste del soporte físico existente.
- Clientes de WiFi sin modificar: para proporcionar una agregación para todos los tipos de dispositivos, ésta no requiere modificación alguna a los clientes de WiFi existentes.
- Sobrecarga limitada: la agregación de WiFi se dirige solo a los vecinos inmediatos del AP primario, es decir, ésta no introduce conexiones que pasen por más de 2 saltos inalámbricos.
- Conexiones de la red de retorno dedicadas principalmente a dar servicio a los dispositivos del propietario: los AGGRAP solo agregan ancho de banda sin usar a partir de los AP colindantes.

La arquitectura de alto nivel es la de una comunidad que posibilita que sus abonados se conecten con cualquier AP que participe en el esquema de compartición. Más allá de la compartición de WiFi tradicional, tal como FON [6], en la arquitectura de la invención no son solo los usuarios los que se conectan con los AP participantes, sino también otros AP con el fin de hacer uso de la capacidad de la red de retorno adicional. En ese sentido, AGGRAP está diseñado para conmutar entre dos modos: i) dar servicio a sus clientes, y ii) actuar como un cliente para otros AP participantes con el fin de aumentar la velocidad de transmisión de enlace ascendente / enlace descendente a sus clientes. La última función se desencadena además solo cuando la utilización del enlace de la red de retorno del AP primario supera el 80%, un caso en el que la asistencia se vuelve deseable.

Para obtener el pleno potencial de la agregación de ancho de banda de la red de retorno, los AGGRAP han de ser capaces de actuar como clientes de los AP que funcionan en un canal diferente. Debido a que uno de los requisitos es tener AP de radio única, hacer que AGGRAP se conecte con unos AP en diferentes frecuencias es un desafío que se abordará en la siguiente sección.

Para realizar una agregación de ancho de banda usando un AP de radio única con independencia del canal de los AP colindantes, el ciclo de TDMA que se usa en los sistemas de agregación basados en cliente necesita adaptarse para justificar las funcionalidades de AP. AGGRAP ha de emplear la cantidad apropiada de tiempo en su propia frecuencia reenviando datos a sus clientes capturados a través de su enlace de la red de retorno y los de sus AP colindantes (tal como se muestra en la figura 2). En ese sentido, la decisión de programación es ligeramente más complicada. Además, la invención necesita abordar un desafío más - que si el AGGRAP abandona su propia frecuencia para utilizar los enlaces de la red de retorno de otros AP, éste puede perder los paquetes enviados por sus clientes o incluso conducir a éstos a la desconexión. Este último problema no se encontraba en las formulaciones basadas en cliente anteriores, debido a que los clientes tienen la capacidad de indicar a sus AP que éstos van a desaparecer durante un tiempo, habitualmente para entrar en el modo de ahorro de energía, y que el AP debería almacenar en memoria intermedia los paquetes para su entrega posterior. Sin embargo, tal funcionalidad no se encuentra presente para los AP, que se supone que van a estar siempre activos cuando tienen clientes asociados con los mismos. La invención aborda la presente cuestión a través del uso del Vector de Asignación de Red (NAV).

NAV es un contador que tiene cada dispositivo 802.11, y representa la cantidad de tiempo que necesitará la transmisión anterior antes de su finalización completa. Antes de transmitir un paquete, cualquier dispositivo 802.11 estima el tiempo que llevará enviar el mismo, dada la tasa de transmisión y la longitud de paquete y escribe este valor en el campo de duración del encabezamiento de MAC de paquete. Los otros dispositivos en el alcance actualizan su NAV de acuerdo con el campo de duración de los paquetes que éstos reciben. De este modo, ninguno de los dispositivos 802.11 en el alcance intentará acceder al medio hasta el final de la transmisión. AGGRAP usa el NAV para reservar el canal durante la cantidad de tiempo que éste se encontrará fuera de su canal de AP. Entonces, antes de abandonar su canal de funcionamiento primario, éste envía un paquete a una dirección de MAC ficticia (si el paquete de reservas de canal se transmite a uno de los clientes del AGGRAP, este cliente podría comenzar a transmitir al final de la recepción del paquete) con un campo de duración igual a la cantidad de tiempo que éste estará actuando como un cliente para la totalidad de los otros AP. El valor máximo del campo de duración es ≈ 32 ms (15 bits para indicar la duración en microsegundos).

La invención ha abordado hasta el momento los primeros tres requisitos. Para abordar el cuarto requisito, ésta se asegura de que los AGGRAP se conectan con los AP colindantes solo cuando éstos utilizan su enlace de la red de retorno en más de un 80%. Para posibilitar adicionalmente la deducción de un programa de TDMA apropiado, los AGGRAP anuncian a través de tramas de baliza su capacidad de enlace de la red de retorno, así como su velocidad de transmisión disponible para la agregación, es decir, la parte de su capacidad que no se utiliza por sus clientes. Ambos valores se notifican en Mbps y se calculan usando promedios móviles ponderados, que se actualizan cada 1

s. Para asegurar adicionalmente que solo la capacidad de reserva de los enlaces de la red de retorno se usa para asistencia, el tráfico de cliente se prioriza en el AP. Tal priorización tiene lugar a través del conocimiento de qué direcciones de MAC aparecen como AP, y como clientes. Las direcciones de MAC que actúan en dos papeles (por ejemplo, los AGGRAP) a través del tiempo se clasifican como “clientes” de prioridad más baja y el tráfico que se dirige a los mismos no se tiene en cuenta en el cálculo de la velocidad de transmisión disponible para la agregación.

El uso del NAV para reservar un canal es una medida efectiva para silenciar la totalidad de los clientes y evitar las pérdidas de paquetes en el SSID de AGGRAP. Sin embargo, este efecto no se limita a la WLAN de AGGRAP y también silenciará cualquier red colindante dentro del alcance que use el mismo canal. Por lo tanto, un AGGRAP que realiza una agregación podría reducir el tiempo de transmisión disponible de las WLAN colindantes.

La incidencia de la agregación basada en AP sobre otras redes depende de múltiples factores como el número de redes superpuestas, la planificación de tiempos de alta demanda de ancho de banda de diferentes usuarios o el porcentaje de tiempo que un AGGRAP está captando ancho de banda a partir de otros AP. Una solución para la pérdida de potencial de recursos a partir del silenciamiento de dominios de contienda enteros es normalizar la funcionalidad de notificar a la totalidad de los clientes en el interior de un SSID que el AP no se encontrará disponible durante un periodo de tiempo. En realidad, la norma WiFi Direct ya ha especificado esta funcionalidad para posibilitar un ahorro de energía para un AP. En la norma WiFi Direct, esto se denomina Aviso de Ausencia y permite que los dispositivos 802.11 comuniquen un periodo de reducción de potencia planificado. Adviértase que tal funcionalidad también puede ser útil al marcar el ritmo del tráfico de enlace ascendente.

La figura 3 muestra, de acuerdo con una realización, este diseño de alto nivel en un escenario de tres familias. En este caso particular, la totalidad de los tres AGGRAP se encuentran dentro del alcance inalámbrico uno de otro. Inicialmente, la red presenta un único cliente que se conecta con su AP de base (AP1). Dado que los requisitos de tráfico superan la capacidad del enlace de la red de retorno, el AP1 se conecta con el AP2 y el AP3 para acceder a más capacidad cableada. AGGRAP en la topología que se ha mencionado en lo que antecede. El cliente de AP1 es capaz de agregar la capacidad de la totalidad de los 3 enlaces de la red de retorno de 3 Mbps cada uno. En el instante 300 segundos, un segundo cliente aparece en la red, y se conecta con su AP de base (AP3). Dado que ambos clientes requieren más velocidad de transmisión que la que puede proporcionar sus enlaces de la red de retorno, éstos usan el AP2 para asistencia. El sistema es capaz de proporcionar una participación equitativa de la capacidad de la red de retorno de AP2, lo que conduce a una velocidad de transmisión efectiva de 4,5 Mbps para cada cliente.

Formulación:

Tabla 1: Definición de las variables que se usan en la formulación del sistema de agregación basado en AP

Nombre de variable	Definición
b_i [Mbps]	Capacidad de la red de retorno de AP _i
ω_j [Mbps]	Capacidad inalámbrica de AP _j a AP _i
ω_i [Mbps]	Capacidad inalámbrica de AP _i a sus clientes
$f_{ii} \in (0,1]$	Partición de tiempo que el AGGRAP _i dedica a actuar como un AP
$f_{ij} \in [0,1)$	Partición de tiempo que el AGGRAP _i dedica a actuar como un cliente de AP _j

Tabla 2: Definición de las variables que se usan en la formulación del sistema de agregación basado en AP correlacionado con la solución basada en cliente

Nombre de variable	Definición
ω'_i [Mbps]	Capacidad inalámbrica de AP _i a los clientes del AGGRAP
$f'_i \in (0,1]$	Partición de tiempo que el AGGRAP _i dedica a los datos que llegan de la red de retorno b_i

La tabla 1 y la tabla 2 muestran las diferentes definiciones que se usan para la formulación del sistema de agregación basado en AP de la presente invención.

Los AGGRAP actúan como AP normales hasta que sus clientes saturan su capacidad de la red de retorno. Cuando los clientes primarios del AGGRAP saturan su capacidad de la red de retorno es decir, su utilización es más alta que el 80% de la capacidad de la red de retorno, éste explorará en busca de los AP colindantes que puedan proporcionar una capacidad adicional. De entre la totalidad de los AP colindantes con capacidad de la red de retorno disponible, los AGGRAP seleccionan os cuatro AP con la mejor relación de señal a ruido (SNR, *signal to noise ratio*) debido a que se ha mostrado en [1, 18] que, en entornos residenciales típicos, los clientes se encuentran en el alcance de 4-5 AP con un canal inalámbrico que ofrece más de 5 Mbps. Los AGGRAP asistirán a los AP colindantes cuando éstos

se utilizan menos de un 70%. Se deja un margen de un 10% para evitar que los AGGRAP oscilen entre los dos modos. En ese punto en el tiempo, cada AGGRAP necesita calcular cuánto tiempo empleará éste dando servicio a su propio cliente, y a cuántos AP adicionales se conectará y durante cuánto tiempo. El esquema de la invención suministra un programa de este tipo que se dirige a optimizar para una equidad proporcional ponderada, que ofrece un buen arreglo entre la equidad y una utilización eficiente de los recursos de red.

La figura 4 muestra una realización en la que solo uno de los tres AP tiene un cliente que requiere una máxima conectividad de velocidad. Cada AP está conectado con un enlace de la red de retorno b_i , y el cliente está conectado con su AP de base con un canal inalámbrico de una velocidad de transmisión efectiva ω_{11} . El AGGRAP₁ intentará obtener la capacidad a partir de los dos AP colindantes y enviar el agregado a sus clientes. El porcentaje de tiempo que el AGGRAP₁ necesita estar actuando como un AP para ser capaz de enviar la totalidad de la capacidad de la red de retorno a sus clientes es:

$$f_{11} = \frac{\sum_{\forall i} b_i}{\omega_{11}} \quad (1)$$

en la que b_i es el ancho de banda de la red de retorno de AGGRAP_i, ω_{ij} es la velocidad inalámbrica a la que AP_i puede recibir datos a partir de AP_j y ω_{ii} es la velocidad inalámbrica a la que AP_i puede transmitir datos a sus clientes. Los valores de ω_{ij} se estiman siguiendo el mismo proceso que en [1] mientras que cada AP conoce su b_i . Obsérvese que se considera la capacidad inalámbrica como la velocidad de transmisión de TCP que obtendría, usando 802.11, un cliente conectado el 100% del tiempo al AP.

El porcentaje de tiempo que se requiere para obtener el ancho de banda a partir de los AP colindantes es

$$f_{1j} = \frac{b_j}{\omega_{1j}} \quad (2)$$

en la que ω_{1j} es la velocidad inalámbrica a la que AGGRAP₁ puede comunicarse con AP_j, y f_{1j} es el porcentaje de tiempo que AGGRAP₁ emplea actuando como un cliente de AP_j. Si $\sum_{\forall j} f_{1j} < 1$, el AGGRAP₁ tiene bastante tiempo para agregar la totalidad del ancho de banda de la red de retorno y para enviar éste a su cliente.

Sin embargo, dependiendo de la calidad de canal inalámbrico y la capacidad de los enlaces de la red de retorno, no siempre será posible que los AGGRAP agreguen la totalidad de la capacidad disponible. En estas situaciones es necesario optimizar la asignación de tiempo para obtener una distribución de la velocidad de transmisión proporcionalmente equitativa y ponderada de entre los AP. Si se formula entonces el problema de asignación de f_{ij} , puede verse que f_{ii} (el tiempo que el AGGRAP_i emplea actuando como un AP para sus clientes) no ha de ser más

pequeño que $\frac{b_{ij}}{\omega_{ii}}$ / y ésta también ha de justificar el tiempo que se requiere para enviar los datos que se han

captado a partir de otros AP (es decir, $\frac{f_{i2} \times \omega_{i2}}{\omega_{ii}}$ / para AP₂). Entonces, f_{ii} satisface:

$$f_{ii} = \frac{b_i}{\omega_{ii}} + \sum_{\forall j \neq i} \min\left(\frac{f_{ij} \omega_{ij}}{\omega_{ii}}, \frac{b_j}{\omega_{ii}}\right)$$

en la que $\min\left(\frac{f_{ij} \omega_{ij}}{\omega_{ii}}, \frac{b_j}{\omega_{ii}}\right)$ / modela el porcentaje de tiempo que se requiere para transmitir los datos que

pueden obtenerse a partir de AP_j. El límite impuesto por $\frac{b_{ij}}{\omega_{ii}}$ / solo se encuentra activo cuando el AGGRAP_i tiene

bastante tiempo para agregar y transmitir la totalidad de los datos de la red de retorno. En todas las otras situaciones, la cantidad de ancho de banda que puede obtenerse a partir de AP_j viene dada por el porcentaje de tiempo usando el enlace multiplicado por su capacidad ($f_{ij} \omega_{ij}$). Adicionalmente,

45

$$\sum_{\forall j} f_{ij} \leq 1,$$

$$f_{ij} \leq \frac{b_j}{\omega_{ij}}, \forall j \neq i,$$

5 No hay solución de forma cerrada alguna para el problema que se ha enunciado en lo que antecede. Sin embargo, es posible correlacionar el problema de asignación de f_{ij} en los AGGRAP con el problema ya solucionado en [1] de una agregación de la red de retorno inalámbrica a partir de los clientes.

10 La figura 5 muestra cómo asignar el flujo de datos de tiempo de transmisión cuando las tres fuentes de ancho de banda se encuentran disponibles. En este caso, la invención define un canal inalámbrico de superposición por cada enlace de la red de retorno, y el porcentaje de tiempo que se necesita para transmitir datos a través de un determinado canal de superposición viene dado por la relación.

$$f'_i = \frac{b_i}{\omega'_i}$$

15 en la que b_i es el ancho de banda de la red de retorno disponible y ω'_i es la capacidad inalámbrica del canal de superposición. Comparando la figura 4 y la figura 5, puede verse que $f'_1 = \frac{b_1}{\omega'_1}$ en la que $\omega'_1 = \omega_{11}$. Sin embargo,

para calcular $f'_2 = \frac{b_2}{\omega'_2}$ es necesario conocer ω'_2 . Entonces, ω'_2 necesita modelar la capacidad inalámbrica del

canal que enlaza el enlace de la red de retorno de capacidad b_2 con el cliente inalámbrico. Entonces, ω'_2 puede obtenerse usando el tiempo que se requiere para transmitir un paquete de tamaño P a través de ambos saltos:

$$\text{tiempo_tx} = \frac{P}{\omega_{12}} + \frac{P}{\omega_{11}} = P \frac{\omega_{11} + \omega_{12}}{\omega_{11}\omega_{12}},$$

20

Entonces,

$$\omega'_2 = \frac{\omega_{11}\omega_{12}}{\omega_{11} + \omega_{12}}.$$

25

Siguiendo el mismo proceso con ω'_3 , es posible reducir entonces el problema de la agregación de ancho de banda de la red de retorno a la asignación de f'_1 , f'_2 y f'_3 con las mismas restricciones que en [1] para garantizar una asignación de la velocidad de transmisión equitativa de entre la totalidad de los clientes.

30 Una vez que se ha calculado el porcentaje de tiempo de cada fuente de ancho de banda, es necesario correlacionar estos valores con los porcentajes reales de tiempo que usará AGGRAP (f_{11} , f_{12} y f_{13}).

35 A partir del cambio en la notación que se ha realizado con anterioridad, puede ser evidente ver que f'_1 justifica el tiempo que AGGRAP₁ requiere para transmitir b_1 a sus clientes y no captura el tiempo que se requiere para enviar los datos que éste podría agregar a partir de los AP colindantes. Entonces, f'_2 justifica el porcentaje de tiempo que se requiere para transmitir ancho de banda desde b_2 al AGGRAP₁ y desde el AGGRAP₁ a sus clientes, lo que representa f_{12} más alguna porción de f_{11} . Centrándose en el porcentaje de tiempo para transmitir datos de AP₂ a AP₁, la correlación entre f_{12} y f'_2 puede verse a partir del porcentaje de tiempo que un paquete de tamaño P emplea en cada uno de los dos enlaces dados ω_{11} y ω_{12} .

40

$$(\% \text{ de tiempo en el enlace } 1 - 2) = \frac{\frac{P}{\omega_{12}}}{\frac{P}{\omega_{12}} + \frac{P}{\omega_{11}}},$$

$$(\% \text{ de tiempo en el enlace } 1 - 2) = \frac{\omega_{11}}{\omega_{11} + \omega_{12}}$$

Entonces,

$$f_{12} = f'_2 \frac{\omega_{11}}{\omega_{11} + \omega_{12}}$$

5

y

$$f_{11} = f'_1 + f'_2 \frac{\omega_{12}}{\omega_{11} + \omega_{12}} + f'_3 \frac{\omega_{13}}{\omega_{11} + \omega_{13}}$$

10

La tabla 3 muestra los valores de f_i y ω'_i para la realización que se muestra en la figura 4 considerando que la totalidad de los tres enlaces de la red de retorno son de una capacidad $b_i = 1$ Mbps. Puede verse que, después de la conversión de los canales de superposición a los canales inalámbricos reales, los valores obtenidos para f_{ij} son los mismos que los que podrían calcularse usando la ecuación (1) y la ecuación (2).

15

Para solucionar la presente realización, no es necesario usar el cambio de variables debido a que AGGRAP es capaz de agregar la totalidad del ancho de banda de la red de retorno. Sin embargo, el en caso de que AGGRAP necesite seleccionar la mejor asignación de tiempo de entre los AP colindantes para proporcionar una participación proporcionalmente equitativa de la capacidad de la red de retorno, el uso de los canales inalámbricos de superposición proporciona una forma de correlacionar un problema con las definiciones recursivas de variables con un problema con las soluciones conocidas [3, 1]. AGGRAP usa la solución que se describe en [1] para seleccionar una distribución de la velocidad de transmisión proporcionalmente equitativa ponderada de entre los AGGRAP que se resume en el apéndice.

20

25

Tabla 3: Ejemplo de la correlación entre los tres “canales de superposición” y los canales inalámbricos reales.

	AP ₁	AP ₂	AP ₃
b_i [Mbps]	1	1	1
ω_{ij} [Mbps]	ω ₁₁ = 20	ω ₁₂ = 10	ω ₁₃ = 10
ω'_i [Mbps]	ω' ₁ = 20	ω' ₂ = 6,67	ω' ₃ = 6,67
f'_i	f' ₁ = 0,05	f' ₂ = 0,15	f' ₃ = 0,15
f_{ij}	f ₁₁ = 0,15	f ₁₂ = 0,10	f ₁₃ = 0,10

Evaluación experimental:

Esta sección describe con brevedad la implementación de AGGRAP sobre soporte físico disponible en el mercado y su rendimiento sobre un banco de pruebas a pequeña escala. La evaluación se centra en: i) las implicaciones de rendimiento del uso de un AP tanto para dar servicio a los clientes, como para actuar como un cliente en sí mismo, ii) la evaluación de la precisión de la reformulación del problema tal como se ha descrito en lo que antecede, y iii) las ganancias de rendimiento de AGGRAP en un entorno realista. Los experimentos se realizaron en un entorno de oficinas usando dispositivos disponibles en el mercado, tal como ordenadores portátiles y teléfonos Android.

30

35

Implementación:

AGGRAP se implementó en un ordenador de sobremesa con linux kernel 2.6.32 y una tarjeta PCI Express 802.11 basada en atheros controlada por el controlador de linux ath9k[4]. El código de ath9k de compat-wireless-2.6.32 tiene una implementación inicial de virtualización de múltiples canales. El código se modificó para posibilitar la programación de TDMA, a la vez que se limita cualquier pérdida asociada en cuanto al rendimiento.

40

- Para controlar que el último paquete enviado antes de la conmutación fuera el que indica que AGGRAP va a pasar al modo de ahorro de energía, éste i) en primer lugar detuvo las colas de capa superior y entonces comenzó el proceso de conmutación, y ii) redujo el número de colas de soporte físico de “4” a “1”. El número de “4” colas es para posibilitar extensiones de multimedios inalámbricos (WME, del inglés *wireless multimedia extensions*).
- La longitud de las colas de soporte físico se redujo para aumentar la precisión de los sucesos de conmutación.

45

50

Además, se implementó el mecanismo de silenciamiento mediante el cual los AGGRAP pueden silenciar su dominio de contienda para enmascarar a sus clientes la desaparición de su canal de funcionamiento. Al igual que con los requisitos de diseño originales, los clientes de los inventores de la presente invención permanecen totalmente sin modificar, permitiendo de este modo realizar experimentos con ordenadores portátiles, así como teléfonos inteligentes.

Preparación experimental:

El banco de pruebas de la invención consiste en dos AGGRAP, un AP Linksys WRT54GL y tres máquinas que actúan como servidores en la red cableada. Para estudiar la incidencia de diferentes capacidades de la red de retorno sobre el rendimiento de AGGRAP, se usa control de tráfico (tc, *traffic control*) para limitar la tasa de los enlaces de la red de retorno. Para estudiar la incidencia de diferentes capacidades inalámbricas, se modificó la tasa de transmisión de los AP. Se usaron ordenadores portátiles de Dell (latitude D620) ejecutando ubuntu 8.04 (linux kernel 2.6.24) para conectar con los AGGRAP para realizar la mayoría de los experimentos de velocidad de transmisión. Además, también se sometieron a prueba teléfonos Android (por ejemplo, se han sometido a prueba un HTC Nexus One y un Samsung Galaxy SII) conectando con los AGGRAP y obtuvieron el mismo rendimiento que el que se obtuvo en los ordenadores portátiles. Se usaron conexiones de TCP de lperf de enlace descendente [5] para medir la velocidad de transmisión conseguida en cada escenario. Todos los experimentos se llevaron a cabo durante la noche para evitar la interferencia procedente de redes que no pertenecen al banco de pruebas.

Virtualización de múltiples canales de radio única:

Antes de continuar con la evaluación del rendimiento de AGGRAP en su conjunto, es necesario que evaluar si una virtualización de múltiples canales de radio única incurre en sobrecarga alguna cuando una de las interfaces virtuales actúa en el modo de AP. Con este fin, se desplegó la red que se muestra en la figura 8(b), en la que un AGGRAP actúa como un AP y como un cliente de un AP colindante. AGGRAP actúa como un AP en el canal 1 (2,412 GHz) mientras que el AP colindante se ajusta al canal 5 (2,432 GHz). Usando esta topología de red, se realizó un primer experimento para mostrar la evolución de la velocidad de transmisión obtenida en cada interfaz dependiendo del porcentaje de tiempo que se dedica a ésta. En este experimento se iniciaron de manera simultánea dos conexiones de TCP: i) una desde AGGRAP a su cliente; y ii) una desde la red de retorno del AP colindante al AGGRAP. No se aplicaron restricciones a la capacidad de la red de retorno de los AP, permitiendo de este modo evaluar solo la red de WiFi. Todos los AP transmiten a la máxima tasa de transmisión de capa física posible en 802.11g (es decir, 54 Mbps).

La figura 6 muestra los resultados del experimento. La “velocidad de transmisión de base” es el ancho de banda obtenido en el enlace entre el AGGRAP y su cliente y la “velocidad de transmisión en préstamo” el ancho de banda que AGGRAP es capaz de recibir usando el AP colindante. La línea etiquetada “velocidad de transmisión agregada” en la figura 6 hace referencia a la suma de la “velocidad de transmisión de base” y la “velocidad de transmisión en préstamo” que muestra la utilización global de la tarjeta inalámbrica.

La figura 6 muestra que la velocidad de transmisión de base aumenta de forma lineal con el porcentaje de tiempo que el AP proporciona tráfico a su cliente. Esto es de esperar, debido a que no existe restricción alguna sobre la capacidad de la red de retorno del AP. De manera similar, a medida que aumenta el porcentaje de tiempo en el modo de AP, la invención reduce de manera efectiva la cantidad de tiempo que el AP recibe tráfico a partir del AP colindante. Lo que es más importante, si las dos métricas se suman, la velocidad de transmisión agregada permanece casi constante a lo largo de los diferentes experimentos, lo que indica que la sobrecarga de la conmutación de AP a cliente es fija y solo tiene incidencia sobre la velocidad de transmisión agregada global en 3,2 Mbps. La implementación de la invención requiere 1,5 ms para conmutar de una interfaz virtual a otra que está funcionando en una frecuencia diferente. Pero puede observarse que, después de la conmutación de la frecuencia y el envío del paquete que notifica al AP colindante que éste está de vuelta del ahorro de energía, hay un periodo de tiempo en el que la tarjeta no transmite dato alguno. Este periodo tiene una duración media de 6 ms y es debido al diseño de las interacciones entre las colas del controlador (ath9k) y las capas superiores (mac80211). Como puede observarse, usando un ciclo de TDMA de 100 ms, la incidencia de la conmutación es de un 15% de la capacidad de 802.11 sin conmutación.

En presencia de un flujo de 2 saltos desde el AP colindante al cliente, se esperaría observar una velocidad de transmisión que es la mínima de la velocidad de transmisión de base y en préstamo. La invención ejemplifica una conexión de este tipo a través de la red (en aislamiento esta vez) y varía la cantidad de tiempo que el AP de base da servicio a su cliente. Los resultados se representaron gráficamente como velocidad de transmisión de retransmisión. De hecho, la línea sigue bien el mínimo de la velocidad de transmisión de base y en préstamo.

Por último, puede observarse que la utilización total de la tarjeta inalámbrica cuando se realiza una conmutación de canal alcanza a lo sumo 19 Mbps. Este valor es, en realidad, $\omega_{11\text{-Conmutación}} = 0,86 \times \omega_{11\text{-Sin conmutación}}$. Esto muestra la incidencia de la sobrecarga de conmutación de canal.

Por lo tanto, la virtualización de la tarjeta WiFi para actuar tanto como AP como cliente sobre diferentes frecuencias conduce de hecho al comportamiento esperado en la implementación de la invención.

Validez de la formulación:

5 En párrafos anteriores se ha mostrado que, usando un cambio de variables, es posible correlacionar la formulación del problema de agregación basado en AP con el basado en cliente y, entonces, aplicar la mejor solución de las ya propuestas en la bibliografía.

10 Cambio de variables:

El cambio de variables que ayuda a correlacionar el nuevo problema de optimización con uno conocido consiste en predecir la capacidad del enlace de dos saltos entre un AP colindante y los clientes de AGGRAP (ω'_2) sobre la base

de la capacidad inalámbrica de cada salto en la comunicación (ω_{11} y ω_{12}). Entonces, $\omega'_2 = \frac{\omega_{11} \times \omega_{12}}{\omega_{11} + \omega_{12}}$.

15 Los cambios de variables provienen de la medición de la totalidad del tiempo de transmisión de un paquete a través de cada enlace y añaden estos tiempos para encontrar la capacidad promedio en los dos enlaces. Esta suposición es perfectamente válida sobre el papel, pero es necesario confirmar que éste es el caso en el prototipo de los inventores de la presente invención y que el tiempo de procesamiento de los paquetes o el almacenamiento en memoria intermedia que se realiza en AGGRAP antes de volver a transmitir los paquetes a los clientes no afecta a ω_2 .

25 Con este fin, ω_{12} se midió para la totalidad de las tasas de transmisión de un AP de 802.11g. Esto simula el efecto de tener el AP colindante más lejos con una capacidad inalámbrica más baja. Para medir ω_{12} , se realizaron 5 pruebas de iperf de 50 segundos cada una entre el AP colindante y AGGRAP usando solo una interfaz virtual en el modo de cliente.

30 También se midió la capacidad de retransmisión de los AGGRAP variando el porcentaje de tiempo que se dedica a la interfaz de AP. La máxima capacidad de retransmisión en cada una de estas pruebas se corresponde con la ω_2 experimental. Además, se midió $\omega_{11} = 22,2$ Mbps y se calculó la ω_2 esperada para cada uno de los experimentos.

Los valores estimados en ausencia de conmutación se reducirán en realidad cuando se realiza una conmutación de canal. Y entonces

$$\omega'_2 = \frac{\gamma^2 \omega_{11} \omega_{12}}{\gamma(\omega_{11} + \omega_{12})} = \gamma \times \frac{\omega_{11} \omega_{12}}{\omega_{11} + \omega_{12}}$$

35 en la que $\gamma = 0,8$ es una constante que tiene en cuenta la relación entre la ω_2 experimental y la esperada. Puede verse entonces que el cambio de variables correlaciona la formulación de AGGRAP con un sistema de agregación de la red de retorno basado en cliente.

40 Equidad:

45 La correlación del problema de agregación basado en AP con el basado en cliente ofrece la posibilidad de optimizar para los mismos fines que se han explorado en la bibliografía [1, 3]. Sin embargo, la realización del cálculo de optimización en un punto diferente de la red tiene algunas implicaciones en el resultado final. Las soluciones basadas en cliente optimizaron para la máxima velocidad de transmisión individual [3] o equidad por cliente [1]. Sin embargo, en la solución basada en AP es posible optimizar para la máxima velocidad de transmisión del AP entregado a sus usuarios o equidad por AP.

50 Considerando el despliegue de red que se muestra en la figura 7, en el que el ordenador portátil 1 se conecta con el AGGRAP1 y el ordenador portátil 2 y el teléfono Android se conecta con el AGGRAP3 y la capacidad de cada red de retorno es de 3 Mbps. Todos los AP se encuentran en el alcance uno del otro con capacidad inalámbrica máxima (20 Mbps) y los clientes se comunican con su AP con la misma capacidad inalámbrica. Entonces, se ejecuta un experimento en el que el ordenador portátil 1 y el teléfono Android abren 5 flujos de enlace descendente de TCP por red de retorno que éstos están usando, mientras que el ordenador portátil 2 solo abre un flujo de TCP de enlace descendente por red de retorno. Puede observarse que el AGGRAP1 y el AGGRAP3 ofrecen el mismo ancho de banda a la suma de sus clientes, pero el teléfono Android obtiene una participación más grande de los 4,5 Mbps que está ofreciendo el AGGRAP3. Esto es debido a que el control de la velocidad de transmisión obtenida en cada enlace inalámbrico se realiza en el AP en lugar de en los clientes. Y la compartición de la capacidad agregada del AGGRAP3 se controla por el control de congestión de TCP que proporciona equidad por flujo.

Capacidad de agregación:

Para explorar la máxima capacidad de agregación de AGGRAP, se usó la topología de red que se muestra en la figura 8(b). La capacidad de la red de retorno de base se estableció a 3 Mbps y se exploró cuál es el máximo ancho de banda que puede agregarse a partir de un AP colindante con un canal perfecto —el AP colindante está transmitiendo a una tasa física de 54 Mbps—. En el presente escenario, AGGRAP proporciona una velocidad de transmisión total de 9,9 Mbps a su cliente: 3 Mbps provenientes de la red de retorno de base y 6,9 Mbps recogidos a partir del AP colindante. El punto de funcionamiento de AGGRAP es dedicar el 40% del tiempo a captar ancho de banda a partir del AP colindante y el 60% restante a proporcionar la velocidad de transmisión agregada a su cliente.

Agregación de ancho de banda basada en cliente frente a la basada en AP:

Se ha visto en algunas de las realizaciones que es técnicamente posible realizar una agregación de ancho de banda usando un AP de radio única y que ésta produce beneficios para diferentes tipos de clientes de WiFi. Sin embargo, la aparición de los enlaces inalámbricos de múltiples saltos aumenta la complejidad de la arquitectura de red resultante. Es necesario analizar entonces cuáles son los inconvenientes del uso de AGGRAP y cuantificar sus beneficios potenciales para evaluar su viabilidad.

Con el fin de realizar una comparación fácil de seguir entre ambos sistemas, se realiza un cálculo analítico del máximo ancho de banda que puede agregar cada sistema en un escenario que puede solucionarse con el respaldo de los cálculos de envolvente. El escenario seleccionado es: un cliente que puede ver un AP colindante con la misma calidad que su AP de base ($\omega_2 = \omega_{12}$). La figura 8 muestra otra realización de la configuración de red de las soluciones basadas en cliente y basadas en AP para el escenario seleccionado para la comparación.

Todas las redes de retorno son la misma:

Considerando que cada AP está conectado con una red de retorno cableada de 6 Mbps, la velocidad de transmisión que puede ofrecer una solución basada en cliente para diferentes capacidades inalámbricas se muestra en la figura 9(a). Comparando ambas figuras, las figuras 9 (a y b), puede observarse que la solución basada en cliente es capaz de agregar completamente los 12 Mbps disponibles de los enlaces de la red de retorno para un intervalo más amplio de capacidades de canal inalámbrico.

Otra diferencia entre ambos sistemas exhibe en estas figuras cómo la basada en cliente no muestra preferencia alguna para el AP con mejor calidad mientras que la solución basada en AP está vinculada a una decisión sensata del AP seleccionado. Esto puede verse a partir del hecho de que la figura 9(a) es simétrica mientras que la figura 9(b) no lo es. Por lo tanto, si la capacidad inalámbrica de AP de base es muy baja, el cliente obtendrá a lo sumo esa capacidad con independencia de la calidad de canal del enlace al AP colindante.

Diferentes redes de retorno:

Entonces, centrándose en el mismo escenario que se ha descrito en lo que antecede, la capacidad de los enlaces de la red de retorno es de 1 Mbps para la red de retorno de base y de 10 Mbps para la colindante.

La figura 10(a) muestra los resultados para una solución basada en cliente mientras que la figura 10(b) muestra la velocidad de transmisión que AGGRAP proporciona a sus clientes. Comparando los resultados a partir de ambos sistemas, se observa que:

- La solución basada en cliente consigue una velocidad de transmisión 0,5 Mbps más alta.
- AGGRAP no puede agregar cuando uno de los dos enlaces inalámbricos es malo.
- La solución basada en cliente selecciona el AP colindante para captar el ancho de banda.
- Con respecto a la no agregación, AGGRAP ofrece una velocidad de transmisión al menos 4 veces más alta a sus clientes cuando $\omega_{12} > 5$ Mbps:

En el presente escenario, la red de retorno de base contribuye a un 9% de la capacidad total. Entonces, el beneficio de obtener esta capacidad es mínimo en comparación con la capacidad colindante. El resultado de esta situación es que, cuando el enlace al AP colindante ofrece una capacidad más alta que la red de retorno de base, la máxima velocidad de transmisión se obtiene mediante la conexión con el AP colindante. Cuando los usuarios se encuentran en casa, éstos usan su AP de base y agregan tanto como es posible con independencia del desequilibrio en cuanto a la capacidad. Sin embargo, el presente escenario muestra la importancia del algoritmo de selección de AP cuando los usuarios no se encuentran en casa.

Reducir adicionalmente la capacidad de la red de retorno de base conduciría a una situación en la que AGGRAP se vuelve un retransmisor del AP colindante. El caso de que el AP de base se encuentre entre el cliente y el AP colindante, el cliente obtendrá una velocidad de transmisión más alta usando el AP de base como un retransmisor que intentando conectar directamente con el AP colindante.

La presente invención señala un problema fundamental con las soluciones de agregación de ancho de banda de WLAN anteriores: su necesidad de modificaciones de cliente hace su coste de despliegue prohibitivo. Para liberar el potencial de esas soluciones, la presente invención proporciona e implementa un sistema que puede aproximarse a los beneficios de las soluciones basadas en cliente requiriendo modificaciones solo en los AP. Se muestra que la formulación de un sistema de este tipo es una variación de la definición del problema original, y se propone una arquitectura (AGGRAP) para su realización. El rendimiento de AGGRAP con el de las soluciones basadas en cliente se ha comparado y mostró que, aunque menos eficiente agregando ancho de banda, el primero aún puede producir unos aumentos sustanciales de la velocidad de transmisión. AGGRAP ofrece además aumentos de la velocidad de transmisión para una diversidad de dispositivos de WiFi sin modificar (por ejemplo, ordenadores portátiles y diferentes teléfonos Android).

Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en las realizaciones que se han descrito sin alejarse del alcance de la invención tal como ésta se define en las reivindicaciones adjuntas.

15 ACRÓNIMOS

ADSL *Asymmetric Digital Subscriber Line*, Línea de Abonado Digital Asimétrica

AP *Access Point*, Punto de Acceso

NAV *Network Allocation Vector*, Vector de Asignación de Red

TDMA *Time Division Multiple Access*, Acceso Múltiple por División en el Tiempo

WIFI *Wireless Fidelity*, Fidelidad Inalámbrica

WLAN *Wireless Local Area Network*, Red de Área Local Inalámbrica

REFERENCIAS

[1] Giustiniano, D., Goma, E., Lopez Toledo, A., Dangerfield, I., Morillo, J., y Rodriguez, P. Fair WLAN Backhaul Aggregation. En Proc. de MobiCom'10 (2010).

[2] Giustiniano, D., Goma, E., Toledo, A. L., y Rodríguez, P. WiSwitcher: An Efficient Client for Managing Multiple APs. En Proc. de PRESTO'09 (2009).

[3] Kandula, S., Lin, K. C. J., Badirkhanli, T., y Katabi, D. FatVAP: Aggregating AP Backhaul Capacity to Maximize Throughput. En Proc. de NSDI'08 (2008).

[4] Linux Wireless. ath9k linux driver. <http://linuxwireless.org/en/users/Drivers/ath9k>.

[5] Universidad de Illinois. Iperf. <http://iperf.fr/>.

[6] FON. <http://www.fon.com/>.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la agregación de ancho de banda en un punto de acceso (AP1) dedicado, comprendiendo dicho método proporcionar comunicación a al menos un dispositivo de cliente inalámbrico a través de una conectividad con dicho punto de acceso dedicado correspondiente (AP1), así como ubicar y reconocer una pluralidad de Puntos de Acceso (AP2, AP3) colindantes, **caracterizado por que** comprende las siguientes acciones:
- 5 a) notificar, mediante dicho punto de acceso (AP1) dedicado, un periodo de ausencia predeterminado a dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico al que proporciona comunicación;
- 10 b) durante dicho periodo de ausencia predeterminado, pasando a ser dicho punto de acceso (AP1) dedicado un cliente para al menos un segundo punto de acceso (AP2) de dicha pluralidad de Puntos de Acceso (AP2, AP3) colindantes;
- 15 c) recibir, mediante dicho punto de acceso (AP1) dedicado como un cliente, unos datos de la red de retorno que se corresponden con un ancho de banda de la red de retorno de dicho al menos un segundo punto de acceso (AP2) y agregar dichos datos de la red de retorno recibidos a partir de dicho al menos un segundo punto de acceso (AP2) a sus propios datos de la red de retorno; y
- 20 d) enviar, mediante dicho punto de acceso (AP1) dedicado, dichos datos de la red de retorno agregados a dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico después de que el periodo de ausencia predeterminado haya transcurrido.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende realizar dicho punto de acceso (AP1) dedicado, dicha conectividad y dicha agregación de ancho de banda mediante el uso de una solución de punto de acceso de radio única.
- 25 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** dicha agregación de ancho de banda realizada por dicho punto de acceso (AP1) dedicado comporta agregar el ancho de banda de reserva de dicho al menos segundo punto de acceso (AP2).
- 30 4. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado por que** comprende además realizar dicha agregación de ancho de banda con independencia del funcionamiento de canal de los puntos de acceso implicados.
5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha etapa d) se realiza inmediatamente después de que dicho periodo de ausencia predeterminado haya transcurrido.
- 35 6. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado por que** dicha conectividad entre los puntos de acceso (AP1, AP2, AP3) se realiza estando dichos puntos de acceso (AP1, AP2, AP3) en el alcance de comunicación.
- 40 7. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicho periodo de ausencia predeterminado tiene un valor tal que dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico mantiene asociación con dicho punto de acceso dedicado (AP1).
- 45 8. Un método de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado por que** dicho valor de periodo de ausencia se calcula mediante el uso de un Vector de Asignación de Red NAV, teniendo dicho valor de periodo de ausencia una duración máxima de 32 ms.
- 50 9. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** dicha etapa b) se realiza cuando la utilización de ancho de banda de la red de retorno de dicho punto de acceso (AP1) dedicado supera el 80% de su capacidad.
- 55 10. Un método de acuerdo con la reivindicación 9, **caracterizado por que** comprende anunciar, dicho punto de acceso dedicado (AP1) a dicho al menos segundo punto de acceso (AP2), a través de tramas de baliza dicha capacidad de ancho de banda de la red de retorno así como su velocidad de transmisión disponible para la agregación con el fin de posibilitar una deducción de un programa de Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA) apropiado.
- 60 11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado por que** comprende además priorizar el tráfico que proviene de dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico en dicho punto de acceso (AP1) dedicado con el fin de asegurar que se usa capacidad de reserva de dicho ancho de banda de la red de retorno para asistencia.
- 65 12. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** comprende realizar dicha agregación de ancho de banda de la red de retorno mediante la garantía de una compartición igual y equitativa entre los puntos de acceso.
13. Un sistema para la agregación de ancho de banda en un punto de acceso (AP1) dedicado, comprendiendo dicho sistema:

al menos un dispositivo de cliente inalámbrico y un punto de acceso (AP1) dedicado con el que dicho dispositivo de cliente inalámbrico establece una comunicación; y
 teniendo dicho al menos un punto de acceso (AP1) dedicado una capacidad de conectividad para ubicar y reconocer una pluralidad de puntos de acceso (AP2, AP3) colindantes, **caracterizado por que** dicho punto de acceso (AP1) comprende además medios adaptados para:

5
 10
 15
 notificar un periodo de ausencia predeterminado a dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico al que proporciona comunicación;
 actuar como un cliente para al menos un segundo punto de acceso (AP2) de dicha pluralidad de puntos de acceso (AP2, AP3) colindantes durante dicho periodo de ausencia predeterminado;
 recibir datos de la red de retorno correspondientes a un ancho de banda de la red de retorno de dicho al menos un segundo punto de acceso (AP2) y agregar dichos datos de la red de retorno recibidos desde dicho al menos un segundo punto de acceso (AP2) a sus propios datos de la red de retorno; y
 enviar los datos de la red de retorno agregados a al menos un dispositivo de cliente inalámbrico después de que haya transcurrido el periodo de ausencia predeterminado.

14. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado por que** la comunicación entre puntos de acceso (AP1, AP2, AP3) y la comunicación entre el punto de acceso (AP1) y el dispositivo de cliente inalámbrico se establece por una solución de punto de acceso de radio única,
 20 en el que dicha solución de punto de acceso de radio única está ubicada en dicho punto de acceso dedicado (AP1),
 y
 en el que en dicha solución de punto de acceso de radio única, cada punto de acceso (AP1, AP2, AP3) está ubicado en un canal de comunicación diferente o en el mismo canal de comunicación.

15. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 14, **caracterizado por que**, en dicha solución de punto de acceso de radio única, dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico permanece sin modificar durante dicha comunicación.

16.- Un punto de acceso (AP1) dedicado para agregación de ancho de banda, configurado dicho punto de acceso (AP1) dedicado para proporcionar comunicación a al menos un dispositivo de cliente inalámbrico y que tiene una capacidad de conectividad para ubicar y reconocer una pluralidad de puntos de acceso (AP2, AP3) colindantes, **caracterizado por que** dicho punto de acceso (AP1) dedicado comprende además medios adaptados para:

35
 40
 notificar un periodo de ausencia predeterminado a dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico al que proporciona comunicación;
 actuar como un cliente para al menos un segundo punto de acceso (AP2) de dicha pluralidad de Puntos de Acceso (AP2, AP3) colindantes durante dicho periodo de ausencia predeterminado;
 recibir datos de la red de retorno que se corresponden con un ancho de banda de la red de retorno de dicho al menos un segundo punto de acceso (AP2) y agregar dichos datos de la red de retorno recibidos desde dicho al menos un segundo punto de acceso (AP2) a sus propios datos de la red de retorno; y
 enviar dichos datos de la red de retorno agregados a dicho al menos un dispositivo de cliente inalámbrico después de que el periodo de ausencia predeterminado haya transcurrido.

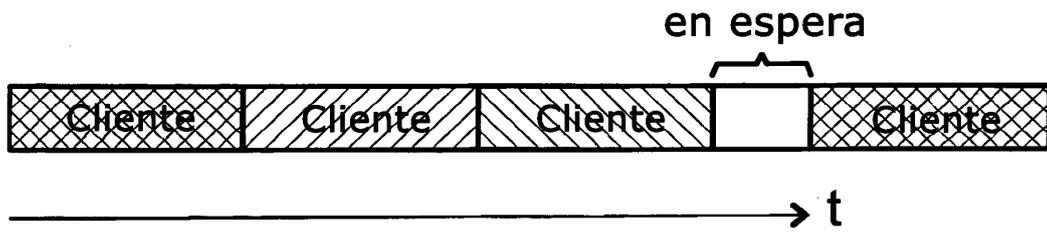


FIG. 1



FIG. 2

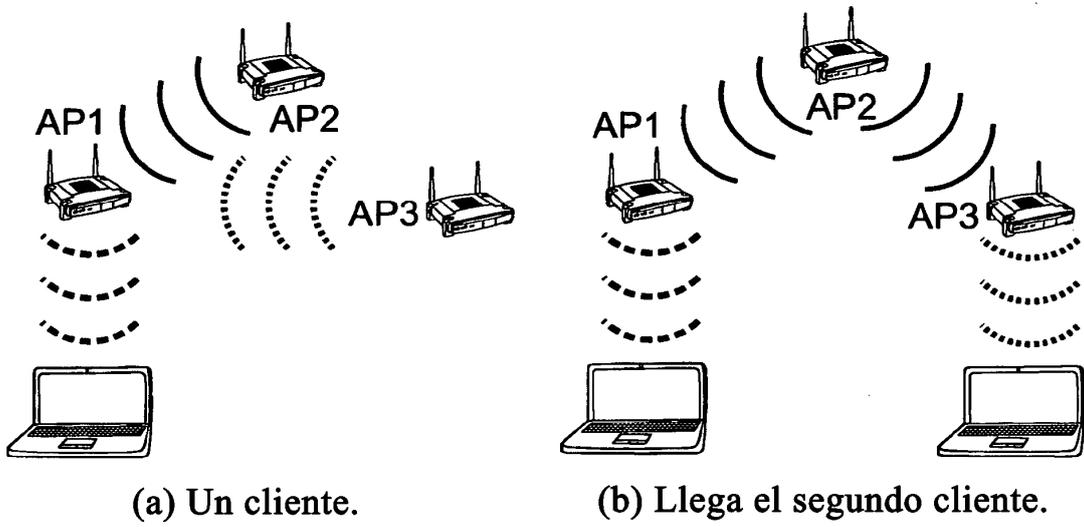


FIG. 3

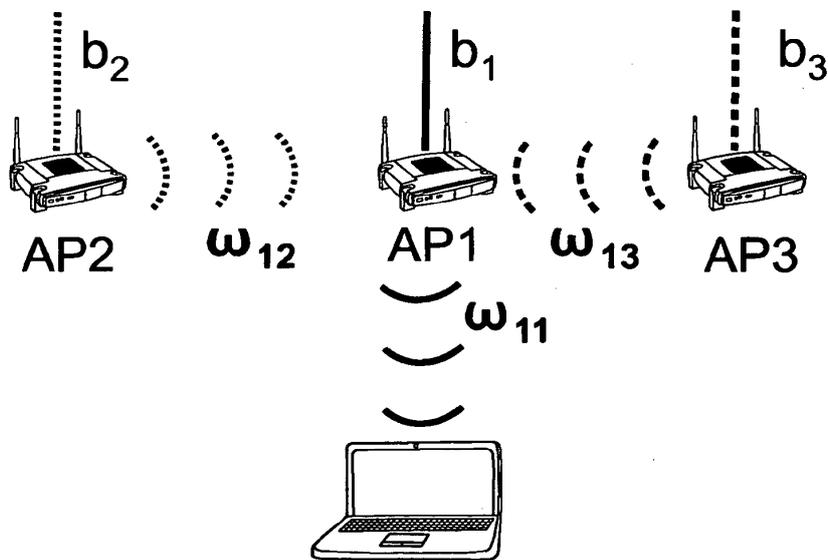


FIG. 4

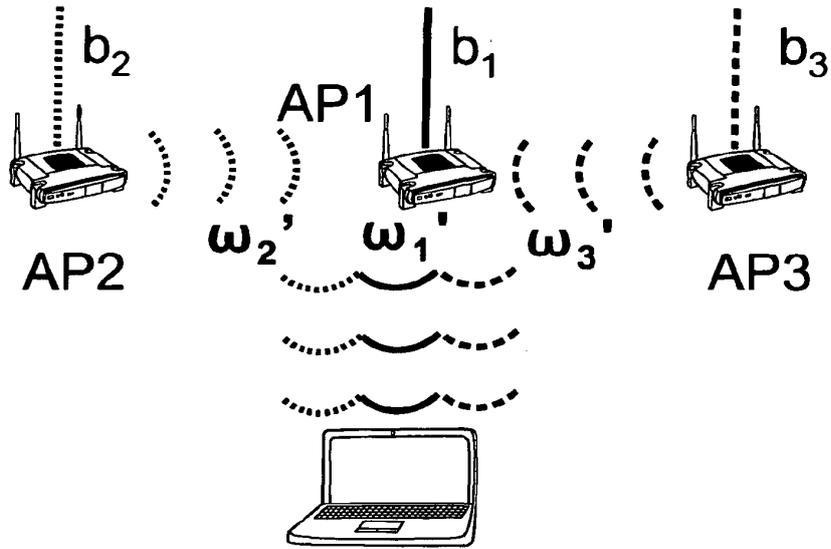


FIG. 5

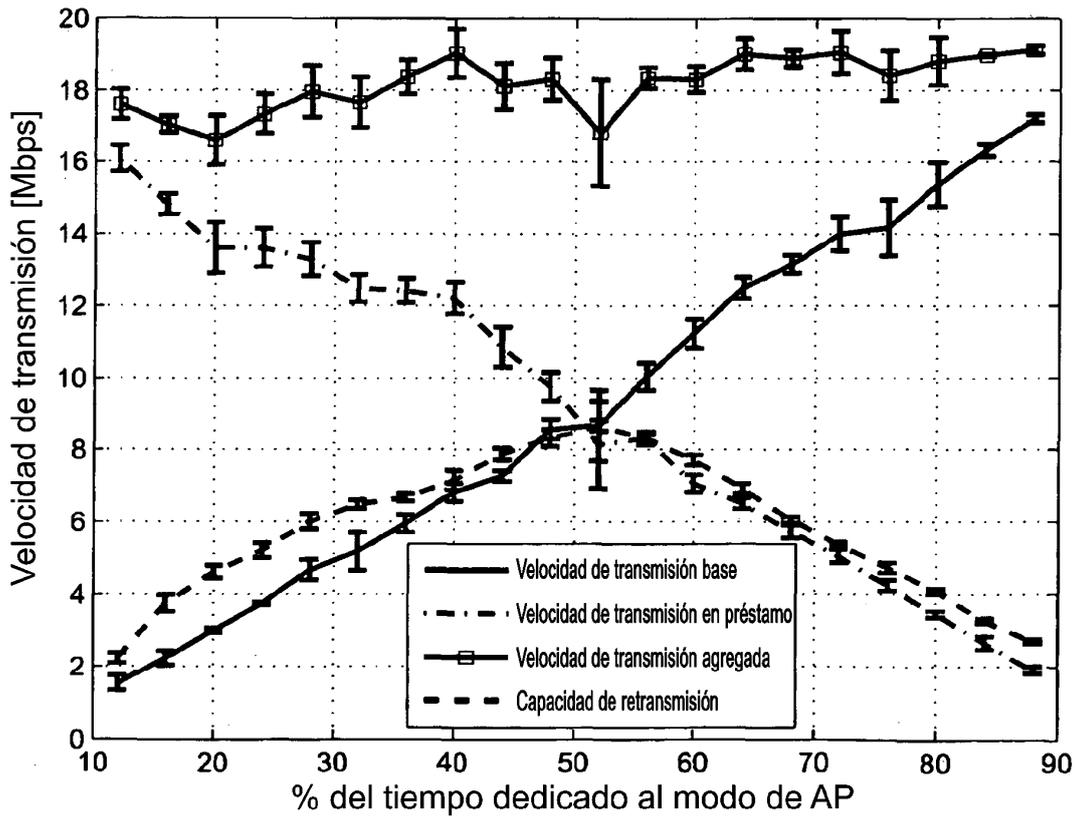


FIG. 6

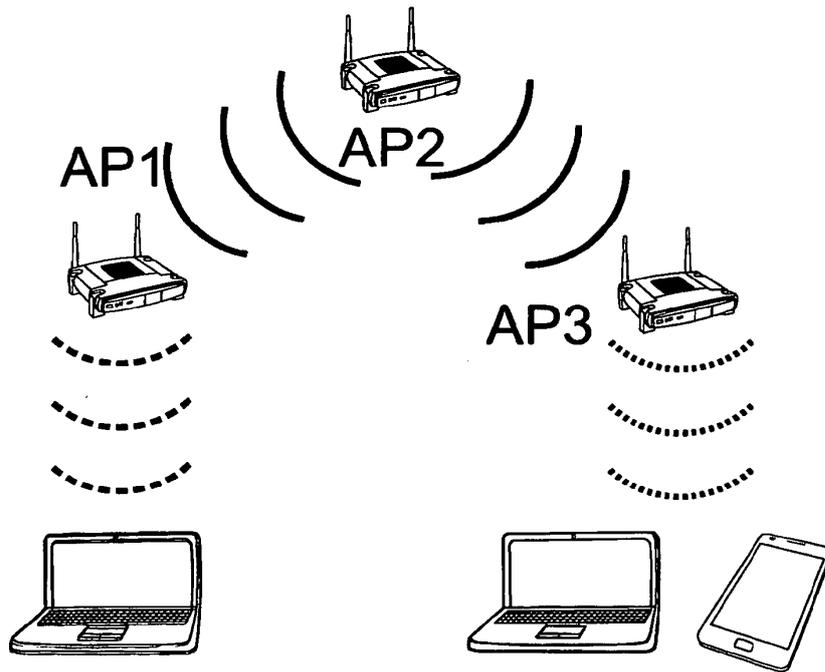
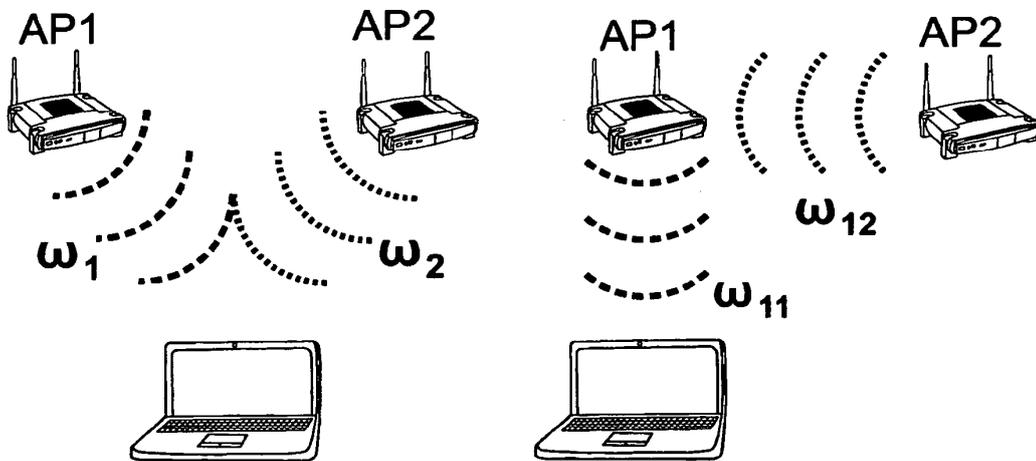
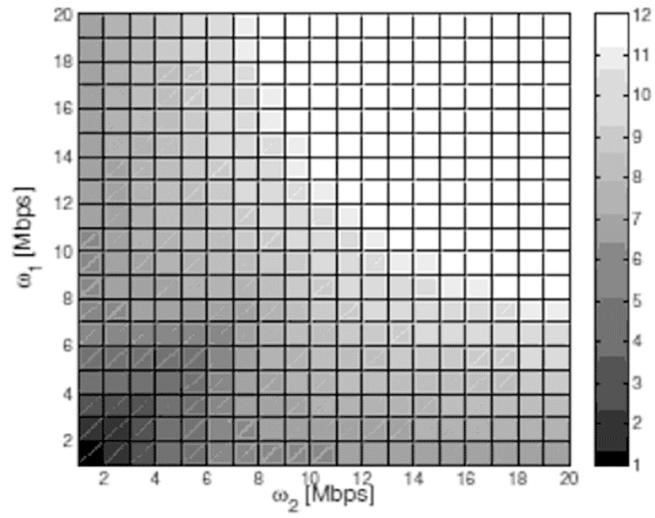


FIG. 7

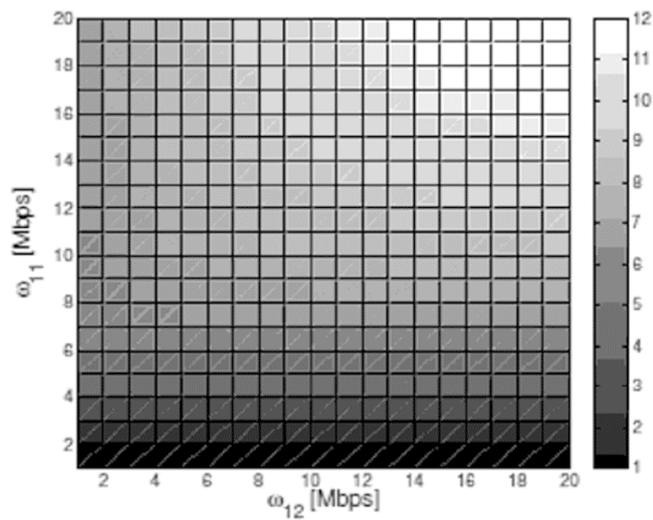


(a) Solución basada en cliente. (b) Solución basada en AP.

FIG. 8

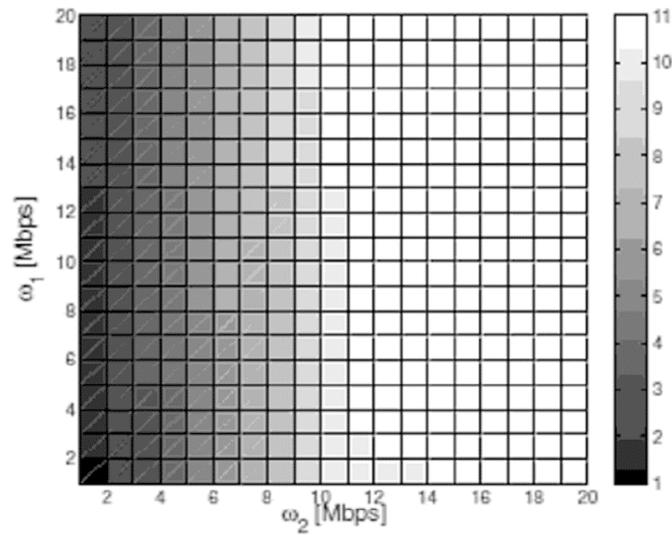


(a) Capacidad de agregación basada en cliente

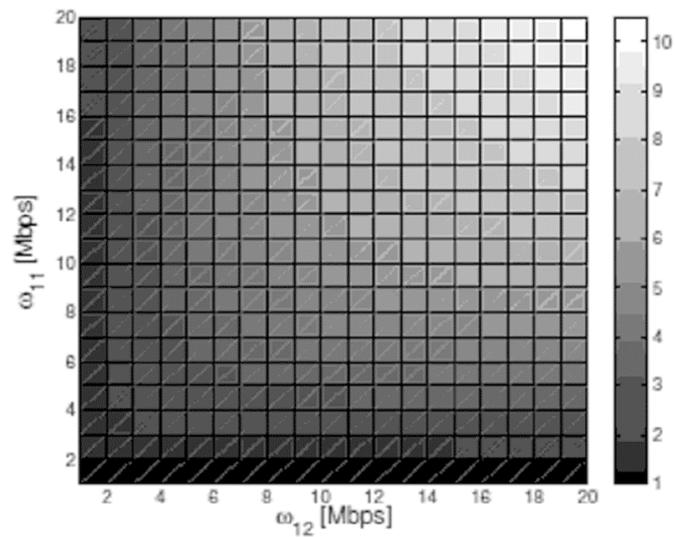


(b) Capacidad de agregación basada en AP

FIG. 9



(a) Capacidad de agregación basada en cliente 2



(b) Capacidad de agregación basada en AP 2

FIG. 10