

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 484 767**

51 Int. Cl.:

**H04W 48/16** (2009.01)

**H04W 48/20** (2009.01)

**H04W 52/02** (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.06.2011 E 11725628 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2014 EP 2578023**

54 Título: **Método, aparato y sistema para conectar un cliente móvil a redes inalámbricas**

30 Prioridad:

**03.06.2010 US 793387**

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

**12.08.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KIM, KYU-HAN;  
GUPTA, DHRUV;  
SINGH, JATINDER PAL y  
MIN, ALEXANDER W.**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 484 767 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Método, aparato y sistema para conectar un cliente móvil a redes inalámbricas

## 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere, en general, a la gestión de redes inalámbricas y en particular, a un método, aparato y sistema para proporcionar a un cliente móvil, unas conexiones inalámbricas, con el fin de optimizar la conservación de energía, la oportunidad de acceso inalámbrico y el rendimiento extremo a extremo.

10

## Antecedentes de la invención

Con la creciente popularidad de los dispositivos móviles habilitados de Internet y una gran cantidad de aplicaciones de la web móviles en uso, el consumo de datos en los teléfonos inteligentes ha experimentado un aumento espectacular en los últimos años. Muchos operadores han informado de un incremento gradual en el tráfico de datos móviles. Aunque los planes de tarifa plana en países incluyendo a Estados Unidos tienden a establecer un límite máximo de datos, los usuarios, a escala mundial, siguen incorporados sobre la base de la utilización.

15

20

Las redes malladas inalámbricas, con base en Wi-Fi, presentan un alto ancho de banda y suelen ser de más bajo coste, como alternativa para los usuarios de Internet móviles y una buena opción para los proveedores de servicios para descargar el tráfico de datos móviles. Para una experiencia satisfactoria del usuario, las aplicaciones de Internet móviles, tales como el sistema de transmisión de voz sobre IP sensible al retardo, garantizan una conectividad sin discontinuidades en áreas con cobertura inalámbrica. Sin embargo, esto es desfavorable sobre la vida útil de la batería del teléfono móvil debido a las reconexiones necesarias habida cuenta de la movilidad del usuario y el corto alcance de transmisión de las redes Wi-Fi. Más concretamente, para hacer máxima la utilización de oportunidades de Wi-Fi, los concentradores móviles tienen que (i) frecuentemente buscar bandas de espectro de ISM para obtener una lista de redes Wi-Fi disponibles, (ii) sondear activamente los enlaces inalámbricos para identificar la mejor red de acceso o punto de acceso (AP) y (iii) efectuar una migración proactiva de su asociación actual a otros puntos de acceso APs que proporcionan alto rendimiento. Todas estas tareas son críticas para la vida útil de la batería y la conectividad de concentradores móviles.

25

30

Existen varias dificultades inherentes en hacer máxima la utilidad del uso de Wi-Fi para clientes móviles con restricciones de batería. La búsqueda periódica de redes Wi-Fi puede ayudar a identificar redes disponibles. Resulta difícil determinar la frecuencia de búsqueda óptima para optimizar la vida útil de la batería y las oportunidades de conectividad de Wi-Fi. La búsqueda basada en la distancia asistida por la red celular, que proporcionan los proveedores de servicios celulares existentes, sufre de la falta de capacidad de predicción de las señales celulares o la densidad variable de las torres celulares. Algunos dispositivos existentes utilizan la búsqueda basada en la intensidad de señal recibida (RSS), que se basa en un umbral fijo para la iniciación de la búsqueda de puntos de acceso AP, lo que no es suficientemente flexible para aprovecharse de las diversas oportunidades de acceso de Wi-Fi ofrecidas por las redes malladas inalámbricas. No obstante, algunos dispositivos existentes utilizan la búsqueda basada en el registro histórico y el control de asociación, que requieren cálculos consumidores de energía y seguimiento de localizaciones.

35

40

En una red mallada inalámbrica (WMN), un cliente móvil es capaz de detectar la presencia de múltiples puntos de acceso APs pertenecientes a la red y selecciona uno de los puntos APs para acceder a la red WMN. Por lo tanto se desea proporcionar un punto de acceso AP que proporcione al cliente móvil una experiencia óptima del usuario o su rendimiento. Los sistemas existentes utilizan principalmente un mecanismo basado en la intensidad de la señal para clasificar los puntos de acceso APs, en donde un cliente móvil está asociado con el punto de acceso AP que proporciona la intensidad de señal recibida (RSS) máxima en el cliente.

45

50

Sin embargo, la selección de puntos APs simplemente sobre la base de la intensidad de la señal puede dar lugar a un aumento de la congestión en los puntos APs seleccionados, lo que da lugar a un rendimiento deficiente para los usuarios finales. Además, la intensidad de la señal no es un indicador exacto de las condiciones del canal en una red inalámbrica. Por lo tanto, aún cuando sea alta la intensidad de señal recibida desde un punto de acceso AP, no puede indicar correctamente el nivel de rendimiento actual de ese punto AP.

55

El documento US 2009/0131081 A1 describe un dispositivo móvil que tiene un acelerómetro para ajustar sus parámetros de búsqueda dependiendo de la velocidad de cambio de ubicación del dispositivo móvil. Además, el dispositivo está adaptado para determinar que una velocidad a la que se está cambiando la localización del dispositivo móvil supera un valor umbral.

60

El documento EP 1 858 200 A1 describe un dispositivo de radiocomunicación móvil que realiza búsquedas repetidas para identificar un número de células locales de una red de comunicación celular, en donde el intervalo de repetición de las búsquedas se varía en respuesta al número de células locales identificadas. Además, los dispositivos adaptados para comparar el número de células locales identificadas con respecto al valor umbral.

65

Sumario de la invención

Es un objetivo de la presente invención superar los inconvenientes operativos antes citados.

- 5 La presente invención da a conocer un método para proporcionar a un cliente móvil una conexión inalámbrica. El método incluye la iniciación periódica de un proceso de búsqueda de puntos de acceso con el fin de supervisar una densidad de puntos de acceso de una red inalámbrica y ajustar una frecuencia de la iniciación en respuesta a un cambio en la densidad de puntos de acceso.
- 10 El método puede comprender, además, la etapa de disminuir la frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a una disminución en la densidad de puntos de acceso y/o la etapa de aumentar la frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un aumento en la densidad de puntos de acceso.
- 15 En una forma de realización preferida, el método puede comprender las etapas de supervisar al menos un movimiento del cliente móvil y ajustar la frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a por lo menos un movimiento del cliente móvil.
- 20 En una forma de realización preferida, el método comprende las etapas de determinar una velocidad del al menos un movimiento del cliente móvil e incrementar la frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un incremento en la velocidad.
- En una forma de realización preferida, el método comprende la etapa de disminuir la frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a una reducción en la velocidad.
- 25 En otra forma de realización preferida, el método comprende la etapa de detectar el movimiento del cliente móvil mediante un acelerómetro dispuesto en el propio cliente móvil.
- En una forma de realización preferida, el método comprende, además, las etapas de:
- 30 detectar uno o más puntos de acceso dentro de una zona en la que reside el cliente móvil;
- supervisar al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica y
- 35 seleccionar un punto de acceso a partir de los uno o más puntos de acceso detectados para la conexión del cliente móvil a la red inalámbrica en respuesta a por lo menos la calidad de enlace y la característica de carga de la red inalámbrica.
- En una forma de realización preferida, la red inalámbrica es una red mallada inalámbrica que incluye una pluralidad de puntos de acceso, en donde otra entidad de red está conectada a uno de entre la pluralidad de puntos de acceso y en donde cada uno de los unos o más puntos de acceso detectados está asociado con la ruta que conecta el punto de acceso respectivo y la otra entidad de red a través de la red mallada inalámbrica, teniendo cada ruta uno o más nodos seleccionados de entre la pluralidad de puntos de acceso;
- 40 comprendiendo el método además:
- 45 determinar una calidad de conexión y una característica de carga de cada ruta a través de la red mallada inalámbrica asociada con cada uno de los uno o más puntos de acceso detectados;
- 50 seleccionar el punto de acceso en conformidad con la calidad de conexión y la característica de carga de las rutas.
- Preferentemente, el método comprende las etapas de:
- 55 clasificar los uno o más puntos de acceso detectados en función de las calidades de conexión y de las características de carga de sus rutas asociadas a través de la red mallada inalámbrica; y
- seleccionar el punto de acceso en función de las clasificaciones.
- 60 El problema técnico antes citado se resuelve también mediante un soporte legible por ordenador que tiene códigos legibles por ordenador memorizados, cuando se ejecuta por uno o más procesadores digitales, dando instrucciones al uno o más procesador digital para proporcionar a un cliente móvil una conexión inalámbrica, incluyendo los códigos legibles por ordenador:
- 65 instrucciones para la iniciación periódica de un proceso de búsqueda de puntos de acceso con el fin de supervisar una densidad de puntos de acceso de una red inalámbrica y
- instrucciones para ajustar una frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un cambio en la densidad de

puntos de acceso.

Preferentemente, los códigos de ordenador comprenden, además:

- 5 instrucciones para supervisar al menos un movimiento del cliente móvil y  
instrucciones para ajustar la frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un cambio en el por lo menos un movimiento del cliente móvil.
- 10 En una forma de realización preferida, los códigos de ordenador pueden comprender, además:  
instrucciones para recibir señales de movimiento desde un acelerómetro dispuesto en el cliente móvil y  
instrucciones para determinar al menos un movimiento del cliente móvil a partir de las señales de movimiento.
- 15 En una forma de realización preferida, los códigos de ordenador comprenden, además:  
instrucciones para detectar uno o más puntos de acceso dentro de una zona en la que reside el cliente móvil;
- 20 instrucciones para medir al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica e  
instrucciones para seleccionar uno de entre los uno o más puntos de acceso detectados para conectar el cliente móvil a la red inalámbrica en conformidad con al menos la calidad de enlace y la característica de carga de la red inalámbrica con el fin de hacer máximo un rendimiento, extremo a extremo, de la conexión inalámbrica.
- 25 El problema técnico antes citado se resuelve, además, por un cliente móvil para la conexión a una red inalámbrica a través de uno o más puntos de acceso. El cliente móvil comprende:  
un módulo de búsqueda configurado para iniciar periódicamente un proceso de búsqueda de puntos de acceso con el fin de supervisar una densidad de puntos de acceso de la red inalámbrica y
- 30 un módulo de ajuste configurado para ajustar una frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un cambio en la densidad de puntos de acceso.
- 35 En una forma de realización preferida, el cliente móvil comprende, además:  
un sensor configurado para generar señales de movimiento indicativas de al menos un movimiento del cliente móvil y
- 40 un supervisor de movilidad configurado para supervisar al menos un movimiento del cliente móvil a través de las señales de movimiento,  
en donde el módulo de ajuste está configurado, además, para ajustar la frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un cambio en al menos un movimiento del cliente móvil.
- 45 En una forma de realización preferida, el cliente móvil puede comprender un módulo de asociación configurado para supervisar al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica y para seleccionar un punto de acceso para conectar el cliente móvil a la red inalámbrica en conformidad con al menos la calidad de enlace y la característica de carga de la red inalámbrica con el fin de hacer máximo un rendimiento, extremo a extremo, de una conexión inalámbrica.
- 50 En una forma de realización preferida, el módulo de búsqueda está configurado para supervisar una intensidad de señal recibida de señales inalámbricas recibidas por el cliente móvil, en donde el cliente móvil puede comprender, además:
- 55 un módulo de migración, configurado para efectuar la migración del cliente móvil desde un primer punto de acceso a un segundo punto de acceso en respuesta a por lo menos uno de entre el cambio en el movimiento del cliente móvil, el cambio en la densidad de puntos de acceso y un cambio en la intensidad de señal recibida.
- 60 El problema técnico antes citado se resuelve, además, mediante un sistema para proporcionar un cliente móvil con una conexión inalámbrica a una red inalámbrica. El sistema comprende:  
una pluralidad de puntos de acceso distribuidos dentro de la red inalámbrica y
- 65 un cliente móvil configurado para iniciar periódicamente un proceso de búsqueda de puntos de acceso con el fin de supervisar una densidad de puntos de acceso dentro de una zona en la que reside el cliente móvil, estando el cliente

móvil configurado, además, para ajustar una frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un cambio en la densidad de puntos de acceso.

5 En una forma de realización preferida, el cliente móvil está configurado para supervisar al menos un movimiento del cliente móvil y configurado para ajustar la frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un cambio en el movimiento del cliente móvil.

10 En otra forma de realización preferida, cada uno de la pluralidad de puntos de acceso está configurado para medir al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica y configurado para transmitir las mediciones indicativas de la calidad de enlace y de la característica de carga al cliente móvil.

15 En una forma de realización preferida, el cliente móvil está configurado para recibir las mediciones de la calidad de enlace y de la característica de carga y cuando el cliente móvil detecta uno o más puntos de acceso de la red inalámbrica, el cliente móvil está configurado para seleccionar uno de entre uno o más puntos de acceso detectados en función de las mediciones de la calidad de enlace y de la característica de carga de la red inalámbrica con el fin de hacer máximo el rendimiento, extremo a extremo, de la conexión inalámbrica.

Breve descripción de los dibujos

20 La Figura 1 ilustra un entorno de red inalámbrica en el que varias formas de realización de la invención se ponen en práctica;

25 La Figura 2A ilustra un diagrama esquemático de una forma de realización de un cliente móvil representado en la Figura 1;

La Figura 2B ilustra un diagrama esquemático de otra forma de realización del cliente móvil representado en la Figura 1;

30 La Figura 3 ilustra un diagrama esquemático de una forma de realización de un punto de acceso inalámbrico representado en la Figura 1;

La Figura 4A ilustra un diagrama de flujo de un método para iniciar el proceso de búsqueda de puntos de acceso en un cliente móvil;

35 La Figura 4B representa una forma de realización adicional del método para iniciar el proceso de búsqueda de puntos de acceso cuando el cliente móvil está desconectado de una red inalámbrica;

La Figura 4C ilustra otra forma de realización del método para iniciar el proceso de búsqueda de puntos de acceso cuando el cliente móvil está conectado a una red inalámbrica;

40 La Figura 5A ilustra un diagrama de flujo de un método para seleccionar un punto de acceso para acceder a la red inalámbrica representada en la Figura 1;

La Figura 5B ilustra otra forma de realización del método ilustrado en la Figura 4B;

45 La Figura 6 ilustra el consumo de energía de la búsqueda periódica de puntos de acceso con un intervalo de iniciación ajustable  $T_s$ ;

50 La Figura 7 ilustra la comparación de rendimientos de entre la búsqueda de puntos de acceso de umbral fijo y la búsqueda de puntos de acceso AP de umbral adaptable;

La Figura 8A ilustra el número medio de nuevos puntos de acceso detectados por el proceso de búsqueda de puntos de acceso cuando se desplaza el cliente móvil;

55 La Figura 8B ilustra muestras de datos recogidas desde el acelerómetro incorporado en una forma de realización del cliente móvil con un ciclo de servicio del 20 % bajo diferentes actividades de movimiento;

La Figura 8C ilustra los resultados de mediciones que indican que el tiempo entre llegadas de puntos de acceso AP es precisamente aproximado como una distribución exponencial según la invención;

60 La Figura 9A ilustra el intervalo de búsqueda óptimo ( $T_s$ ) adaptado para la velocidad de movimiento del cliente móvil así como a la densidad de puntos AP, según la invención;

65 La Figura 9B ilustra la distancia umbral para la búsqueda de puntos AP con una función de la densidad de puntos AP media para diversos valores de la probabilidad  $\epsilon$  según la invención;

La Figura 9C ilustra la conservación de energía proporcionada por la búsqueda basada en el movimiento según la invención cuando se compara con la iniciación de frecuencia fija convencional con el intervalo de iniciación fijo ( $T_s$ );

5 La Figura 10 ilustra la exactitud proporcionada por la estimación de sondeo pasivo del ancho de banda de enlace según la invención;

La Figura 11 ilustra la topología del denominado lecho de prueba exterior utilizada para la puesta en práctica de las formas de realización de la invención;

10 La Figura 12A ilustra las mejoras del rendimiento que se proporcionan por una forma de realización de la invención, en comparación con la búsqueda de frecuencia fija convencional;

15 La Figura 12B ilustra el ahorro de energía proporcionado por una forma de realización de la invención, en comparación con la búsqueda de frecuencia fija convencional;

La Figura 12C ilustra el rendimiento de la búsqueda basada en la densidad con diferentes valores umbrales;

20 La Figura 13 ilustra la mejora del rendimiento proporcionado por una forma de realización de la invención, en comparación con el sistema de selección de puntos de acceso convencional;

La Figura 14 ilustra la mejora del retardo de su recorrido proporcionado por una forma de realización de la invención, en comparación con el sistema de selección de puntos de acceso convencional;

25 La Figura 15 ilustra los efectos de los valores ponderados  $w_1$  y  $w_2$  sobre el rendimiento según la invención;

La Figura 16 ilustra el rendimiento y el retardo en su recorrido que se proporciona por una forma de realización de la presente invención en el lecho de prueba en interiores, cuando el número se varía el número de clientes móviles;

30 La Figura 17 ilustra el rendimiento y retardo del recorrido proporcionado por una forma de realización de la invención puesta en práctica en el lecho de prueba en exteriores, cuando se varía en número de clientes móviles y

La Figura 18 ilustra los impactos de un sistema de selección de puntos de acceso AP convencional sobre el rendimiento de la red.

35 Descripción detallada de la invención

40 En algunas formas de realización, la presente invención da a conocer una técnica de detección (búsqueda) de puntos de acceso para clientes móviles para hacer máximas las oportunidades de acceso inalámbrico, al mismo tiempo que proporcionar una conservación de energía óptima. A diferencia de los sistemas existentes, que se basan en mecanismos de localización de alto coste (p.e., GPS) o la búsqueda desde un vehículo móvil, denominada *wardriving*, la presente invención da a conocer un sensor de baja potencia dispuesto en el cliente móvil para hacer máxima la utilización de la red inalámbrica. La presente invención da a conocer, además, una técnica de selección de puntos de acceso AP para seleccionar un punto de acceso para el cliente móvil con el fin de hacer máximo el rendimiento, extremo a extremo, que proporciona una experiencia óptima del usuario.

45 Según otra forma de realización, el método incluye la detección de uno o más puntos de acceso dentro de una zona en la que reside el cliente móvil, la supervisión de al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica y la selección de un punto de acceso a partir de los uno o más puntos de acceso detectados para la conexión del cliente móvil a la red inalámbrica en respuesta a por lo menos la calidad de enlace y la característica de carga de la red inalámbrica con el fin de hacer máximo un rendimiento, extremo a extremo, de la conexión inalámbrica.

50 Según algunas formas de realización alternativas, se da a conocer un soporte legible por ordenador que tiene códigos legibles por ordenador memorizados. Cuando se ejecutan por uno o más procesadores digitales, los códigos legibles por ordenador dan instrucciones al uno o más procesadores digitales para proporcionar a un cliente móvil una conexión inalámbrica. Los códigos legibles por ordenador incluyen instrucciones para la iniciación periódica de un proceso de búsqueda de puntos de acceso para supervisar una densidad de puntos de acceso de una red inalámbrica e instrucciones para ajustar una frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un cambio en la densidad de puntos de acceso con el fin de hacer máxima la conservación de energía y la oportunidad de acceso en el cliente móvil.

60 Según otra forma de realización, los códigos legibles por ordenador incluyen, además, instrucciones para detectar uno o más puntos de acceso dentro de una zona en la que reside el cliente móvil, instrucciones para la medición de al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica e instrucciones para seleccionar uno de entre los uno o más puntos de acceso detectados para la conexión del cliente móvil a la red inalámbrica en función de al menos la calidad de enlace y la característica de carga de la red inalámbrica con el fin de hacer

máximo un rendimiento, extremo a extremo, de la conexión inalámbrica.

5 En algunas formas de realización alternativas, se da a conocer medios para que un cliente móvil se conecte a una red inalámbrica a través de uno o más puntos de acceso. El cliente móvil incluye un módulo de búsqueda configurado para iniciar periódicamente un proceso de búsqueda de puntos de acceso para supervisar una densidad de puntos de acceso de la red inalámbrica, un módulo de ajuste configurado para ajustar una frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un cambio en la densidad de puntos de acceso con el fin de hacer máxima la conservación de energía y la oportunidad de acceso del cliente móvil.

10 En otra forma de realización, el cliente móvil incluye un módulo de asociación configurado para supervisar al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica y para seleccionar un punto de acceso para la conexión del cliente móvil a la red inalámbrica en función de al menos la calidad de enlace y la característica de carga de la red inalámbrica con el fin hacer máximo el rendimiento, extremo a extremo, de una conexión inalámbrica.

15 Según algunas formas de realización alternativas, se da a conocer un sistema para la conexión de un cliente móvil a una red inalámbrica. El sistema incluye una pluralidad de puntos de acceso distribuidos dentro de la red inalámbrica y un cliente móvil configurado para iniciar periódicamente un proceso de búsqueda de puntos de acceso para supervisar una densidad de puntos de acceso dentro de una zona en la que reside el cliente móvil. El cliente móvil está configurado, además, para ajustar una frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un cambio en la densidad de puntos de acceso.

20 En otra forma de realización, cada uno de entre la pluralidad de puntos de acceso está configurado para medir al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica y configurado para transmitir las mediciones indicativas de la calidad de enlace y de la característica de carga al cliente móvil.

25 En otra forma de realización, el cliente móvil está configurado para recibir las mediciones de la calidad de enlace y de la característica de carga y cuando el cliente móvil detecta uno o más puntos de acceso de la red inalámbrica, el cliente móvil está configurado para seleccionar uno de entre los uno o más puntos de acceso detectados en función de las mediciones de la calidad de enlace y de la característica de carga de la red inalámbrica.

30 Varias formas de realización de la presente invención se describirán, en detalle, a continuación, haciendo referencia a los dibujos, en donde las referencias numéricas similares representan elementos y conjuntos similares a través de las diversas vistas. La referencia a varias formas de realización no limita el alcance de protección de la invención, que está limitado solamente por el alcance de protección de las reivindicaciones adjuntas. Además, cualesquiera realizaciones, a modo de ejemplo, establecidas en esta especificación no están previstas para ser limitadoras y simplemente establecen algunas de las numerosas formas de realización posibles para la invención reivindicada. Entre otras cosas, la presente invención puede materializarse como métodos o dispositivos. En consecuencia, la presente invención puede adoptar la forma de una forma de realización completamente de equipos físicos, una forma de realización completamente de equipos informáticos o una forma de realización en la que se combinen ambos aspectos de equipos informáticos y equipos físicos. La siguiente descripción detallada no ha de tomarse, por lo tanto, en un sentido limitador.

35 A través de la especificación y de las reivindicaciones, los siguientes términos toman los significados que le están aquí asociados, a no ser que el contexto lo establezca claramente de otro modo. La frase “en una forma de realización”, tal como aquí se utiliza, no se refiere necesariamente a la misma forma de realización, aunque puede hacerlo. Tal como aquí se utiliza, el término “o” es un operador de “o” *inclusive* y es equivalente al término “y/o”, a no ser que el contexto lo estipule claramente de otro modo. El término “basado, en parte, en”, “basado, al menos en parte en” o “basado en” no es exclusivo y permite que esté basado en factores adicionales no descritos, a no ser que el contexto lo estipule claramente en contrario. Además, a través de toda la especificación, el significado de “un”, “una” y “el” incluye referencias plurales. El significado de “en”, incluye “en” y “sobre”.

40 En resumen, se da a conocer un método, aparato y sistema para conectar un cliente móvil a una red inalámbrica. En este caso, la red inalámbrica incluye, sin limitación, a redes de Wi-Fi, redes de Bluetooth, redes WiMAX o cualesquiera redes inalámbricas que cumplan lo exigido en la norma industrial tal como IEEE 802.11, que se incorpora aquí por referencia en su integridad. Como alternativa, la red inalámbrica puede ser una propietaria que proporcione comunicaciones de datos a través de una pluralidad de puntos de acceso.

45 En general, el método aquí descrito proporciona un proceso de búsqueda de puntos de acceso (p.e., búsqueda y asociación) considerando el movimiento del cliente móvil y su actividad y la densidad de los puntos de acceso dentro del margen de transmisión del cliente móvil.

50 En particular, el cliente móvil efectúa una búsqueda periódica de canales para descubrir puntos de acceso inalámbricos disponibles. Puesto que las oportunidades de acceso inalámbrico resultan afectadas por los cambios espaciales, tal como los movimientos de un cliente móvil y la densidad de puntos de acceso, la frecuencia de búsqueda del proceso de búsqueda de puntos de acceso está adaptada en función de los cambios espaciales para

ahorrar energía así como para hacer máximas las oportunidades de acceso. El cliente móvil dispone de una densidad de puntos de acceso y de información de movilidad de granularidad fina para detectar la presencia de puntos de acceso con el fin de mantener una conservación óptima de energía y oportunidades de acceso inalámbrico.

5 Además, el método proporciona una búsqueda de puntos de acceso eficiente desde el punto de vista energético, optimizando la métrica de soluciones de compromiso, que puede definirse como la relación de la energía gastada en el descubrimiento y las comunicaciones a través de las redes inalámbricas con respecto a los bits entregados totales a los clientes móviles.

10 Además, debido a la naturaleza heterogénea de las oportunidades de acceso inalámbrico, el método aquí descrito utiliza información sobre la condición de la red de acceso, así como la densidad de puntos de acceso AP en una ubicación dada, lo que permite a los clientes móviles descubrir nuevos puntos de acceso en redes Wi-Fi. A modo de ejemplo, en un área de alta densidad, en donde existen puntos de acceso inalámbrico con alta densidad, así como con alta intensidad media de la señal recibida (RSS), los clientes móviles pueden aumentar el umbral de migración para encontrar mejores puntos de acceso APs, mientras que en las zonas con baja densidad, pueden hacer más bajo el umbral de migración para evitar sobrecargas de migración. En este caso, la migración, también conocida como transferencia, se refiere al proceso de desconectar un cliente móvil de un punto de acceso existente y a la conexión del cliente móvil con otro punto de acceso, cuando se cumplen determinadas condiciones.

20 El cliente móvil incluye, sin limitación, ordenadores portátiles, teléfonos móviles, asistentes digitales PDAs y teléfonos inteligentes que tienen la capacidad de acceder a redes inalámbricas. El método incluye la iniciación periódica de un proceso de búsqueda de puntos de acceso para supervisar una densidad de puntos de acceso de una red inalámbrica y ajustar una frecuencia de la iniciación operativa en respuesta a un cambio en la densidad de puntos de acceso con el fin de hacer máxima la conservación de energía y la oportunidad de acceso en el cliente móvil.

#### Entorno operativo ilustrativo

30 La Figura 1 ilustra componentes de una forma de realización de un entorno en el que puede ponerse en práctica la invención. No todos los componentes pueden requerirse para poner en práctica y las variaciones en la disposición y tipo de los componentes pueden realizarse sin desviarse por ello del espíritu o alcance de protección de la invención. Según se ilustra, el sistema 100 de la Figura 1 incluye la red inalámbrica 106 que comprende una pluralidad de puntos de acceso 104 y uno o más clientes móviles 110A-C. En algunas formas de realización, la red inalámbrica 106 incluye, además, una pasarela de borde 102 que conecta la red inalámbrica 116 a una red externa 114, tal como Internet, red de área local/amplia, una red telefónica o una red celular.

40 En general, los puntos de acceso 104 están interconectados por intermedio de enlaces inalámbricos 112, cada uno de los cuales puede incluir uno o más canales inalámbricos centrados a diferentes frecuencias de transmisión, tales como 900 MHz o 2.5 GHz. Cada enlace 112 puede proporcionar transmisiones de datos unidireccionales o bidireccionales a través de uno o más canales inalámbricos. Además, cuando se transmiten datos desde un punto de acceso a otro, los datos atraviesan una ruta inalámbrica tal como una ruta 116 a través de la red inalámbrica 106 que está constituida por uno o más puntos de acceso (nodos). Según se ilustra en la Figura 1, la ruta 116, que es una forma de realización a modo de ejemplo de la ruta de red inalámbrica, puede incluir uno o más saltos operativos, cada uno definido por un par de nodos adyacentes a lo largo de la ruta. Los datos pueden transmitirse en el mismo canal inalámbrico a través de la ruta inalámbrica. Como alternativa, el canal inalámbrico utilizado para transmitir los datos puede ser diferente desde un salto operativo al siguiente a lo largo de la ruta inalámbrica.

50 Además de las funciones similares a las proporcionadas por los puntos de acceso 104, la pasarela de borde 102 proporciona también interfaces a la red externa 114. Estas interfaces proporcionan conversiones de direcciones y conversiones de datos y encapsulaciones, que son bien conocidas en esta técnica.

55 Cuando un cliente móvil tal como el ilustrado en 110A-C entra en el alcance de transmisión de un punto de acceso 104, el punto de acceso 104 puede proporcionar conexiones inalámbricas 108 entre el cliente inalámbrico y la red inalámbrica 106. En la inicial, el punto de acceso puede requerir autenticaciones del cliente inalámbrico. Una vez que esté autenticado el cliente móvil, se le permite desplazarse dentro de la red inalámbrica 106 sin necesidad de una autenticación adicional.

60 Cada uno de los clientes móviles 110A-C está configurado para buscar periódicamente una zona en donde el margen de transmisión de la señal inalámbrica determine si cualesquiera puntos de acceso están dentro del alcance de transmisión. el cliente móvil puede seleccionar uno de los puntos de acceso detectados para acceder a la red inalámbrica 106. Cuando se desplaza el cliente móvil, cambia la topología de red, o cambia el entorno, el cliente móvil puede efectuar una migración desde un punto de acceso a otro.

65 En general, los clientes móviles 110 pueden incluir prácticamente cualquier dispositivo informático móvil capaz de recibir datos a través de una red, tal como una red inalámbrica 110 o similar. Dichos dispositivos incluyen



dispositivos portátiles, tales como teléfonos móviles, teléfonos inteligentes, dispositivos de radiofrecuencia (RF), dispositivos de infrarrojos, asistentes digitales personales (PDAs), ordenadores portátiles, ordenadores de oficina, ordenadores desplazables, ordenadores de tabletas, dispositivos integrados que combinan uno o más de las dispositivos precedentes o similares.

5 Dispositivos de cliente móvil ilustrativos 110A, 110B y 110C.

La Figura 2A representa una forma de realización de un dispositivo de cliente móvil 200 que puede incluirse en un sistema 100 que pone en práctica la invención. El dispositivo 200 puede incluir muchos más o menos componentes que los ilustrados en la Figura 2A. Sin embargo, los componentes ilustrados son suficientes para realizar una forma de realización ilustrativa para poner en práctica la presente invención. El dispositivo 200 puede representar, a modo de ejemplo, una forma de realización de al menos uno de los clientes móviles 110A, 110B y 110C de la Figura 1.

15 Según se ilustra en la Figura 1, el dispositivo 200 incluye una unidad de procesamiento (CPU) 222 en comunicación con una memoria masiva 230 a través de un bus de transmisión 224. El dispositivo 200 incluye, además, una fuente de suministro de energía 226, una o más interfaces de red 250, una interfaz de audio 252, una unidad de presentación visual 254, un teclado 256, un iluminador 258 y una interfaz de entrada/salida 260. La fuente de suministro de energía 226 proporciona energía al dispositivo 200. Una batería recargable o no recargable puede utilizarse para proporcionar energía. La energía se puede proporcionar también por una fuente de suministro externa, tal como un adaptador de corriente alterna AC o un dispositivo de suministro de energía denominado *powered docking* que complementa y/o recarga una batería.

25 El dispositivo 200 puede comunicarse con otro dispositivo informático, de forma directa o indirecta, a través de la interfaz de red cableada/inalámbrica 250. La interfaz de red 250 incluye circuitos para el acoplamiento del dispositivo 200 a una o más redes y está construida para uso con uno o más protocolos de comunicación y tecnologías incluyendo, sin limitación, el sistema global para comunicación móvil (GSM), el acceso múltiple por división de código (CDMA), el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), el protocolo de datagramas de usuarios (UDP), el protocolo de control de transmisión/protocolo Internet (TCP/IP), SMS, servicios de radio por paquetes general (GPRS) de WAP, banda ultra ancha (UWB), norma IEEE 802.11 Wi-Fi, IEEE 802.16 interoperabilidad mundial para acceso de microondas (WiMAX), SIP/RTP o cualquiera de una diversidad de protocolos de comunicación inalámbrica. La interfaz de red 250 es a veces conocida como un transceptor, dispositivo transceptor o tarjeta de interfaz de red (NIC).

35 La interfaz de audio 252 está dispuesta para generar un recibir señales de audio tales como el sonido de una voz humana. A modo de ejemplo, la interfaz de audio 252 puede acoplarse a un altavoz y un micrófono para permitir la telecomunicación con otros y/o generar una confirmación de audio para alguna acción. La unidad de presentación visual 254 puede ser una pantalla de cristal líquido (LCD), un plasma de gas, un diodo emisor de luz (LED) o cualquier otro tipo de visualización utilizada con un dispositivo informático. La unidad de presentación visual 254 puede incluir también una pantalla sensible al contacto dispuesto para recibir una entrada procedente de un objeto, tal como una aguja de escala o un dígito desde una mano humana.

45 El teclado 256 puede comprender cualquier dispositivo de entrada dispuesto para recibir entrada desde un usuario. A modo de ejemplo, el teclado 256 puede incluir un marcador numérico de pulsador o un teclado ordinario. El teclado 256 puede incluir también teclas de órdenes que están asociadas con la selección y envío de imágenes. El iluminador 258 puede proporcionar una indicación del estado operativo y/o proporcionar luz. El iluminador 258 puede permanecer activo durante periodos de tiempo específicos o en respuesta a incidencias operativas. A modo de ejemplo, cuando el iluminador 258 está activo, puede retroiluminar las teclas en el teclado 256 y permanecer encendido mientras se acciona el dispositivo. Además, el iluminador 258 puede retroiluminar estas teclas en varias configuraciones cuando se realizan acciones particulares, tales como la marcación de otro dispositivo. El iluminador 50 258 puede hacer también que fuentes de luz situadas dentro de una carcasa transparente o translúcida del dispositivo se iluminen en respuesta a dichas acciones.

55 El dispositivo 200 comprende, además, una interfaz de entrada/salida 260 para la comunicación con dispositivos externos, tal como auriculares. La interfaz de entrada/salida 260 puede utilizar una o más tecnologías de comunicación, tales como USB, infrarrojos, Bluetooth o similares.

60 El dispositivo 200 suele tener una amplia gama en términos de capacidades y características. A modo de ejemplo, un teléfono móvil puede tener un teclado numérico y unas pocas líneas de la pantalla LCD monocroma en donde solamente puede visualizarse texto. A modo de otro ejemplo, un dispositivo móvil autorizado para la web, tal como un asistente PDA, puede tener una pantalla táctil, una aguja de escala y varias líneas de la pantalla LCD en color en donde puedan visualizarse tanto texto como gráficos. En otra forma de realización, a modo de ejemplo, un dispositivo móvil habilitado para multimedia tal como un ordenador portátil 110A puede incluir una aplicación multimedia tal como una aplicación de reproductora de vídeo, que esté configurada para presentar imágenes, flujos de vídeo, señales de audio o similares a través de una interfaz multimedia, tal como una pantalla de LED o LCD de color o un micrófono. En otra forma de realización, a modo de ejemplo, el dispositivo 200 puede incluir, además, una aplicación de explorador configurada para recibir y visualizar gráficos, texto, multimedia o similares, que emplea

5 virtualmente cualquier lenguaje con base en la red, incluyendo un mensaje de protocolo de aplicación inalámbrica (WAP) o similar. A modo de ejemplo, la aplicación de explorador está habilitada para emplear el lenguaje de marca de dispositivo portátil (HDML), lenguajes de marcas inalámbricas (WML), WMLScript, JavaScript, lenguaje de marcas generalizada estándar (SMGL), lenguaje de marca de hipertexto (HMTL), lenguaje de marca extensible (XML) o similares para visualizar o enviar información.

10 Según se ilustra en la Figura 2, el dispositivo 200 incluye, además un sensor 262 para supervisar los movimientos del cliente móvil causados por los movimientos del usuario, tal como pasear, correr o montar en bicicleta. En general, el sensor 262 puede generar señales que reflejen los movimientos del cliente móvil. El sensor 262 puede convertir las señales en datos digitales, que luego se memorizan en la parte de memorización de datos 244 de la memoria o proporcionarse a la unidad CPU 222 para poner en práctica la invención. El sensor 262 puede adoptar numerosas formas de acelerómetros y se puede incorporar en el cliente móvil.

15 El dispositivo 200 incluye, además, un sensor de la movilidad 246 que está configurado para detectar los movimientos del cliente móvil a partir de los datos generados por el sensor 262. A modo de ejemplo, el supervisor de la movilidad 246 puede clasificar los datos en múltiples categorías incluyendo las de paseo, carrera y montar en bicicleta y calcular una distancia de desplazamiento del dispositivo móvil en función de los datos de movimientos clasificados.

20 El dispositivo 200 incluye, además, un módulo de búsqueda 247, que puede iniciar periódicamente un proceso de búsqueda de puntos de acceso para detectar si, y cómo, numerosos puntos de acceso están actualmente dentro del alcance de transmisión.

25 El dispositivo 200 incluye, además, un módulo de asociación de puntos de acceso 248 que puede seleccionar un punto de acceso para conectar el cliente móvil a la red inalámbrica 106. El módulo de asociación de puntos de acceso 248 puede seleccionar el punto de acceso en función de varios criterios tales como calidades de enlace y características de carga de la red inalámbrica 106. El módulo de asociación 248 puede proporcionar también la función de migración del cliente móvil desde un punto de acceso de otro sobre la base de criterios similares.

30 En la Figura 2A, el supervisor de la movilidad 246, el módulo de búsqueda 247 y el módulo de asociación de puntos de acceso 248 se ponen en práctica como uno o más programas informáticos que incluyen códigos legibles por ordenador en la sección de aplicación 242 de la memoria. Estos programas informáticos pueden ponerse en práctica mediante lenguajes de programación tales C, C++, Java, etc.

35 Como alternativa, los diversos módulos anteriormente descritos pueden ponerse en práctica también como módulos de hardware según se ilustra en la Figura 2B. En esta forma de realización, el dispositivo 280, que puede utilizarse también para clientes móviles 110, incluye la interfaz de usuario 281, memoria 282, unidad CPU 283, sensor 288, interfaz de red 289 y un supervisor de la movilidad adicional 284, un módulo de búsqueda 285, módulo de asociación 286 y módulo de migración 287. Según esta forma de realización, estos módulos son componentes de hardware que incluyen uno o más circuitos, que pueden ser circuitos propietarios o dispositivos lógicos programables generales.

Nodos de red ilustrativos 104

45 La Figura 3 ilustra una forma de realización de un punto de acceso 300, que puede utilizarse en una red inalámbrica 106 representada en la Figura 1. El punto de acceso 300 puede incluir numerosos más o menos componentes que los ilustrados. Los componentes ilustrados, sin embargo, son suficientes para dar a conocer una forma de realización ilustrativa para poner en práctica la invención.

50 Más concretamente, el dispositivo de red 300 incluye una unidad de procesamiento 312, una memoria masiva y una o más unidades de interfaz de red 310A, 310B y 310C (colectivamente referidas como "unidades de interfaces inalámbricas 310"), todas ellas en comunicación entre sí por intermedio de un bus de conexión 322. La memoria masiva suele incluir una memoria RAM 316, una memoria ROM 332 y uno o más dispositivos de memoria masiva permanentes, tales como unidad de disco duro, unidad de cinta, unidad óptica y/o unidad de disco flexible. La memoria masiva almacena un sistema operativo 320 para controlar la operación del punto de acceso 300. Cualquier sistema operativo de uso general puede utilizarse a este respecto. El sistema de entrada/salida básico ("BIOS") 318 se proporciona también para controlar la operación de bajo nivel del dispositivo de red 300.

60 Según se ilustra en la Figura 3, el dispositivo de red 300 puede comunicarse también con otros puntos de acceso 104 o el cliente móvil 110 a través de las unidades de faz de red inalámbrica 310A, 310B y 310C, que está diseñada para su uso con varios protocolos de comunicación, incluyendo TCP/IP, Wi-Fi, Bluetooth, etc. Las unidades de interfaz de red inalámbrica 310A, 310B y 310C son a veces, conocidas como transceptores inalámbricos, dispositivos transceptores o tarjetas de interfaz de red (NIC). Cada una de las unidades inalámbricas 310A, 310B y 310C pueden funcionar en el mismo o diferente margen de frecuencias tal como 900 MHz, 2.5 MHz o 5 MHz.

65 Cuando una unidad de interfaz inalámbrica 310 está en comunicación con otro punto de acceso 110A-C, actúa como un enrutador de red para encaminar los datos a través de la red inalámbrica 106. Por otro lado, cuando una unidad

de interfaz inalámbrica 310 está en comunicación con un cliente móvil 110, actúa como un punto de acceso para el cliente móvil conectado para acceder a la red inalámbrica 106. Por lo tanto, a través de las unidades de interfaz inalámbrica 310A, 310B y 310C, el dispositivo 300 puede actuar como un enrutador inalámbrico y un punto de acceso al mismo tiempo.

5 La memoria masiva, según se describió con anterioridad, ilustra otro tipo de soporte legible por ordenador, esto es, soporte de memorización en ordenador. Tal como aquí se utiliza dicho soporte de memorización legible por ordenador se refiere a dispositivos físicos tangibles. Los soportes de memoria legibles por ordenador pueden incluir soportes volátiles, no volátiles, extraíbles y no extraíbles puesto en práctica en cualquier método o tecnología para memorización de información, tal como instrucciones legibles por ordenador, estructura de datos, módulos de programas u otros datos. Realizaciones, a modo de ejemplo, de soportes de memoria legible por ordenador incluyen memoria RAM, ROM, EEPROM, memoria instantánea u otra tecnología de memoria, CD-ROM, discos versátiles digitales (DVD) u otra memoria óptica, casetes magnéticos, cintas magnéticas, memoria de disco magnético u otros dispositivos de memorización magnéticos o cualquier otro dispositivo físico que pueda utilizarse para memorizar la información deseada y que puedan ser objeto de acceso por un dispositivo informático.

10 La memoria RAM 316 puede incluir una o más memorias de datos, que pueden utilizarse por un punto de acceso 300 para memorizar, entre otras cosas, aplicaciones 350 y/o otros datos. La memoria RAM 316 puede utilizarse también para memorizar indicación de bases de datos. La memoria masiva memoriza también datos y códigos de programas. Una o más aplicaciones 350 se cargan en la memoria masiva y se ejecutan en el sistema operativo 320 por la unidad central de procesamiento 312. Realizaciones, a modo de ejemplo, de programas de aplicación incluyen un supervisor de calidad de enlace 354 y un supervisor de utilización 356, programas de interfaz de usuario personalizables, aplicaciones IPSec, programas de encriptación, programas de seguridad, etc.

20 Las operaciones del supervisor de calidad de enlace 254 y el supervisor de utilización 356 se describirán, además, más adelante.

#### Operación generalizada del sistema 100

30 Debido al desarrollo no planificado de los puntos de acceso (APs) y sus pequeñas zonas de cobertura, los usuarios móviles se suelen desconectar de los puntos de acceso APs y de aquí la necesidad de descubrir activamente oportunidades de acceso inalámbrico. Aún cuando numerosos puntos de acceso APs 104 inalámbricos abiertos existan en una zona dada, pueden ser 'puntos negros' en la cobertura o el rendimiento no puede ser admisible en algunas ubicaciones para una experiencia satisfactoria del usuario. Para descubrir las oportunidades de acceso inalámbrico, los clientes móviles 110A, 110B y 110C (colectivamente referidos como "clientes móviles 110") inician periódicamente un proceso de búsqueda de puntos de acceso.

35 Sin embargo, la búsqueda de puntos de acceso consume una cantidad significativa de energía en clientes móviles 110. La Figura 6 representa el consumo de energía de un proceso de búsqueda de Wi-Fi en un teléfono GOOGLE G1. Los datos ilustrados en la Figura 6 se miden en un experimento utilizando el Multímetro digital Agilent 34410A con 20 muestras por segundo. Durante el experimento, todas las demás aplicaciones y servicios básicos están desactivados y por lo tanto, el consumo de energía del proceso de búsqueda de puntos de acceso AP se refleja en los datos. Según se ilustra en la Figura 1, la búsqueda de puntos AP es consumidora de energía, en aproximadamente 1.1J (esto es, 00 mW x 1.3 segundos) por búsqueda, principalmente debido a la necesidad de búsqueda un conjunto completo de canales ISM y recibir múltiples balizas informativas desde todos los puntos de acceso APs próximos. Debido a su alto consumo de energía, el proceso de búsqueda se inicia periódicamente dando lugar a los puntos de alto consumo de energía. El intervalo de tiempo  $T_s$  entre cada dos puntos de consumo máximo se determina por la frecuencia de la iniciación operativa.

40 Según una forma de realización de la invención, con el fin de hacer máxima la conservación de energía (esto es, reducir el consumo de energía), mientras se mantiene la oportunidad de acceso inalámbrico (esto es, reducir los errores de búsqueda), se da a conocer un método para ajustar la frecuencia (esto es, el intervalo de tiempo  $T_s$ ) de la iniciación operativa sobre la base de varias condiciones, tales como densidad de los puntos de acceso o movimientos del cliente móvil.

45 En otra forma de realización, cuando un cliente móvil 110A-C está expuesto a múltiples puntos de acceso 110A-C, la invención da a conocer, además, un método para la estimación de las condiciones de red para elegir el mejor punto de acceso AP. Esta circunstancia operativa da lugar también a transmisiones de datos de eficiencia energética. En particular, para proporcionar una selección de asociación y estimación, el sistema 100 permite a los clientes móviles 110A-C recoger información sobre el último salto operativo inalámbrico (esto es, cliente-a-AP) y la red central mallada (AP-a-pasarela) en sus condiciones. Las técnicas existentes con sistema de sondeo activo son altas consumidoras de energía debido a las grandes cantidades de paquetes de datos transmitidos a y desde los puntos de acceso APs. A diferencia de las técnicas existentes, a los clientes móviles 110A-C, en un sistema 100, les está permitido supervisar las condiciones de la red utilizando los datos recogidos desde los puntos de acceso APs 110A-C sin suministro activo.

Mientras están conectados, los concentradores móviles pueden experimentar una fluctuación de la condición de enlace, en particular para el último salto operativo inalámbrico y pueden sufrir de iniciación operativa falsa de búsqueda de puntos AP (p.e., asiento del concentrador móvil en el límite de múltiples puntos APs). Incluso en la ausencia de movilidad del usuario, la condición del último salto operativo inalámbrico fluctúa con el movimiento de los usuarios o nuevos obstáculos. Esta circunstancia tiende a hacer que la búsqueda de puntos AP se inicie con más frecuencia que la que debería ser, dando lugar a un sondeo de red frecuente y a una re-asociación. La iniciación reactiva de la búsqueda de puntos AP puede ahorrar las sobrecargas asociadas, pero la búsqueda retardada puede aumentar las faltas de oportunidades.

Según otra forma de realización, el sistema 100 proporciona un mecanismo para iniciar la búsqueda de puntos AP sobre la base de una probabilidad de iniciación ( $P_{scan}$ ) así como el umbral de intensidad de señal recibida (RSS) en el cliente móvil. La probabilidad de iniciación operativa se actualiza en respuesta a los movimientos del cliente móvil. El umbral de RSS se actualiza en respuesta a la densidad de los puntos APs. La iniciación operativa basada en la probabilidad de iniciación operativa reduce la iniciación falsa debido a la fluctuación inducida por desvanecimiento operativo RSS.

En las zonas con puntos AP inalámbricos con alta densidad y alto valor RSS medio, los clientes móviles detectan, de forma proactiva, las nuevas y/o mejores oportunidades de acceso inalámbrico y realizan la migración para mejorar la eficiencia energética y el rendimiento, extremo a extremo, en las transmisiones de datos.

A diferencia de los sistemas existentes que inician la búsqueda y migración solamente cuando la intensidad de la señal recibida (RSS) se hace inferior a un determinado umbral predefinido, los clientes móviles 110A-C inician las funciones de búsqueda y migración en respuesta a los movimientos de los clientes móviles y a las condiciones de las redes tales como la densidad de puntos AP. En una forma de realización de la invención, el umbral para la iniciación de la migración está adaptado en respuesta a por lo menos uno de los movimientos y la densidad de los puntos AP. El valor umbral puede adaptarse continuamente o tener valores discretos.

La Figura 7 ilustra una comparación entre los rendimientos de migración de una forma de realización del sistema 100 y la de un sistema existente que utiliza un umbral de RSS fijo. La forma de realización aquí ilustrada utiliza dos valores discretos (-75 dBm y -85 dBm) para la adaptación del umbral de RSS, mientras que el sistema de umbrales fijos utiliza 75 dBm como el valor umbral de RSS. En la forma de realización, a modo de ejemplo, el umbral de RSS se cambia para diferentes densidades de AP (densidades altas y bajas). El cliente móvil inicia la migración solamente cuando el valor de RSS desde el punto de acceso AP actual se hace inferior al umbral de RSS. La Figura 7 ilustra el valor RSS medio de puntos de acceso APs asociados, mientras que el cliente móvil se desplaza alrededor de un lecho de prueba en interiores, que tiene un área de alta densidad de puntos APs 712 y un área de baja densidad de puntos AP 714. Según se ilustra en la Figura, en el área de alta densidad de puntos AP 712, tanto el sistema convencional como la forma de realización, a modo de ejemplo, del sistema 100 dan lugar a un valor RSS más alto conseguible por el usuario con menos sobrecargas de migración. Por el contrario, en las áreas de baja densidad de puntos AP 714, el sistema convencional que utiliza un valor de umbral alto (-75 dBm) da lugar a un coste de energía importante y a una interrupción debida al número aumentado de migraciones, mientras que la forma de realización, a modo de ejemplo, del sistema 100 con un umbral RSS adaptado puede conseguir un valor RSS relativamente alto con un coste de energía bastante menor causado por el número reducido de migraciones.

En conformidad con la forma de realización ilustrada en las Figuras 2A y 2B, varios módulos se proporcionan para el cliente móvil 200 para buscar, sondear, asociar y efectuar la migración a través de múltiples puntos de acceso inalámbricos 104 de una red inalámbrica 106 con el fin de hacer máxima las oportunidades de acceso inalámbrico, al mismo tiempo que se ahorra en el coste de energía por bit.

Más concretamente, el cliente móvil 200 hace uso de información de movimiento de granularidad fina, extraída de sensores de baja potencia, tales como un acelerómetro, dispuestos en el cliente, con el fin de descubrir las oportunidades de acceso inalámbrico. Dicha detección de la movilidad centrada en el móvil ayuda a evitar la iniciación operativa de un seguimiento de localización de alto coste o desde un vehículo en movimiento, *war driving*. El cliente móvil 200 proporciona un proceso de búsqueda en el modo desconectado que ajusta la frecuencia de búsqueda de puntos AP para hacer máximo el descubrimiento de las oportunidades de la red con un coste de energía reducido, cuando el cliente móvil 200 está desconectado de cualquier punto AP. El cliente móvil 200 proporciona, además, un proceso de búsqueda en el modo conectado que identifica, de forma proactiva, y efectúa la migración del cliente móvil desde un punto de acceso a otro para hacer máximas las oportunidades de acceso inalámbrico. En otra forma de realización, el cliente móvil 200 utiliza la información de la condición de la red y la información de movimiento para reducir la iniciación falsa de asociación/migración.

El cliente móvil 200 puede ponerse en práctica en numerosas plataformas diferentes tales como tramas Android utilizando los teléfonos de desarrollo de Android (ADP) G1 de GOOGLE o el iPhone de APPLE o el Windows Phone de Microsoft. Según otra forma de realización, los módulos ilustrados en las Figuras 2A –B pueden ponerse en práctica como un programa de *middleware* que explota la información procedente de los sensores de baja potencia dispuestos en el cliente móvil 200 e interacciona con otros componentes.

El programa, cuando se ejecuta por el cliente móvil 200, proporciona mejoras en la eficiencia energética para conectividad inalámbrica siempre activada en tres aspectos principales. En primer lugar, la búsqueda de puntos AP adaptativa asistida por sensor reduce el número de búsquedas, al mismo tiempo que reduce notablemente las oportunidades de acceso ausentes. En segundo lugar, el control de asociación con conocimiento de la red ahorra sobrecarga de sondeo y mejora, además, la exactitud de las selecciones de AP. En tercer lugar, la migración adaptativa basada en la movilidad ayuda a los clientes móviles 110 a determinar, de forma oportunista, los tiempos de migración óptimos.

Bajo las instrucciones de este programa, el cliente móvil 200 proporciona un descubrimiento de puntos AP con eficiencia energética a través de las características siguientes.

Búsqueda de puntos de acceso con conocimiento del movimiento: el cliente móvil 200 recoge información sobre sus propios movimientos físicos y combina esta información con las condiciones de la red para optimizar la frecuencia de búsqueda de puntos AP o la temporización correspondiente y para iniciar o suprimir las operaciones de búsqueda de puntos AP.

Uso de un sensor de baja potencia: A diferencia de los métodos de detección de movimiento existentes, basados en el sistema GPS o en un identificador ID de torre celular, que suelen ser muy consumidores de energía o carecen de exactitud, el cliente móvil 200 utiliza un sensor de baja potencia dispuesto a bordo, tal como un acelerómetro para inferir los movimientos y determinar los puntos de iniciación operativa.

Búsqueda mientras se está en el modo conectado o desconectado: el cliente móvil 200 no solamente identifica las oportunidades de acceso inalámbrico cuando se desconecta de la red, sino que también busca, de forma proactiva, mejores oportunidades de acceso cuando está conectado a un punto de acceso existente.

Búsqueda dinámica de puntos de acceso AP: El cliente móvil 200 supervisa la heterogeneidad de las oportunidades de acceso inalámbrico a través del espacio y cambia, de forma dinámica, sus parámetros de búsqueda para aumentar el descubrimiento de oportunidades de red así como para mejorar la eficiencia energética.

Búsqueda de puntos de acceso con eficiencia energética

Según se indicó con anterioridad, la localización física y los movimientos de los clientes móviles 110 en relación con la red inalámbrica 106 afecta al descubrimiento de oportunidades de conexión. La Figura 8A ilustra el número medio de nuevos puntos APs detectados mediante la búsqueda de puntos AP mientras que el usuario que soporta el cliente móvil está estacionario, paseando o corriendo, a lo largo del lado de la carretera de una zona marginal durante cinco minutos. Según se ilustra en la Figura, la movilidad creciente se convierte en un más alto número de oportunidades de acceso inalámbrico descubiertas (esto es, número de puntos AP detectados dentro de un área durante un marco de tiempo). En una forma de realización, el cliente móvil 200, cambia, de forma adaptativa, su frecuencia de búsqueda dependiendo de sus movimientos. A modo de ejemplo, cuando el sensor 262 o 288, a bordo del cliente móvil 110, detecta que su usuario no se desplaza, la búsqueda de puntos AP se inicia con menos frecuencia o incluso se suprime cuando el cliente móvil no está conectado a ninguna red inalámbrica. Cuando el sensor 262 o 288 detecta que el usuario está andando a través de una zona con una población densa de puntos de acceso AP, el proceso de búsqueda de AP se inicia con más frecuencia.

En otra forma de realización, la movilidad del usuario es supervisada por el sensor a bordo en una manera con eficiencia energética. Además, la información del movimiento detectada por el sensor a bordo se hace disponible en tiempo real para usarse en la detección de oportunidades de acceso. En particular, el sensor 262 o 288 incluye un sensor de acelerómetro de baja potencia para detectar el movimiento del usuario. Es un acelerómetro de baja potencia similar a los disponibles en sistemas ya existentes, tales como en iPhone de APPLE y G1 Phone de GOOGLE. En comparación con los sensores de GPS, cuyo consumo de energía es alto, el acelerómetro de baja potencia requiere mucha menos energía para un funcionamiento adecuado. Además, al supervisar los movimientos de los clientes 110 el sensor 262 o 288 no requiere información externa, tal como señales Bluetooth o de radio celulares, lo que ofrece varias ventajas incluyendo las de contabilidad, exactitud y menos consumo de energía.

En funcionamiento, el supervisor de la movilidad 246 o 284 supervisa periódicamente los valores del acelerómetro y clasifica la actividad del usuario en categorías tales como paseando, corriendo o quieto, en una instancia temporal dada. Esta estimación de la movilidad basada en la actividad permite a un cliente móvil inferir actividades importantes del usuario, incluyendo su estado de reposo, andando, corriendo, montando en bicicleta y conduciendo sobre la base de las lecturas del sensor.

La Figura 8B ilustra una forma de realización, a modo de ejemplo, de la clasificación de actividad basada en el acelerómetro recogida desde un G1 Phone de GOOGLE. Cuando el cliente móvil se coloca en su receptáculo y se realizan diferentes actividades (p.e., de pie, paseando y corriendo), una métrica del movimiento (x, y, z) se calcula por el supervisor de la movilidad 246 o 284, en donde x, y y z representan el valor del acelerómetro a lo largo de los tres ejes sobre la base de muestras del acelerómetro. En particular, el acelerómetro se activa periódicamente (p.e., activado durante 1 segundo y desactivado durante 4 segundos) y la media de las muestras obtenidas se calcula

durante el intervalo de tiempo. Según se ilustra en la Figura, la estimación del movimiento generada por el supervisor de movilidad 246 o 284 detecta, con exactitud, las actividades del usuario. En otra forma de realización, la clasificación de la actividad del usuario se proporciona sobre la base del método de Goertzel descrito en la documentación no de patente de G. Goertzel: "Un algoritmo para la evaluación de series trigonométricas finitas", The American Mathematical Monthly, vol. 65, páginas 34-35, 1958, que se incorpora aquí por referencia en su integridad.

Según otra forma de realización ilustrada en la Figura 4A, un método 400 se proporciona para conectar un cliente móvil a una red inalámbrica. En esta forma de realización, el cliente móvil inicia periódicamente un proceso de envío de puntos de acceso para supervisar una densidad de puntos de acceso de la red inalámbrica (402 y 404). Durante cada intervalo de búsqueda por detección, el cliente móvil mide, además, sus movimientos (406). La frecuencia (intervalo de búsqueda) se ajusta entonces, de forma dinámica, en función de los movimientos del cliente móvil y de la densidad de puntos AP con el fin de hacer máxima la conservación de energía y la oportunidad de acceso inalámbrico (408). Cuando se concluye cada proceso de envío, el cliente móvil determina si existe cualquier punto AP disponible (410). Si no existe ningún AP disponible, el cliente móvil continúa con el siguiente ciclo de iniciación operativa. Si, por el contrario, al menos un punto AP está disponible, el cliente móvil selecciona un punto AP para acceder a la red inalámbrica (412) y luego, continúa con el ciclo de iniciación operativa siguiente. Como alternativa, en la etapa 412, si el cliente móvil está actualmente conectado a un punto AP, el cliente móvil determina, entonces, si una migración es necesaria para hacer máximo el rendimiento extremo a extremo. Si se cumplen los criterios de migración, el cliente móvil efectúa, entonces, la migración desde el punto AP existente al punto AP seleccionado.

Según otra forma de realización, el cliente móvil 110 opera en un modo desconectado y en un modo conectado. Dependiendo de los modos operativos, el cliente móvil 110 inicia un proceso de búsqueda de AP diferente según se ilustra en las Figuras 4B y 4C.

#### Búsqueda de puntos de acceso en el modo desconectado

Cuando se desconecta de la red inalámbrica 106, el módulo de búsqueda 247 o 285 busca periódicamente el cliente móvil 110 para realizar el proceso de búsqueda de puntos AP para descubrir cualesquiera opciones de acceso. El proceso de búsqueda de AP hace uso, ventajosamente, la observación estadística desde las redes inalámbricas. Sobre la base de los resultados de búsqueda obtenidos en las ventanas temporales anteriores, el modo conectado 110 puede estimar la densidad de puntos AP local y adaptar el intervalo de búsqueda  $T_s$  (o frecuencia de búsqueda) de modo que se reduzca al mínimo el retraso en la detección de puntos de acceso inalámbricos disponibles, al mismo tiempo que se reduce el número de búsquedas, con lo que se hace máxima la conservación de energía.

Al diseñar una técnica de búsqueda para proporcionar las ventajas anteriormente descritas, se realizan dos supuestos para el comportamiento de la condición de red inalámbrica. En primer lugar, la distribución de puntos AP sigue un proceso de Poisson de puntos con la densidad media  $\rho$ , esto es, número de APs por metro cuadrado, según se describe en la documentación no de patente, D.Qiu et al, "función pseudo-aleatoria física en las fuentes de radiofrecuencia para seguridad", informe técnico, Universidad de Stanford, febrero de 2009, que se incorpora aquí por referencia en su integridad.

En segundo lugar, según se describe en la documentación no de patente, de W. Wang et al. "Efectos conjuntos de canales de radio y movilidad de nodos sobre la dinámica de enlaces en redes inalámbricas", In Proc. Of IEEE Infocom, abril 2008, que se incorpora aquí por referencia en su integridad, suponiéndose que la vida útil de conectividad de AP-Cliente, esto es, el intervalo de tiempo durante el que la distancia física entre el cliente y un punto AP es más pequeña que el margen de transmisión efectiva, puede aproximarse con una distribución exponencial, esto es,  $T_1 \sim \exp\left(\frac{\bar{v}}{R}\right)$ , en donde  $\bar{v}$  es la velocidad media del cliente móvil y R es el margen de transmisión común de los puntos APs, que se supone que es un modelo de unidad-disco como es bien conocido en esta técnica.

Dados estos supuestos, la tasa de llegada media de nuevos puntos AP se deriva. Si se considera un cliente móvil que se desplaza a una velocidad media  $\bar{v}$ . Entonces, el área prevista cubierta por el concentrador móvil durante el periodo de tiempo  $(t_1, t_2)$  es aproximadamente  $2R\bar{v}(t_2 - t_1)$ . A continuación, según el supuesto de puntos APs distribuidos según Poisson, la tasa de llegada media de nuevos puntos APs es  $\lambda \approx 2R\bar{v}\rho$ , en donde  $\rho$  es la densidad de puntos AP media.

Figura 8C ilustra la función de distribución acumulativa (CDF) del tiempo entre llegadas de puntos AP. Esta cifra indica claramente que esta función puede aproximarse como una distribución exponencial, lo que corrobora el supuesto antes examinado. La separación entre las curvas empíricas y aproximada se puede explicar como sigue. En la práctica, los puntos APs pueden agruparse en gran manera y pueden no seguir exactamente la distribución de Poisson. La irregularidad de la medición de los movimientos del cliente móvil puede crear también dicha separación. Sobre la base de los supuestos, la disponibilidad de puntos de acceso puede modelizarse como un modelo de Markov con dos estados, esto es, estados desconectado (D) y conectado (C). El estado desconectado significa que no existe ningún punto AP disponible para el cliente móvil 110 para su conexión, si no está conectado de otro modo.

Conviene señalar que según los supuestos, las tasas de llegada y salida de puntos AP vienen dadas como  $\lambda = 2R\bar{v}\rho$  and  $\mu = \frac{\bar{v}}{R}$ , respectivamente. De este modo, las probabilidades de transición de estados para el modelo de dos estados pueden derivarse fácilmente como  $\lambda_d = \lambda$  y  $\lambda_c = \frac{(\mu-\lambda)\lambda}{\mu}$  en donde  $\lambda_d$  y  $\lambda_c$  son las probabilidades de transición de estados para  $D \rightarrow C$  y  $C \rightarrow D$  respectivamente.

5 Intervalo de búsqueda óptimo (frecuencia)

Sobre la base del modelo de conectividad anterior, se puede determinar un intervalo de búsqueda óptimo ( $T_s$ ) que reduce al mínimo las oportunidades de acceso inalámbrico pérdidas, mientras se hace máximo el intervalo de búsqueda para conservación óptima de la energía. Una oportunidad de acceso fallida se define como la fracción media de veces que una oportunidad de acceso no se detectado por el cliente móvil 110.

10 En particular, para una oportunidad de acceso inalámbrico fallida, se considera que un cliente móvil 110, que está desconectado de la red inalámbrica 106 y efectúa una búsqueda periódica del espectro a un intervalo  $T_s$ . Se supone que  $T_{m,d}(T_s)$  indica la oportunidad fallida (hasta que se encuentra punto AP disponible) utilizando el intervalo de búsqueda  $T_s$ . A continuación, puede indicarse que:

$$T_{m,d}(T_s) = \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_c} (1 - e^{-(\lambda_d + \lambda_c)T_s}), \quad (1)$$

20 en donde  $\lambda_d = 2R\bar{v}\rho$  y  $\lambda_c = 2R\bar{v}\rho(1 - 2R^2\rho)$ .

Para constatarlo, se supone que  $T_{m,d}(t)$  indica la oportunidad de conectividad de AP fallida media (en términos del tiempo) durante el periodo de tiempo  $(\tau, \tau + t)$ . Cuando no existe ningún punto APs disponible en el tiempo  $\tau$ , la oportunidad para la conectividad (esto es, la asociación de puntos AP) ocurre solamente cuando un punto AP disponible llega durante el periodo de tiempo  $t$ . De este modo, la cantidad prevista de oportunidad pérdida para la duración temporal  $(\tau, \tau + t)$  puede expresarse como:

$$T_{m,z}(t) = t \int_t^\infty f_c(x) dx + \int_0^t f_c(x)(x + T_{m,\bar{d}}(t - x)) dx.$$

30 De modo similar,

$$T_{m,\bar{d}}(t) = \int_0^t f_d(x) T_{m,z}(t - x) dx.$$

35 La cantidad prevista de oportunidad pérdida,  $T_{m,d}$  puede resolverse, en el dominio de la frecuencia, utilizando la denominada transformada de Laplace, esto es,

$$T_{m,d}(s) = \frac{F_d^*(s) T_{m,c}^*(s)}{E[T_c]},$$

$$T_{m,z}(s) = \frac{f_c^*(0) - f_c^*(s)}{s^2} + f_c^*(s) T_{m,\bar{d}}^*(s),$$

$$T_{m,\bar{d}} = f_{m,d}^*(s) T_{m,\bar{d}}^*(s).$$

40 Sobre la base de esta transformada de Laplace, la oportunidad pérdida prevista  $T_{m,d}(s)$  viene dada por:

$$T_{m,d}(s) = \frac{\mathbb{F}_d(s)}{E[T_d] s^2} \cdot \frac{f_c^*(0) - f_c^*(s)}{1 - f_c^*(s)f_d^*(s)}. \quad (2)$$

Para periodos en los modos conectado y desconectado con distribución exponencial, la expresión correspondiente será

5

$$f_d(t) = \lambda e^{-\lambda t} \text{ y } f_c(t) = \mu e^{-\mu t}.$$

Las transformadas de Laplace se proporcionan entonces como

10

$$f_d^*(s) = \frac{\lambda}{\lambda+s} \text{ y } f_c^*(s) = \frac{\mu}{\mu+s}.$$

Sustituyendo estas expresiones en la fórmula (2) y tomando la fórmula de rendimiento de la transformada de Laplace inversa (1).

15

La fórmula (1) indica que la oportunidad pérdida aumenta con el intervalo de búsqueda  $T_s$  creciente. A partir de la fórmula, la oportunidad de acceso pérdida muestra el comportamiento de:

$$\bar{T}_{m,d}(T_s) \rightarrow \frac{E[T_c]}{E[T_c] + E[T_d]} \text{ como } t \rightarrow \infty.$$

20

Lo que antecede confirma que, cuando aumenta el intervalo de búsqueda, el cliente móvil tiene fallos en la detección de todas las oportunidades de acceso. Conviene señalar que, en el análisis, el proceso de búsqueda se supone que es de un impulso y por ello, la oportunidad de acceso pérdida debido a la búsqueda es despreciable.

25

Sobre la base de este análisis, un intervalo óptimo de búsqueda ( $T_s$ ) puede determinarse para reducir al mínimo la relación de la energía consumida en la búsqueda de puntos AP a los bits transmitidos totales dentro de un intervalo de búsqueda  $T_s$ . En este caso, se supone que el consumo de energía para la transmisión de datos es despreciable. Cuando un cliente móvil 110 busca puntos APs con un intervalo fijo  $T_s$ , la fracción del tiempo en que detecta una

30

oportunidad de acceso es  $1 - T_d - T_{m,d}(T_s)$  en donde  $T_d = \frac{\lambda_c}{\lambda_d + \lambda_c}$  es la fracción media del tiempo en el estado desconectado. Entonces el intervalo de búsqueda óptimo viene dado por:

$$T_s^* = \arg \min_{0 < T_s \leq T_{max}} \frac{E_{scan}}{T_s (1 - T_d - T_{m,d}(T_s)) E[R]}, \quad (3)$$

35

En donde  $T_{max}$  es el intervalo de búsqueda máximo, que es un parámetro predeterminado. A modo de ejemplo,  $T_{max}$  puede establecerse a un valor pequeño para un cliente móvil que ejecuta aplicaciones sensibles al retardo (p.e., VoIP) y viceversa. En la fórmula (3), la tasa de datos conseguible prevista se indica como  $E[R]$  y depende del punto AP con el que se asocia el cliente. El sistema de asociación de puntos AP se detalla más adelante en esta solicitud.

A continuación, se indica, además, que el intervalo de búsqueda óptimo, que minimiza la fórmula (3) es:

40

$$T_s^*(\bar{v}, \rho) = \left[ \frac{1}{4R\bar{v}\rho(1 - R^2\rho)} \right]^+, \quad (4)$$

en donde  $\bar{v}$  es la velocidad media,  $\rho$  es la densidad de puntos AP media y  $R$  es el alcance de transmisión de puntos APs (p.e., 200 m).

45

Para mostrar lo que antecede, se indica que

$$\mathcal{G}(T_s) = \frac{E_{scan}}{T_s (1 - T_d - T_{m,d}(T_s)) E[R]}$$

50

es la función objetivo en la fórmula (\*\*\*), esto es, la energía consumida en la búsqueda por bit de datos transmitido. Suponiendo que el consumo de energía para la búsqueda,  $E_{scan}$  y la tasa de datos conseguible media,  $E[R]$  vienen



dados como una constante, el proceso de búsqueda de un intervalo de búsqueda óptimo  $T_s$  en la fórmula (3) es equivalente a encontrar  $T_s$  que hace máximo  $G(T_s)$  que puede encontrarse como:

$$\frac{\partial G(T_s)}{\partial T_s} = \frac{E_{scan}}{T_s (1 - T_d - T_{m,d}(T_s)) E[R]} = 0$$

$$\implies \lambda_d \left( \frac{1}{\lambda_d + \lambda_c} - T_s \right) e^{-(\lambda_d + \lambda_c) T_s} = 0.$$

5 Evidentemente,  $G(T_s)$  es una función monótonicamente creciente de  $T_s$  en  $(0, \frac{1}{\lambda_d + \lambda_c})$ . Por lo tanto, el valor óptimo de  $T_s$  viene dado como:

$$T_s^* = \frac{1}{\lambda_d + \lambda_c}.$$

10 De este modo, sigue la fórmula (4).

La fórmula (4) implica que el periodo de búsqueda óptimo depende de la velocidad de desplazamiento media ( $\bar{v}$ ) de un cliente móvil y de la densidad de puntos AP media ( $\rho$ ). A modo de ejemplo, cuando un usuario se desplaza rápido, aumentará la tasa de llegada ( $\lambda_d$ ) de puntos AP y el usuario se estimula para una búsqueda más frecuente, a la espera de detectar pronto un punto AP disponible y viceversa. La Figura 9A ilustra el intervalo de búsqueda óptimo ( $T_s^*$ ) para diferentes velocidades de usuarios suponiendo que el alcance de transmisión de los puntos APs es  $R = 200$  m.

20 **Búsqueda de puntos de acceso**

Según una forma de realización, un método de búsqueda de puntos AP basado en el movimiento se proporciona sobre la base del análisis anteriormente realizado. En esta forma de realización, la búsqueda de puntos AP se inicia en función de la distancia en que un cliente móvil 110 se ha desplazado desde la última búsqueda. La distancia puede estimarse utilizando la técnica de detección de movimiento anteriormente descrita en lugar de basarse en un sistema de seguimiento de localización de alto coste energético tal como GPS. Más concretamente, la distancia recorrida puede estimarse como

$$\hat{d} \approx \sum_{k \in K} n_k \times v_k,$$

30 en donde  $K$  es el conjunto de actividades del usuario que puede clasificarse sobre la base de las lecturas del acelerómetro según se describió con anterioridad y  $v_k$  es la velocidad media correspondiente a la actividad  $k \in K$ . Después de cada búsqueda de AP, la distancia recorrida se repone a cero, de modo que no se acumule la inexactitud en el sistema.

35 Según otra forma de realización, un cliente móvil 110 inicia el proceso de búsqueda de AP cuando se desplaza más allá de una distancia umbral,  $d_{th}$ , que se define como la distancia mínima que necesita un usuario desplazarse para encontrar al menos un punto AP disponible con una probabilidad  $\xi$  (en el margen de 0 a 1), es decir:

$$1 - Poi(n_{ap} = 0) \geq \xi$$

$$\iff e^{-2\rho R d_{th}} \geq 1 - \xi$$

$$\iff d_{th} \geq -\frac{\ln(1 - \xi)}{2\rho R} = -\frac{\pi R \ln(1 - \xi)}{2E[n_{ap}]}, \quad (5)$$

45 en donde  $n_{ap}$  es el número de puntos APs disponibles detectados por una búsqueda anterior. La última fórmula está basada en la relación  $E[n_{ap}] \approx \pi R^2 \rho$ , y  $E[n_{ap}]$ , que puede estimarse utilizando la media de desplazamiento ponderada exponencial (EWMA) como es bien conocida en esta técnica. La Figura 9B ilustra la distancia umbral en la fórmula (5) para una densidad de puntos AP diferente. A modo de ejemplo, si el número medio de AP es 2 y  $\xi$  se establece a 0.3, entonces la distancia umbral es de 56 m.

Para un cliente móvil operando en el modo desconectado, según se ilustra en la Figura 4B, la decisión de búsqueda

se realiza en cada intervalo operativo que incluye tres periodos secuenciales. En primer lugar, en el periodo de estimación del movimiento ( $T_m$ ), un cliente móvil activa el acelerómetro en la relación del ciclo de servicio dado (p.e., 1 segundo de entre 10 segundos). Una vez que el concentrador móvil estima la actividad del usuario, actualiza la distancia ( $\hat{d}$ ) y decide si iniciar, o no, la búsqueda de puntos AP en el periodo de decisión de la búsqueda ( $T_d$ ). Una vez que detecta un conjunto de APs, selecciona un punto AP basado en un criterio de selección y le asocia con el AP seleccionado y de no ser así, actualiza la densidad de AP y repite el proceso.

Para conocer el impacto del umbral de la distancia sobre el consumo de energía, el número de búsquedas requeridas para el periodo fijo y el método de iniciación basado en el movimiento, hasta que se detecta un punto AP es objeto de análisis. En el método de iniciación basado en el movimiento, la búsqueda de puntos AP se inicia solamente cuando un concentrador móvil se desplaza en una determinada distancia, mientras que el método de iniciación de periodo fijo inicia la búsqueda de puntos AP en un intervalo de tiempo predeterminado.

El número de búsquedas requeridas para el método de iniciación de periodo fijo viene dado:

$$n_{scan}^p = \frac{1}{T_s} \left[ t_{still} + \sum_{k \in \mathcal{K}} \frac{d_k}{v_k} \right]$$

mientras que el número de búsquedas requerido para el método de iniciación basado en el movimiento viene dado por:

$$n_{scan}^m = \left\lceil \frac{d}{d_{th}} \right\rceil,$$

en donde  $t_{still}$  es la cantidad de tiempo durante el cual el usuario estuvo estacionario y  $d = \sum_{k \in \mathcal{K}} d_k$  es la distancia recorrida hasta la detección de un nuevo punto AP y en donde la  $d_k$  es la distancia recorrida por actividad  $k$  (p.e., paseando o corriendo).

La Figura 9C ilustra el número total de búsquedas cuando un cliente móvil 110 repite la condición de paseando con pausas (estacionario) hasta que encuentra un punto AP disponible. Se supone que el punto AP está situado a una distancia  $d = 500$  m alejado del punto desconectado y  $d_{th} = 80$  m. La Figura ilustra que cuando el cliente móvil permanece estacionario durante más tiempo, el número de búsquedas requerida aumenta para la iniciación del periodo fijo. Por el contrario, la iniciación basada en el movimiento no resulta afectada por el tiempo estacionario puesto que inicia la búsqueda solamente cuando el movimiento del cliente móvil supera la distancia umbral. Conviene señalar que cuando el usuario está paseando, el algoritmo del movimiento inicia la búsqueda una vez

cada  $\frac{d_{th}}{v_{walk}} \approx 38.5$  s.

Búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado

La Figura 4C describe un método de búsqueda de puntos AP que controla las funciones de búsqueda, sondeo y migración cuando el cliente móvil opera en el modo conectado.

Para explotar las diversas oportunidades de acceso de Wi-Fi, el proceso de búsqueda cambia, de forma adaptativa, el umbral de RSS sobre la base de la densidad de puntos AP local estimada utilizando la media de movimiento. Cuando la densidad de puntos AP es alta, el cliente móvil 110 se hace más operativamente agresivo iniciando el proceso de búsqueda de puntos AP estableciendo un umbral de RSS alto, a la espera de encontrar mejores puntos APs al coste de una sobrecarga de búsqueda. Para evitar una alta tasa de iniciación operativa falsa debido al desvanecimiento de fluctuaciones de RSS inducidas, incluso cuando el cliente móvil está estacionario, el cliente móvil inicia la búsqueda de una manera probabilística sobre la base de su movimiento. Más concretamente, la probabilidad de iniciación operativa (esto es,  $P_{scan}$  en la línea 18 en la Figura 4C) aumenta, en función de la distancia ( $\hat{d}$ ) que ha recorrido el cliente móvil desde la más reciente búsqueda. En este caso,  $\Delta$  se establece a 0.1 y la distancia unitaria ( $d_{unit}$ ) es de 10 m en nuestros experimentos.

Una vez iniciada la búsqueda, si el cliente móvil descubre cualesquiera puntos APs disponibles mediante búsqueda, entonces, asocia con uno de los puntos APs disponibles el que proporciona el más alto ancho de banda estimado. Si, por el contrario, no se descubre ningún punto AP utilizable, el cliente móvil se conmuta al modo desconectado ilustrado en la Figura 4B.

Según esta forma de realización, cuando el cliente móvil está actualmente conectado a un punto AP de la red inalámbrica 106, todavía busca, de forma proactiva, otra o mejor oportunidad de acceso inalámbrico para mantener

la conectividad. A modo de ejemplo, cuando un usuario móvil pasea dentro de una zona urbana, en donde existen numerosos puntos de acceso y sus rendimientos son heterogéneos, en tal caso, el cliente móvil puede identificar y usar (o migrar a) dichas oportunidades en una manera de eficiencia energética.

5 El proceso de búsqueda de puntos AP, en el modo conectado, incluye tres componentes principales (esto es, búsqueda, sondeo y selección). Más concretamente, para explotar la oportunidad de acceso diversa mientras se reduce al mínimo la iniciación operativa falsa, el umbral de iniciación de búsqueda (umbral de intensidad de señal recibida) se adapta, de forma dinámica, dependiendo de los movimientos o del registro histórico de movimientos del cliente móvil y de la densidad de puntos AP local. A modo de ejemplo, cuando un usuario está estacionario, aún  
10 cuando el valor de RSS sea bajo debido a variaciones temporales de la calidad de enlace, un cliente móvil se abstiene de iniciar el proceso de búsqueda de puntos AP. Sin embargo, cuando un cliente móvil se ha desplazado en una determinada distancia (p.e., 20 m), no solamente observa el RSS degradado, sino que también espera encontrar más puntos APs y de este modo, inicia el proceso de búsqueda de puntos AP.

15 Selección de puntos de acceso

Una vez que un concentrador móvil encuentra un conjunto de puntos de acceso APs disponibles mediante búsqueda, selecciona uno de los puntos APs en función de un sistema de selección de puntos AP basado en el rendimiento, que busca proporcionar el rendimiento óptimo, extremo a extremo, para el cliente móvil. La selección de  
20 puntos de acceso se proporciona por el módulo de asociación 248 o 286.

En general, el cliente móvil 110 estima un ancho de banda, extremo a extremo, explotando la información de calidad y de carga disponible en la red. En las redes malladas inalámbricas, el rendimiento conseguible de un concentrador móvil depende de la calidad del enlace de cliente-AP y de los enlaces de redes centrales malladas. En este caso, la  
25 calidad de enlace cliente-AP depende más de la movilidad del usuario, mientras que el rendimiento de red central mallada está estrechamente relacionado con las condiciones del tráfico de la red. Por lo tanto, los anchos de banda disponibles para el último salto operativo (enlace de cliente-AP) y la red central mallada se estiman por separado. El EAB se estima identificando el enlace de “cuello de botella” a lo largo de la ruta desde el cliente a la pasarela de malla. Más concretamente, cada punto AP y los enrutadores de mallas miden periódicamente el ancho de banda  
30 disponible de sus enlaces salientes y cada punto AP recoge la información medida a lo largo de la ruta desde sí mismo a una pasarela y luego, deriva el EAB. Esta información se entrega luego al cliente móvil para facilitar la selección del mejor punto AP para asociación.

35 Estimación del ancho de banda disponible de red central mallada

Para evitar la sobrecarga de medición adicional, la búsqueda de puntos AP hace uso de resultados de mediciones existentes en una forma pasiva.

Se considera un enlace  $i$  y se indica con  $m$  el nodo origen para el tráfico de flujo descendente. A continuación, el  
40 nodo  $m$  puede estimar el tiempo en el aire disponible en el enlace  $i$  supervisando, de forma pasiva, el tiempo de transmisión de paquetes ( $t_{tx}$ ), tiempo ocupado del enlace ( $t_{busy}$ ) y tiempo inactivo de enlace ( $t_{idle}$ ) durante el periodo de medición ( $t, t + T$ ) en donde  $T = t_{tx} + t_{busy} + t_{idle}$ . A continuación, el ancho de banda disponible en el enlace  $i$  puede estimarse como:

$$45 \quad AB_i = \left(1 - \frac{t_{tx} + t_{busy}}{T}\right) \cdot R_{m,i}$$

en donde  $R_{m,i}$  es la tasa de transmisión máxima que el nodo  $m$  puede soportar en el enlace  $i$ , que puede calcularse a priori realizando experimentos de calibración simples. El ancho de banda disponible estimado, anteriormente  
50 calculado, incluye el impacto de la contención del canal entre los enlaces próximos que operan en el mismo canal. Cada nodo mallado mantiene la actualización del ancho de banda de enlace disponible tomando una media del movimiento.

Estimación del ancho de banda disponible del enlace de cliente-AP

55 A continuación, para calcular el ancho de banda de cliente-AP disponible, los puntos APs mantiene la estimación de su propia utilización del enlace como:

$$U_a(t, t + T) = \frac{1}{T} \sum_{c \in C} \frac{L_{a,c}(t, t + T)}{R_{a,c}},$$

60 en donde  $C$  es el conjunto de clientes asociados con AP  $a$ ,  $L_{a,c}$  es la carga (esto es, la cantidad de tráfico), generada por el usuario  $c \in C$  en AP  $a$  y  $R_{a,c}$  es la tasa de transmisión máxima conseguible (cuando no existe ninguna

contención) por el usuario  $c$ . El punto AP puede estimar la carga  $L_{a,c}$  supervisando el número total de bytes transmitidos por segundo a cada cliente que le está asociado. En este caso, la utilización  $U_a$  puede interpretarse como una estimación de la fracción de la capacidad de AP que se está utilizando para servir a los clientes existentes asociados con el punto AP. De este modo, la capacidad remanente está disponible para el nuevo cliente  $n$ , que viene dada como:

$$AB_{a,n} = (1 - U_a) \times R_{a,n},$$

en donde  $R_{a,n}$  es la tasa de transmisión entre AP  $a$  y el nuevo cliente, que puede estimarse durante el proceso de búsqueda de puntos AP.

La Figura 10 ilustra los anchos de banda de enlace disponibles estimados (representados por líneas continuas) para salto operativo único, dos saltos operativos, tres saltos operativos y cuatro saltos operativos en sus conexiones en comparación con el ancho de banda real (representado por líneas de puntos) medido utilizando el método de Thrlay, disponible en <http://shlang.com/thrlay>, que se incorpora aquí por referencia en su integridad. La Figura 10 indica que el método de estimación simple proporciona resultados razonablemente exactos con un error menor del 10 %, mientras que elimina la necesidad del sondeo activo (y su sobrecarga).

Selección del punto de acceso en función de la calidad de enlace y del equilibrio de carga

Según otra forma de realización, el cliente móvil 110 considera la calidad del enlace y el equilibrio de la carga de la red inalámbrica central 106 en el sistema de selección del punto de acceso.

Más concretamente, tres componentes de medición separados se incorporan en el sistema de selección de AP, incluyendo:

La calidad del canal entre el cliente 110 y cada punto AP disponible;

El rendimiento de la ruta de retorno en la red inalámbrica 106 entre el punto AP deseado y la pasarela de mallas 102, si el cliente 110 intenta acceder a la red externa 114 o a otro punto de acceso, si el cliente intenta acceder a otra entidad de red dentro de la red inalámbrica 106 y la información de la característica de carga de la red inalámbrica 106.

A los puntos de acceso que tengan rutas más congestionadas al nodo de pasarela, que podrían no siempre reflejarse por los parámetros de calidad o del rendimiento, se les debe proporcionar una más baja prioridad por el sistema de selección de puntos AP.

La siguiente descripción supone que el cliente móvil 110 busca las conexiones de red a la red externa 114 a través de la pasarela de borde 102. La técnica de selección de AP puede ser fácilmente adoptada para acceder a la entidad de red interna dentro de la red inalámbrica 106.

Con el fin de seleccionar un punto AP sobre la base del rendimiento además de la característica de carga de la red inalámbrica central 106, el cliente 110 está configurado para estimar la condición del canal entre el cliente mismo y los puntos APs disponibles así como el rendimiento de la red dentro de la red central mallada 106. Además, el cliente 110 recoge la información requerida en la manera más eficiente posible, al mismo tiempo que introduce la menor cantidad posible de sobrecargas. El proceso de medición no debería impactar notablemente sobre los recursos de la red ni debería dar lugar a un consumo de energía excesivo en el dispositivo del cliente. Por el contrario, la red inalámbrica 106 facilita, por sí misma el proceso de selección de puntos AP con el fin de lograr un equilibrio de carga del tráfico de la red y evitar una congestión, con lo que se mejora el rendimiento y utilización global de la red.

En una forma de realización, los puntos APs detectados por el cliente 110 proporcionar al cliente información de calidad de enlace que refleja el rendimiento de su ruta a la pasarela mallada 102. Con el fin de evitar las sobrecargas de la puesta en práctica de un marco de trabajo de medición, la métrica de calidad de enlace disponible a partir del protocolo de búsqueda subyacente se utiliza para esta finalidad. Además, con el fin de evitar una distribución de carga no uniforme y una congestión de la ruta, la información de carga de la red se incorpora, además, en el proceso de toma de decisión. Estos dos factores, junto con la calidad del canal del enlace cliente a AP se toma en consideración por cada cliente 110 antes de tomar la decisión de selección de AP. Dicho método es también soportado por la más recientemente propuesta norma IEEE 802.11k provisional disponible en <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt>, que se incorpora aquí por referencia en su integridad. Además, para la red mallada inalámbrica multicanal multi-radio, el efecto de la diversidad del canal se incorpora en el proceso de selección de puntos AP.

Según se ilustra en la Figura 1, después de la búsqueda y detección de puntos APs disponibles utilizando los métodos de búsqueda de AP descritos, el nuevo cliente 110B necesita asociarse con una de las varias elecciones posibles de puntos APs. Desde la perspectiva del usuario final, el punto AP que puede proporcionar el mejor

rendimiento, extremo a extremo, o el menor retardo será la mejor opción. Sin embargo, desde la perspectiva de la red 106, se desea también distribuir uniformemente el tráfico de red (o carga) a través de la red 106 para conseguir una mejor utilización de la red. Con el fin de ayudar al cliente en obtener la decisión correcta, la red 106 proporciona al cliente 110B la métrica necesaria tal como el rendimiento previsto del cliente, la carga de las rutas de retorno disponibles y otros factores. Sobre estas bases, el dispositivo del cliente 110B calcula una puntuación asociada con cada AP, que es indicativa de una medición de un rendimiento previsto que el cliente 110B puede conseguir si se asocia con ese punto AP. El cliente 110B clasifica luego los diversos puntos APs utilizando esta puntuación y los asocia con el mejor AP disponible.

- 5
- 10 En esta forma de realización, cada AP solamente hace disponible la estadística de red necesaria al dispositivo del cliente y deja la decisión de selección del AP final al propio cliente.

A diferencia de los sistemas existentes, no proporciona ningún control de asociación por la red 106 en esta forma de realización, en donde la red 106 no decide con qué punto AP puede asociarse el cliente 110B ni obliga al cliente 110B a una itinerancia en búsqueda de los mejores puntos APs.

- 15

La técnica de selección de AP tiene las características siguientes:

Selección de puntos AP asistida por la red: En la red inalámbrica 106, que suele ser una red mallada inalámbrica, cada cliente 110 necesita tener conocimiento de las condiciones en la red central mallada, con el fin de tomar una decisión de selección de AP informada. En lugar de hacer que los clientes 110 obtengan esta información realizando un sondeo activo extremo a extremo, lo que es de muy alto coste en términos de recursos de red y de consumo de energía, el sistema 100 utiliza la red 106 para proporcionar la información necesaria a los clientes.

- 20

Supervisión de red de baja sobrecarga: Con el fin de reducir las sobrecargas relacionadas con la medición, la red 106 realiza mediciones pasivas para recoger la información necesaria. Esta información se intercambia luego entre los diversos nodos mallados o puntos APs para un sistema de selección de AP distribuido o informado a un controlador centralizado.

- 25

Equilibrado de carga en red central mallada: Varias métricas tales como rendimiento estimado, relación de pérdida de paquetes y otros se utilizan para estimar el rendimiento de la red central mallada. Sin embargo, dichas métricas tienden normalmente a seleccionar puntos APs con más alto rendimiento, dando lugar a una distribución de tráfico no uniforme en la red mallada y disminuyendo el rendimiento del sistema global. La técnica de selección de AP antes descrita incorpora algunas formas de métrica de equilibrado de carga en el proceso de selección de puntos AP.

- 30
- 35

Impacto de conteo de saltos operativos y diversidad de canal: Con el fin de incorporar correctamente el rendimiento de la red central mallada en el proceso de selección de puntos AP, el impacto del número de saltos operativos y de la diversidad de canal sobre el rendimiento del usuario se tienen en cuenta. La métrica de selección de AP, aquí descrita, tiene en cuenta ambos parámetros.

- 40

Según otra forma de realización, cuando se realiza la selección de AP, el nuevo cliente 110B determina varias métricas, que son indicativas del rendimiento de la conexión y las características de carga de la red inalámbrica central 106. Estas métricas incluyen la métrica de calidad del canal del enlace inalámbrico entre el cliente y el punto AP, la métrica de rendimiento de la ruta de retorno entre el AP y la pasarela de borde y la métrica de equilibrado de carga de la red inalámbrica central. Cada una de estas métricas se describe con más detalle a continuación.

- 45

Calidad del canal entre el cliente y punto AP

Esta métrica indica el rendimiento del primer salto operativo inalámbrico entre el dispositivo del cliente 110B y el punto AP mallado. En una forma de realización, se supone que la mayoría del tráfico fluye desde los puntos APs mallados a los clientes, en la dirección de enlace descendente. Por lo tanto, solamente la calidad de canal de enlace descendente, desde el punto AP al cliente, es objeto de estimación. Como alternativa, ambas calidades de canales de enlace descendente y de enlace ascendente pueden tenerse en cuenta.

- 50
- 55

En general, la calidad de enlace entre el cliente 110B y un punto AP deseado se mide por la métrica del *rendimiento estimado*. Más concretamente, si se considera un punto AP  $a$ , que tenga un conjunto de clientes  $U$  asociado, se supone que  $L_{a,u}$  es la carga generada por cada cliente  $u \in U$  en el punto AP  $a$  por unidad de tiempo. Si  $R_{a,u}$  es la tasa de transmisión máxima conseguida por cada cliente, entonces la utilización de AP es según se define como:

- 60

$$\mu_a = \sum (L_{a,u} / R_{a,u}) \text{ para todos } u \in U$$

Esta utilización es una estimación de la fracción de la capacidad del AP que se está utilizando para servir a los clientes existentes. En consecuencia, la capacidad remanente está disponible para el nuevo cliente 110B y puede utilizarse para estimar el rendimiento de enlace descendente entre el punto AP y el cliente. Si  $R$  indica la tasa de

- 65

transmisión entre AP a y el nuevo cliente, entonces el rendimiento estimado del enlace descendente viene dado por:

$$Thrd_{downlink} = (1 - \mu_a) \times R \quad (6)$$

5 Este valor se hace disponible por los puntos APs respectivos al cliente 110B durante el proceso de búsqueda.

Rendimiento de la ruta de retorno entre AP y la pasarela

10 El sistema 100 proporciona una métrica de rendimiento de la red, que es indicativa del rendimiento de los flujos de clientes dentro de la red central mallada 106. Incorporando esta métrica, el sistema 100 considera la situación en donde aún cuando el enlace de cliente AP a AP sea bueno, la ruta entre ese AP y el nodo de pasarela puede sufrir de una calidad de enlace deficiente y en consecuencia, la asignación de una baja prioridad al punto AP respectivo.

15 A diferencia de los sistemas existentes que se basan en un marco de trabajo de medición que implica sobrecargas extras de medición y de comunicación que pueden impactar desfavorablemente sobre el rendimiento de los usuarios finales, el sistema 100 utiliza protocolos de enrutamiento subyacentes para la red mallada inalámbrica 106, que utiliza ya alguna forma de estimación de la calidad de enlace. Esta métrica puede ser, a modo de ejemplo, la métrica de conteo de transmisión prevista (ETX) en el Protocolo de Enrutamiento de Estado de Enlace Optimizado (OLSR) disponible en <http://ietf.org/rfc/rfc3626.txt>, o la métrica de tiempo en aire propuesta en la norma IEEE 802.11s, que se incorporan aquí por referencia en su integridad. Cuando la red 106 expone estas métricas a los clientes 110, entonces los clientes pueden estimar el rendimiento de las rutas de retorno con la red inalámbrica 106 e incorporar la misma en el proceso de selección de AP.

25 En una forma de realización, la red inalámbrica 106 utiliza el protocolo de enrutamiento de OLSR y expone la métrica ETX a los dispositivos del cliente 110. Cada punto AP mantiene el registro del valor ETX de la ruta acumulativo para su ruta al nodo de pasarela. Además, el valor ETX acumulativo se modifica con el fin de incluir la diversidad de canal. Según se ilustra en la Figura 1, para una ruta 116 a través de la red inalámbrica 106, el valor ETX acumulativo se define como sigue:

$$ETX_p = (N / N_j) \times \sum_{i=1}^n ETX_i \quad (7)$$

30 en donde  $N$  es el número total de saltos operativos en  $P$  y  $N_j$  es el número de diferentes canales utilizados por los saltos operativos en la ruta  $P$ . la fracción  $N/N_j$  actúa como una ponderación asignada a cada ruta. Si dos rutas tienen el mismo número de saltos operativos, entonces a la ruta con mejor diversidad de canal se le asignará un peso de ponderación más bajo. Esto es así porque si múltiples saltos operativos a lo largo de una ruta están en el mismo canal, entonces solamente uno de los saltos operativos puede acceder al canal en un momento dado. De este modo, se reducirá el rendimiento efectivo de esa ruta, aún cuando las rutas individuales puedan tener buenos valores ETX. Los valores ETX acumulativos de dichas rutas se penalizan mediante un peso de ponderación más grande. Como alternativa, la red inalámbrica 106 puede utilizar protocolos de enrutamiento con métricas, que incluyen ya la información de diversidad de canal, tal como el tiempo de transmisión previsto acumulativo ponderado (WCETT) descrito en la documentación no de patente de R. Draves et al "Encaminamiento en redes malladas inalámbricas de múltiples saltos operativos, multi-radio" en Proceedings of the 10 Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, páginas 114-128, 2004, que se incorpora aquí por referencia en su integridad.

45 Métrica de la característica de carga

Diferentes puntos de acceso APs dentro de la red 106 ofrecen diferentes niveles de rendimiento a los clientes 110. Los sistemas existentes, que favorecen a los puntos de acceso APs que proporcionan una ruta de más alto rendimiento al cliente, causan el desequilibrio de la carga en la red mallada. Con el fin de evitar esta circunstancia de desequilibrio de carga, el sistema 100 utiliza el uso de nodos como una indicación de la carga de la red dentro de la red inalámbrica 106. Para una ruta dada entre el punto de acceso AP y la pasarela 102, se estima el salto del 'cuello de botella'.

55 Más concretamente, se considera un nodo mallado (un punto de acceso)  $m$  que tiene  $n$  enlaces de retorno. Se supone que  $L_{m,i}$  es la carga generada por el nodo  $m$  en el enlace  $i$  por unidad de tiempo y  $C_{m,i}$  es la capacidad de transmisión máxima. A continuación, se define la utilización del nodo  $m$  como:

$$\mu_m = \sum_{i=1}^n (L_{m,i} / C_{m,i})$$

5  $C_{m,i}$  es un valor constante para cada nodo, dependiendo de la tasa de modulación actual de ese nodo. Se calcula a priori realizando experimentos de calibración simples.  $L_{m,i}$  se estima supervisando la cantidad total de datos que se transmiten actualmente por el nodo. Cada nodo dentro de la red inalámbrica 106 mantiene una media de movimientos de su valor de utilización respectivo con respecto al tiempo. Entonces, para una ruta dada 116 a través de la red inalámbrica 106, se supone que cada salto operativo es asignado a uno de entre  $k$  canales disponibles. A continuación, se define  $U_j$  como:

$$10 \quad U_j = \sum_{\text{salto operativo } i \text{ está en canal } j} \mu_i \quad 1 \leq j \leq k$$

De este modo,  $U_j$  es la suma de las utilidades de todos los nodos en la ruta 116 que están en el mismo canal  $j$ . a continuación, para la ruta 116, definimos la utilización del 'cuello de botella' como:

$$15 \quad U_p = \max U_j \text{ para todos } j \in (1...k) \quad (8)$$

De este modo, si diferentes saltos operativos en una ruta utilizan canales diferentes, en tal caso, el salto operativo con la utilización máxima será el salto de 'cuello de botella'. Sin embargo, si múltiples saltos operativos en una ruta utilizan el mismo canal, entonces las transmisiones en estos saltos operativos se interferirán entre sí (excepto para el caso de saltos muy largos). En dicho escenario operativo, los clientes 110 suman las utilidades individuales de todos los saltos operativos en la ruta que están en el mismo canal. La ruta con la más baja utilización de 'cuello de botella'  $U_p$  tendrá asignada la más alta preferencia, puesto que esto ayudará a conseguir una red con mayor equilibrio de carga.

25 Puntuación de selección de puntos AP

Al determinar la métrica, los clientes 110 combinan los tres parámetros anteriores en una puntuación única, basada en que los clientes pueden clasificar varios puntos APs y tomar una decisión. Cada cliente 110 utiliza las tres clasificaciones siguientes que se asocian con los tres parámetros a medirse.

30 *Rank<sub>AP</sub>*: para cada punto AP que detecta el cliente, el cliente le asigna una clasificación sobre la base del rendimiento de enlace descendente estimado desde cada punto AP. Al punto AP que puede proporcionar el rendimiento de enlace descendente máximo se le asigna la más alta clasificación. La estimación del rendimiento del enlace descendente implica, a la vez, la carga sobre los puntos APs y las consideraciones de canales actuales o calidad del enlace (en términos de la tasa de transmisión que se utilice). De este modo, se proporciona una estimación exacta de la calidad del canal de enlace descendente.

40 *Rank<sub>path</sub>*: Para cada punto AP, el cliente 110 obtendrá también el rendimiento de las rutas de retorno desde el punto AP a la pasarela mallada. En esta forma de realización, este rendimiento está basado en el valor de la métrica ETX modificada descrita en la fórmula (7). Eligiendo el punto AP que tiene el más bajo valor ETX de ruta acumulativo, el cliente 110B elige, de forma efectiva, el punto AP con una ruta de retorno de alto rendimiento. Este método permite a los clientes 110 elegir un parámetro de rendimiento de red central independiente del protocolo de enrutamiento. A modo de ejemplo, si el protocolo subyacente utiliza alguna otra métrica de calidad de enlace, tal como la métrica de tiempo en aire propuesta en la norma IEEE 802.11s en su protocolo, cada punto AP puede calcular el tiempo en aire acumulativo requerido para transmitir el tráfico del usuario desde el punto AP a la pasarela mallada e informar de esta circunstancia a los clientes 110.

50 *Rank<sub>load</sub>*: Cada punto de acceso/nodo 104 en la red mallada 106 mide su utilización respectiva aplicando la fórmula (8) e intercambia esta información con otros nodos de la red. Cada punto AP 104 puede identificar entonces el nodo de 'cuello de botella' a lo largo de ruta a la pasarela mallada 102. Cuando un cliente 110 busca puntos APs, los puntos APs informan de este parámetro al cliente. Sobre la base de este parámetro, el cliente 110 puede asignar una clasificación a cada punto AP 104, con el mejor punto AP siendo el que tiene la utilización de 'cuello de botella' mínima a lo largo de su ruta de retorno. Téngase en cuenta que la utilización de nodos, en lugar de la utilización de enlaces, se utiliza como una indicación de la carga de AP. Esto es así con el fin de equilibrar la carga de la red 106, con todo el tráfico pasando a través de un nodo y no solamente el tráfico en un enlace particular necesita considerarse.

60 La ventaja de asignar clasificaciones basadas en estas métricas es que permite la abstracción de las métricas subyacentes. Sean cuales fuere las métricas utilizadas, el sistema 100 puede usar simplemente las clasificaciones para calcular la puntuación de AP final. Esto permite al sistema 100 utilizar métricas más pertinentes para diferentes objetos de medición. A modo de ejemplo, el sistema 100 puede utilizar el rendimiento para estimar la calidad del canal entre el punto AP y el cliente, al mismo tiempo que utiliza la utilización del nodo para estimar la carga de la red.

Los valores de *Rank<sub>AP</sub>* y *Rank<sub>path</sub>* están destinados a hacer máximo el rendimiento del cliente y en consecuencia,

proporcionar el mejor rendimiento extremo a extremo. Utilizando estas dos clasificaciones, el cliente 110 puede elegir el punto AP con el mejor rendimiento estimado entre el cliente y el punto AP así como con la mejor ruta en términos de rendimiento de retorno. La métrica de  $Rank_{load}$  sin embargo, tiene como objetivo conseguir una distribución uniforme del tráfico en la red central mallada, teniendo cuenta las utilizations de nodos mallados individuales. Combinando estas clasificaciones, se permite al cliente 110 elegir el mejor punto AP que sirve a ambos objetivos de proporcionar la mejor experiencia del usuario final al mismo tiempo que se consigue un equilibrado de carga en la red inalámbrica central mallada 106. La siguiente ecuación se utiliza para combinar estos parámetros y calcular la puntuación de AP final:

$$AP_{score} = \omega_1 \times (Rank_{AP} + Rank_{path}) + \omega_2 \times Rank_{load}, \quad (9)$$

en donde  $\omega_1$  y  $\omega_2$  son pesos de ponderación asignados a cada término y se toman valores en el margen de 0 a 1. Asignando diferentes pesos de ponderación a los dos términos, se permite al sistema 100 conseguir un equilibrio entre los dos objetivos contradictorios de elegir siempre el mejor punto AP en términos de rendimiento extremo a extremo y de equilibrado de carga del tráfico a través de la red mallada.

Según otra forma de realización que se ilustra en la Figura 5A, un método 500 se da a conocer para seleccionar un punto AP para un cliente móvil 110 para acceder a la red 106 sobre la base de la calidad de conexión y de la característica de carga de la red inalámbrica. En particular, para cada punto AP que se detecte por el proceso de búsqueda de puntos AP, el cliente 110 recoge y calcula la información de la calidad de conexión y de la característica de carga de la respectiva ruta a través de la red inalámbrica 106 (502). El cliente 110 clasifica entonces todos los puntos APs detectados sobre la base de la calidad de conexión y de la característica de carga (504) y calcula una puntuación para cada punto AP detectado a partir de las clasificaciones resultantes (506). Por último, el cliente 110 selecciona un punto AP para acceder a la red inalámbrica 106 sobre la base de las puntuaciones (508).

La Figura 5B ilustra una forma de realización adicional del método de selección de puntos AP 500. Según se ilustra en la Figura 5B, el dispositivo cliente 110 busca primero los puntos APs disponibles utilizando el proceso de búsqueda de puntos AP y selecciona el salto operativo de tres puntos AP sobre la base de las mediciones de la intensidad de la señal. En adelante, el cliente 110 obtiene las diversas mediciones asociadas con cada punto AP. Utilizando estas mediciones, el dispositivo del cliente 110 puede clasificar entonces cada punto AP y por último, estimar la puntuación de AP aplicando la fórmula (9). Una vez que el cliente ha calculado la puntuación  $AP_{score}$  anterior para cada AP, el cliente 110 puede tomar la decisión de asociación.

Según otra forma de realización, cuando el cliente 110 está conectado a la red inalámbrica 106, busca periódicamente los canales y obtiene un nuevo conjunto de mediciones para cada una de las tres métricas a partir de los puntos APs próximos. Sobre la base de estas nuevas mediciones, el cliente 110 puede actualizar sus puntuaciones de puntos AP y conmutar a un nuevo punto AP sobre la base de las nuevas puntuaciones.

#### Detalles de la puesta en práctica

##### Cliente móvil

La Figura 2B ilustra un diagrama esquemático de la estructura del cliente móvil 110. Estas estructuras pueden adaptarse a cualquier plataforma móvil.

En una forma de realización, la estructura ilustrada en la Figura 2B puede ponerse en práctica como un programa de *middleware*. Las ventajas de dicha puesta en práctica incluyen (i) transparencia de la aplicación, (ii) ninguna necesidad de actualización del sistema o de recompilación operativamente perjudicial y (iii) cada uso o interacción a través de diferentes componentes (p.e., hardware del sensor). La Figura 2B ilustra cuatro componentes principales para proporcionar las diversas funciones anteriormente descritas.

Módulo de la movilidad 284: El módulo de movilidad (MM) 284 supervisa periódicamente el movimiento del cliente móvil sobre la base de muestras del acelerómetro o sensor. El módulo MM 284 activa periódicamente el acelerómetro para un periodo predeterminado (p.e., 1 s activado y 4 s desactivado). Sobre la base de las muestras recogidas, el módulo MM 284 aplica la técnica de procesamiento de señales de Goertzel para clasificar las actividades de usuarios móviles.

Módulo de búsqueda 285: EL módulo de búsqueda (SM) 285 tiene como objetivo realizar tareas de búsqueda de AP periódicas y bajo demanda. Cuando SM 285 obtiene una notificación de desconexión de la tarjeta de interfaz de red inalámbrica subyacente, calcula y utiliza una frecuencia de búsqueda óptima sobre la base de al menos la densidad de nodos AP medida y de los movimientos del cliente según se describió con anterioridad. A continuación, el módulo SM 285 inicia la búsqueda, bajo demanda, en el estado conectado. Siempre que otros módulos demanden la búsqueda, comprobará primero un resultado de búsqueda reciente. Si existe un resultado memorizado, el módulo SM 285 lo transmite al módulo de demanda. De no ser así, inicia inmediatamente un nuevo proceso de búsqueda de



puntos AP.

Módulo de asociación 286: El módulo de asociación (AM) 286 incluye las funcionalidades de supervisión de red y de selección de AP, según se describió con anterioridad. Para la supervisión de red, el módulo AM 286 hace uso de la información de condición de red disponible a partir de nodos inalámbricos. Envía primero un mensaje de demanda de condición de ruta a un conjunto de puntos de acceso APs, seleccionados a partir de la búsqueda basada en la información de RSS. Cada punto AP responde al cliente con información de red de la ruta desde un cliente móvil a la pasarela. Dicha técnica de supervisión y entrega de mensajes ha sido puesta en práctica dentro de un sistema insertable de OLSR que se ejecuta en el cliente móvil. El módulo AM 286 utiliza los mensajes de control existentes de OLSR para intercambiar dicha información entre los nodos mallados. Dicho intercambio de información puede hacerse también disponible utilizando el protocolo IEEE 802.11k, según se describe en la documentación no de patente, de E. G. Villegas et al "Equilibrado de carga en redes WLANs a través de mecanismos de IEEE 802.11k" en Proc. of the IEEE ISCC, 2006, que se incorpora aquí por referencia en su integridad. Cuando un cliente realiza el proceso de selección de puntos AP, simplemente envía un mensaje de consulta GET a los puntos APs deseados.

Módulo de migración 287: El módulo de migración (MI) 287 realiza la migración proactiva de asociación de puntos AP según se describió con anterioridad. Incluso cuando un cliente móvil está conectado a un punto AP, el módulo MI 287 cambia dinámicamente el umbral de iniciación de la migración utilizando la información de movimientos del cliente y la densidad de puntos AP. Además, el módulo MI 287 toma la densidad de puntos AP y el valor RSS medio en cuenta para adaptar dinámicamente el umbral de migración. Aunque un cliente móvil se mueva a su alrededor, el módulo MI 287 calcula una media de movimientos de la reciente densidad de puntos AP utilizando datos de densidad de puntos AP en registro histórico. A continuación, si aumenta el valor de la densidad y de RSS, el módulo MI 287 disminuye el umbral de migración para el cliente 110 para encontrar un mejor punto AP y viceversa.

Enrutador mallado

Con el fin de recoger algunas estadísticas de red desde los puntos APs mallados para selección de AP, la primera métrica es el valor del rendimiento de la ruta acumulativo modificado para cada AP. En una forma de realización, el protocolo de enrutamiento de OLSR subyacente se pone en práctica en cada punto AP. El valor ETX acumulativo descrito en la fórmula (7) de la ruta de cada punto AP a la pasarela mallada se proporciona por el protocolo de enrutamiento y se integra con la información del canal para cada nodo. Cada punto AP mallado puede calcular luego el valor ETX modificado para su ruta al nodo de pasarela y hace este valor disponible al dispositivo del cliente durante la fase de búsqueda de puntos AP. Cuando varía la calidad del enlace, o si el protocolo de enrutamiento elige una nueva ruta, el punto AP puede calcular el nuevo valor ETX modificado.

Con el fin de estimar la utilización del nodo, una forma de realización proporciona un controlador Madwifi modificado para cada punto AP. Cada punto AP mantiene el registro del número total de bytes que se transmiten por ese AP a todos sus nodos cercanos y mantiene el registro de la cantidad máxima de datos que el AP puede transmitir a sus nodos cercanos en cualquier instante dado en el tiempo (capacidad). El mensaje de OLSR TC se modifica para añadir un campo para incluir el valor de utilización para cada nodo, con lo que se evita la sobrecarga de transmitir paquetes extras. De esta manera, cada punto AP recibe la información de utilización de todos los demás puntos APs en la red mallada 106. A continuación, sobre la base de la fórmula (8) cada nodo mallado puede estimar la utilización de 'cuello de botella' para su ruta a la pasarela mallada 102. Esta información se hace también disponible a los clientes y se utiliza para la estimación de la métrica de  $Rank_{load}$ .

La métrica final que necesita proporcionarse es la calidad del canal entre el cliente y los puntos APs. En una forma de realización, se supone que la mayor parte del tráfico fluye en la dirección de enlace descendente desde la pasarela mallada a los clientes, puesto que la mayoría de los servidores residen actualmente en la red cableada externa. En esta forma de realización, solamente la calidad de canal de enlace descendente entre los puntos APs y los clientes es objeto de estimación. La métrica de rendimiento estimada se utiliza para esta finalidad. Según se mencionó con anterioridad, cada punto AP mallado mantiene un registro de su propia utilización y por lo tanto, tiene también conocimiento de la tasa de transmisión actual entre dicho punto y el cliente.

Una vez obtenidos estos dos parámetros, el cliente móvil calcula el rendimiento estimado en la dirección de enlace descendente y utiliza este valor para clasificar los puntos APs en términos de su rendimiento de enlace de cliente a AP.

Según esta forma de realización, con el fin de obtener la información necesaria de los puntos APs inalámbricos para determinar la puntuación  $AP_{score}$  un módulo insertable de OLSR personalizado se pone en práctica en cada AP y mantiene un registro de todos los datos medidos por ese punto AP. A la recepción de una demanda de GET desde el cliente móvil, el módulo insertable de OLSR de cada AO responde con la estadística medida.

Evaluación del rendimiento

En esta sección se describen varios experimentos diseñados para evaluar el sistema 100 ilustrado en la Figura 1. Se proporcionan varias formas de puesta en práctica del sistema en función de las formas de realización, a modo de

ejemplo, anteriormente descritas, simplemente para la finalidad de evaluación y por lo tanto, no debe utilizarse, en modo alguno, para limitar el alcance de la invención.

#### Establecimiento experimental

Un denominado lecho de prueba en exteriores ilustrado en la Figura 11 se construye en una reserva forestal, abarcando más de 2.000 acres de terreno silvestre y en pendiente. El lecho de prueba soporta el tráfico vivo y se utiliza activamente por varios investigadores. Incluye 34 nodos mallados (puntos de acceso) que están situados en 31 emplazamientos físicos. El número medio de puntos APs visibles es de 8 y el alcance de transmisión de los puntos APs es de 300 m.

Los nodos en la red mallada se construyen utilizando las placas incorporadas de Soekris net4826. Cada nodo tiene un procesador 586 de 266 MHz, un módulo de memoria RAM de 128 MB y memoria instantánea que varía desde 64 MB a 256 MB. Para los equipos de radio inalámbricos, cada placa está provista de dos tarjetas Atheros 802.11b/g Mini-PCI. Los equipos de radio que funcionan en la norma 802.11b/g pueden utilizar tres canales no solapados. Todos los nodos funcionan con una distribución Linux personalizada utilizando el Kernel 2.6.28 con un controlador de dispositivo inalámbrico modificado. Se utiliza el protocolo de enrutamiento de OLSR.

El lecho de prueba en interiores se despliega en el interior de un edificio de oficinas y está constituido por 15 puntos APs a través de dos plantas. Cada malla incluye placas CambriGW2358-4 OpenWRT, un procesador Intel XScale de 667 MHz, 128 MB de memoria RAM y 32 MB de memoria instantánea. Cada nodo inalámbrico soporta dos equipos de radio basados en los circuitos integrados de Atheros, que funcionan con un controlador de dispositivos inalámbricos Madwifi de fuente abierta. Un equipo de radio en cada nodo está configurado en el modo *ad hoc*, con lo que se forma la red central mallada. Estos equipos de radio utilizan el sistema de modulación 802.11a. El otro equipo de radio en cada nodo está configurado como un punto AP (proporcionando, de este modo, un acceso del cliente) y utiliza el sistema de modulación 802.11g. Diferentes canales son asignados a diferentes puntos APs para reducir al mínimo la interferencia. Uno de los nodos inalámbricos sirve también como la pasarela mallada conectada a la red externa. El protocolo de enrutamiento de OLSR, con métrica ETX y la técnica de adaptación de tasas por defecto, disponible en el controlador de Madwifi se utilizan en el lecho de prueba.

#### Resultados experimentales

Eficiencia de la búsqueda en el modo desconectado: El rendimiento de la técnica de búsqueda en el modo desconectado, que se ilustra en la Figura 4B, con respecto a nuestro lecho de prueba en exteriores. Durante nuestro experimento, el cliente móvil se desplaza alrededor de áreas desconectadas con diferentes magnitudes de actividades (esto es, quieto, paseando) durante 10 minutos y el número de búsquedas iniciadas por el cliente móvil se mide en este momento. Para comparación, el número de búsquedas, mientras se cambian los umbrales del sistema periódico basado en umbral se mide también en esta disposición.

La Figura 12A ilustra una comparación entre los rendimientos de la iniciación operativa adaptada de la búsqueda de AP en el modo desconectado ilustrado en la Figura 4B y la búsqueda de puntos APs de periodo fijo, en términos del consumo de energía medio por el proceso de búsqueda y el retardo en la detección de un punto AP disponible. La distancia umbral ( $d_{th}$ ) para la iniciación adaptada fue establecida en 71 m sobre la base de la densidad de puntos AP estimada durante los experimentos. El intervalo de iniciación para la iniciación de frecuencia fija se establece en 10 s, 20 s, 30 s y 60 s, respectivamente. Según se ilustra en la Figura, la iniciación adaptada ahorra consumo de energía en la búsqueda en hasta un 60 %, en comparación con la iniciación de frecuencia fija con un intervalo de iniciación de 30 segundos, aunque se mantenga el retardo de detección de AP al mismo nivel que en la iniciación operativa de frecuencia fija. Esta ventaja se proporciona mediante la incorporación de información del movimiento en el ajuste del intervalo de iniciación operativa (o frecuencia). Más concretamente, cada cliente 110 calcula una frecuencia de búsqueda óptima basada en la distancia en que se ha desplazado un cliente móvil. Si no se incrementa la distancia, el cliente móvil suprime la búsqueda, con lo que se ahorra energía. Al mismo, cuando el cliente móvil se desplaza en una distancia superior a la distancia umbral inicia la búsqueda de puntos AP para detectar las oportunidades de acceso con lo que se reduce el retardo de la detección.

#### Eficiencia de la búsqueda de puntos AP en el modo conectado

La eficiencia de la búsqueda en el modo conectado proporcionado por el sistema 100 se evalúa con más detalle. Mientras un cliente móvil, que está conectado a la de inalámbrica en exteriores, se desplaza alrededor de una determinada trayectoria en el lecho de prueba en interiores durante 6 minutos, incluyendo 3 minutos de paseo y 3 minutos de estar de pie, la cantidad de consumo de energía por minuto se mide desde el modo conectado. Para comparación, los consumos de energía de un sistema de umbral fijo convencional y un sistema de referencia (indicado como "Oracle") se miden también en esta disposición. Tres diferentes umbrales fijos -55 dBm, -75 dBm y -95 dBm se establecen, respectivamente, para la técnica de iniciación de umbral fijo. En el sistema de Oracle, un dispositivo móvil está configurado para la búsqueda de canales cada 2 segundos para proporcionar mediciones de granularidad muy fina y para determinar el mejor punto AP sobre la base de los resultados de búsqueda a través de todo el experimento. El punto AP seleccionado se toma como la mejor selección y se ignora la sobrecarga de

búsqueda.

La Figura 12B ilustra el consumo de energía medio para migración por minuto. Según se muestra en la Figura, cuando el cliente se mueve alrededor (el escenario operativo de movimiento), la técnica de umbral adaptado, según se describió con anterioridad, ahorra energía en un 47 %, en comparación con la migración de umbral fijo. Esto es debido principalmente a que la técnica de umbral adaptado suprime una búsqueda innecesaria, cuando los clientes móviles son estacionarios. Además, al mismo tiempo que se ahorra energía para la búsqueda, la técnica de umbral adaptado consigue también casi el mismo nivel de RSS de los puntos APs asociados a través de todo el experimento. La tabla 1 muestra, además, que el valor RSS conseguido por la técnica de umbral adaptado es próximo al de la técnica de “Oracle” con diferentes umbrales. Para escenarios operativos estacionarios (fijos) la técnica de umbral adaptado consigue también un nivel similar del valor RSS, mientras reduce el consumo de energía un 34 %.

Tabla 1: Comparación de valores RSS conseguidos entre la búsqueda de umbral fijo y la búsqueda con conocimiento de movimiento

Umbral (dBm)	Oracle	Conseguido	Ratio (%)
-55 (fijo)	-60.86	-63.70	95.3
-75 (fijo)	-61.56	-64.98	94.4
-95 (fijo)	-61.04	-68.76	87.4
-55 (movimiento)	-59.48	-61.04	97.4
-75 (movimiento)	-59.51	-64.23	92.1
-95 (movimiento)	-63.28	-71.91	86.4

Eficiencia del umbral de activación por detección dinámica

La Figura 12C muestra la eficiencia del sistema de adaptación de umbral basado en la densidad de puntos AP. En el experimento, el cliente móvil se transporta por un usuario que pasea alrededor de varios emplazamientos (interiores y exteriores) en donde la densidad de puntos AP local variaba de 5 a 25. En primer lugar, se utiliza un conjunto de umbrales RSS fijos. El número de búsqueda iniciadas por el cliente móvil es objeto de conteo y el valor RSS medio conseguido por el cliente móvil se compara con el de la técnica de “Oracle”, suponiendo que la técnica Oracle selecciona siempre el mejor punto AP sin ninguna sobrecarga. La cifra indica claramente la solución de compromiso entre el valor RSS y la sobrecarga de búsqueda. Con el mismo establecimiento experimental, el sistema de adaptación de umbral basado en la densidad de AP realiza una solución de compromiso adecuada, con un 94.4 % del valor RSS mientras se hace la búsqueda 16 veces, debido a su capacidad de adaptación dinámica del umbral basado en la densidad de puntos AP local.

Evaluación del sistema de selección de puntos AP

Con el fin de evaluar todavía más el sistema de selección de puntos AP, se realizan experimentos separados. Los experimentos demuestran cómo el sistema de selección de puntos AP utiliza la información de calidad de enlace disponible a partir de los protocolos de enrutamiento subyacentes e incorpora el equilibrado de carga en el proceso de selección de puntos AP según se describió con anterioridad.

En el experimento, el dispositivo del cliente busca los puntos AP disponibles y demanda de cada punto AP disponible el valor ETX acumulativo modificado de esa ruta de puntos AP a la pasarela mallada 102. Este valor se utiliza luego por el cliente como un indicador del rendimiento de la ruta de retorno entre el punto AP y el nodo de pasarela. El cliente obtiene también el valor de rendimiento de enlace descendente estimado desde cada punto AP, con el fin de estimar la calidad del enlace entre dicho punto y el AP. Ambos valores se miden, de forma pasiva, por los puntos APs mallados según se describió anteriormente y por lo tanto, no utilizan ninguno de los recursos del cliente. Los clientes toman la decisión de selección del punto AP final combinando estos dos elementos de datos.

La Figura 13 ilustra el CDF del rendimiento conseguido por el dispositivo del cliente en dos posiciones diferentes dentro del lecho de prueba utilizando el sistema de selección de AP (“selección de AP basada en umbral + ETX”) aquí descrito. La cifra indica también el rendimiento del cliente para el caso en donde solamente se utilizó el rendimiento estimado del enlace de cliente a AP utilizado para selecciones de AP (“selección AP basada en umbral”). Las ganancias del rendimiento se consiguen porque el sistema 100 incorpora el valor ETX de ruta, que considera el rendimiento de la red inalámbrica de red central mallada 106 en el proceso de selección de puntos AP. Una mejora similar se observó en el tiempo de desplazamiento del dispositivo del cliente, según se ilustra en la Figura 14.

Conviene señalar que en la Figura 5 nuestro sistema de selección AP está basado en la utilización de la métrica de protocolo de enrutamiento que consigue un rendimiento similar al escenario operativo en donde se utiliza el sistema activo convencional para estimar el rendimiento de la red central mallada. Esto corrobora el hecho de que la métrica

de calidad de enlace, disponible a partir de los protocolos de enrutamiento subyacente, puede utilizarse para estimar el rendimiento de la red central mallada.

5 Según se indica en la fórmula (9), dos pesos de ponderación  $\omega_1$  y  $\omega_2$  se utilizan para equilibrar entre el rendimiento y el equilibrado de carga en selecciones de puntos AP. La Figura 15 ilustra el valor de rendimiento de la red para la diferente combinación de los dos pesos de ponderación. Según se ilustra en la Figura 15, cuando  $\omega_1$  se estableció a 0, el rendimiento de la red fue degradado. En este caso, el cliente seleccionaría el punto AP con la utilización de 'cuello de botella' mínima a lo largo de ruta de retorno, haciendo caso omiso del rendimiento que pueda conseguirse en esa ruta. La mejor clasificación, en términos de rendimiento, fue conseguida con  $\omega_2$  establecida a 0. Sin embargo, también se consigue el rendimiento más desfavorable en términos de minimizar la utilización de 'cuello de botella' en la red central mallada. El rendimiento fue observado para mejorar con el valor creciente de  $\omega_1$ , puesto que proporciona un peso de ponderación más alto para el componente del "rendimiento". Sin embargo, esto da lugar también a un incremento en la utilización de la red de 'cuello de botella', que da lugar a una distribución no uniforme del tráfico en la red. En consecuencia, estos dos pesos de ponderación  $\omega_1$  y  $\omega_2$  pueden ajustarse para adaptar el rendimiento de la red objetivo y sus requisitos de diseño.

Para evaluar el efecto de la característica de carga sobre las selecciones de puntos APs, se realiza un experimento, en donde los valores de 0.6 y 0.4 se asignan a  $w_1$  y  $w_2$  respectivamente, puesto que estos valores proporcionan el mejor equilibrio entre conseguir el rendimiento del cliente más alto y minimizar la utilización de 'cuello de botella de la red'.

Con el fin de probar la técnica de selección de puntos AP aquí descrita, se introducen nuevos clientes en la red en el lecho de prueba de interiores, en localizaciones variables. El número de nuevos clientes fue variado desde 1 a 5. La Figura 16 ilustra el rendimiento de los sistemas de selección de SP con y sin consideración de la característica de carga de la red inalámbrica central 106. Fue observado que con el equilibrado de carga, el rendimiento de red global fue significativamente mejor, mientras que se consigue una distribución del tráfico más uniforme en la red central mallada.

La técnica de selección de puntos AP se prueba, además, en el lecho de prueba en exteriores. A parte del tráfico básico ya en la red, dos clientes más se introducen que generaron un tráfico de UDP a una tasa constante de 3 Mbps. La Figura 17 ilustra el rendimiento de la red con un número variable de clientes. Una vez más, la incorporación de la característica de carga en las selecciones de puntos AP proporcionó una mejora significativa en términos de rendimiento y de retardo en el desplazamiento.

35 Con el fin de evaluar el impacto del sistema de selección de puntos AP sobre el tráfico del usuario, se realiza, además, el siguiente experimento en el lecho de prueba en exteriores.

Más concretamente, dos clientes que generan un tráfico UDP básico a una tasa constante de 3 Mbps. Un tercer cliente se introduce para transmitir datos UDP a un servidor incorporado al nodo de pasarela a una tasa constante de 3 Mbps. La tasa de la red se recoge en el servidor utilizando la herramienta denominada *tcpdump* para la duración del experimento. Un cuarto cliente se introduce luego en la red, que utiliza el sistema de selección de AP activo convencional y el sistema de selección de AP aquí descrito. La Figura 18 ilustra el impacto del sistema activo sobre el rendimiento del usuario existente. La prueba de carga y descarga de TCP, realizada por el nuevo cliente, impacta desfavorablemente sobre el rendimiento del cliente existente. La pérdida de paquetes para los clientes actualmente conectados a la red es, como media, un 3.9 % mayor cuando el cliente recientemente introducido utiliza el sistema activo convencional, en oposición al sistema AP aquí descrito.

50

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de suministro de una conexión inalámbrica a un cliente móvil, cuyo método comprende:
- 5 iniciar un proceso de búsqueda de puntos de acceso (110A-C) en modo desconectado, en donde la búsqueda de puntos de acceso en modo desconectado comprende:
- supervisar el movimiento del cliente móvil utilizando un sensor de baja potencia dispuesto a bordo del cliente móvil y
- 10 iniciar un proceso de búsqueda de puntos de acceso en modo desconectado cuando un desplazamiento del cliente móvil supera una distancia umbral;
- conectar a un punto de acceso encontrado por el proceso de búsqueda de puntos de acceso en modo desconectado;
- 15 realizar un proceso de búsqueda de puntos de acceso en modo conectado, en donde la búsqueda de puntos de acceso, en el modo conectado, comprende:
- iniciar periódicamente un proceso de búsqueda de puntos de acceso en modo conectado,
- 20 en donde el proceso de búsqueda de puntos de acceso en modo conectado incluye un umbral de intensidad de señal para los posibles puntos de acceso;
- supervisar el movimiento del cliente móvil usando el sensor de baja potencia dispuesto a bordo del cliente móvil;
- 25 determinar una densidad de puntos de acceso de una red inalámbrica (106);
- ajustar el umbral de intensidad de la señal en función de la densidad de puntos de acceso así determinada y
- 30 ajustar una frecuencia de la iniciación periódica en función del movimiento que se supervisa y de la densidad de puntos de acceso determinada.
2. El método según la reivindicación 1, que comprende, además:
- 35 disminuir la frecuencia de la iniciación del proceso de búsqueda de puntos de acceso en modo conectado en respuesta a una reducción en la densidad de puntos de acceso.
3. El método según la reivindicación 1 o 2 que comprende, además:
- 40 aumentar la frecuencia de la iniciación del proceso de búsqueda de puntos de acceso, en el modo conectado, en respuesta a un aumento en la densidad de puntos de acceso.
4. El método según la reivindicación 1, que comprende, además:
- 45 determinar una velocidad de dicho al menos un movimiento del cliente móvil y
- aumentar la frecuencia de la iniciación del proceso de búsqueda de puntos de acceso, en el modo conectado, en respuesta a un aumento en la velocidad.
- 50 5. El método según la reivindicación 4, que comprende, además:
- disminuir la frecuencia de la iniciación del proceso de búsqueda de puntos de acceso, en el modo conectado, en respuesta a una disminución en la velocidad.
- 55 6. El método según la reivindicación 1, en donde el sensor de baja potencia es un acelerómetro.
7. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 que comprende, además:
- 60 la detección de uno o más puntos de acceso (104) dentro de una zona en donde reside el cliente móvil;
- supervisar al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica y
- seleccionar un punto de acceso de entre los uno o más puntos de acceso detectados con el fin de conectar el cliente móvil a la red inalámbrica en respuesta a por lo menos la calidad de enlace y la característica de carga de la red inalámbrica.
- 65

8. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde la red inalámbrica es una red mallada inalámbrica que incluye una pluralidad de puntos de acceso, en donde otra entidad de red está conectada a uno de entre la pluralidad de puntos de acceso y en donde cada uno de los uno o más puntos de acceso detectados está asociado con una ruta que conecta el respectivo punto de acceso y la otra entidad de red a través de la red mallada inalámbrica, teniendo cada ruta uno o más nodos seleccionados de entre la pluralidad de puntos de acceso;
- 5
- comprendiendo el método, además:
- determinar una calidad de conexión y una característica de carga de cada ruta a través de la red mallada inalámbrica asociada con cada uno de los uno o más puntos de acceso detectados;
- 10
- seleccionar el punto de acceso en conformidad con las calidades de conexiones y las características de carga de las rutas.
- 15
9. El método según la reivindicación 8 que comprende, además:
- clasificar los uno o más puntos de acceso detectados en función de las calidades de conexión y las características de carga de sus rutas asociadas a través de la red mallada inalámbrica y
- 20
- seleccionar el punto de acceso en conformidad con las clasificaciones.
10. Un soporte no volátil, legible por ordenador, que tiene códigos legibles por ordenador memorizados que cuando se ejecutan por uno o más procesadores digitales, dan instrucciones a dichos uno o más procesadores digitales para proporcionar a un cliente móvil una conexión inalámbrica, incluyendo los códigos legibles por ordenador:
- 25
- instrucciones para iniciar un proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo desconectado, en donde la búsqueda de puntos de acceso, en el modo desconectado, comprende:
- 30
- supervisar el movimiento del cliente móvil utilizando un sensor de baja potencia dispuesto a bordo del cliente móvil y
- iniciar un proceso de búsqueda de puntos de acceso, en el modo desconectado, basado en que el cliente móvil se desplaza más allá de una distancia umbral;
- 35
- instrucciones para la conexión a un punto de acceso encontrado por el proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo desconectado;
- instrucciones para realizar la búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado, en donde la búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado comprende:
- 40
- iniciar periódicamente un proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado, en donde el proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado incluye un umbral de intensidad de la señal para posibles puntos de acceso;
- 45
- supervisar el movimiento del cliente móvil utilizando un sensor de baja potencia dispuesto a bordo del cliente móvil;
- determinar una densidad de puntos de acceso de la red inalámbrica;
- ajustar el umbral de intensidad de la señal en función de la densidad de puntos de acceso determinada y
- 50
- ajustar una frecuencia de la iniciación operativa sobre la base del movimiento supervisado y de la densidad de puntos de acceso determinada.
11. El soporte legible por ordenador según la reivindicación 10, comprendiendo los códigos de ordenador además:
- 55
- instrucciones para detectar uno o más puntos de acceso dentro de una zona en la que reside el cliente móvil;
- instrucciones para medir al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica y
- 60
- instrucciones para seleccionar uno de los uno o más puntos de acceso detectados para conectar el cliente móvil a la red inalámbrica en conformidad con al menos la calidad de enlace y la característica de carga de la red inalámbrica con el fin de hacer máximo el rendimiento, extremo a extremo, de la conexión inalámbrica.
12. Un cliente móvil (110A-C) destinado a conectarse a una red inalámbrica (106) a través de uno o más puntos de acceso (104) que comprende:
- 65
- un sensor de baja potencia configurado para generar señales de movimiento indicadoras de movimientos del cliente

móvil y

un procesador, configurado para:

- 5 iniciar un proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo desconectado, en donde la búsqueda de puntos de acceso en el modo desconectado comprende:
- supervisar el movimiento del cliente móvil utilizando un sensor de baja potencia dispuesto a bordo del cliente móvil; y
- 10 iniciar un proceso de búsqueda de puntos de acceso, en el modo desconectado, en función del desplazamiento del cliente móvil más allá de una distancia umbral;
- conectar a un punto de acceso encontrado por el modo desconectado, en donde la búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado comprende:
- 15 iniciar periódicamente un proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado, en donde el proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado incluye un umbral de intensidad de la señal para posibles puntos de acceso;
- 20 supervisar el movimiento del cliente móvil utilizando el sensor de baja potencia dispuesto a bordo del cliente móvil;
- determinar una densidad de puntos de acceso de la red inalámbrica;
- ajustar el umbral de intensidad de la señal en función de la densidad de puntos de acceso determinada y
- 25 ajustar una frecuencia de la iniciación periódica en función del movimiento supervisado y de la densidad de puntos de acceso determinada.
13. El cliente móvil según la reivindicación 12, que comprende, además:
- 30 un módulo de asociación (248) configurado para supervisar al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica y para seleccionar un punto de acceso (104) para conectar el cliente móvil (110A-C) a la red inalámbrica en función de al menos la calidad de enlace y la característica de carga de la red inalámbrica con el fin de hacer máximo un rendimiento, extremo a extremo, de una conexión inalámbrica.
- 35 14. El cliente móvil según la reivindicación 12 en donde el módulo de búsqueda (247) está configurado, además, para supervisar una intensidad de señal recibida de señales inalámbricas recibidas por el cliente móvil y comprendiendo el cliente móvil además:
- 40 un módulo de migración (287) configurado para efectuar la migración del cliente móvil desde un primer punto de acceso a un segundo punto de acceso en respuesta a por lo menos uno de entre el cambio en el movimiento del cliente móvil, el cambio en la densidad de puntos de acceso y un cambio en la intensidad de señal recibida.
- 45 15. Un sistema (100) para proporcionar a un cliente móvil (110A-C) una conexión inalámbrica a una red inalámbrica (106), comprendiendo el sistema:
- una pluralidad de puntos de acceso (104) distribuidos dentro de la red inalámbrica (106) y
- un cliente móvil (110A-C) configurado para:
- 50 iniciar un proceso de búsqueda de puntos de acceso en modo desconectado, en donde la búsqueda de puntos de acceso en el modo desconectado comprende:
- supervisar el movimiento del cliente móvil utilizando un sensor de baja potencia dispuesto a bordo del cliente móvil y
- 55 iniciar un proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo desconectado en función del desplazamiento del cliente móvil más allá de una distancia umbral;
- conectar a un punto de acceso encontrado por el proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo desconectado;
- 60 realizar la búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado, en donde la búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado comprende:
- 65 iniciar periódicamente un proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado, en donde el proceso de búsqueda de puntos de acceso en el modo conectado incluye un umbral de intensidad de la señal para posibles

puntos de acceso;

supervisar el movimiento del cliente móvil utilizando el sensor de baja potencia dispuesto a bordo del cliente móvil;

5 la determinación de una densidad de punto de acceso de la red inalámbrica;

ajustar el umbral de intensidad de la señal en función de la densidad de puntos de acceso determinada y

10 ajustar una frecuencia de iniciación periódica en función del movimiento supervisado y de la densidad de puntos de acceso determinada.

15 16. El sistema según la reivindicación 15, en donde cada uno de la pluralidad de puntos de acceso (104) está configurado para medir al menos una calidad de enlace y una característica de carga de la red inalámbrica y configurado para transmitir las mediciones indicativas de la calidad de enlace y de la característica de carga al cliente móvil (110A-C).

20 17. El sistema según la reivindicación 16, en donde el cliente móvil (110A-C) está configurado para recibir las mediciones de la calidad de enlace y la característica de carga y cuando el cliente móvil detecta uno o más puntos de acceso (104) de la red inalámbrica (106), el cliente móvil está configurado para seleccionar uno de entre los uno o más puntos de acceso detectados en función de las mediciones de la calidad de enlace y de la característica de carga de la red inalámbrica con el fin de hacer máximo un rendimiento, extremo a extremo, de la conexión inalámbrica.



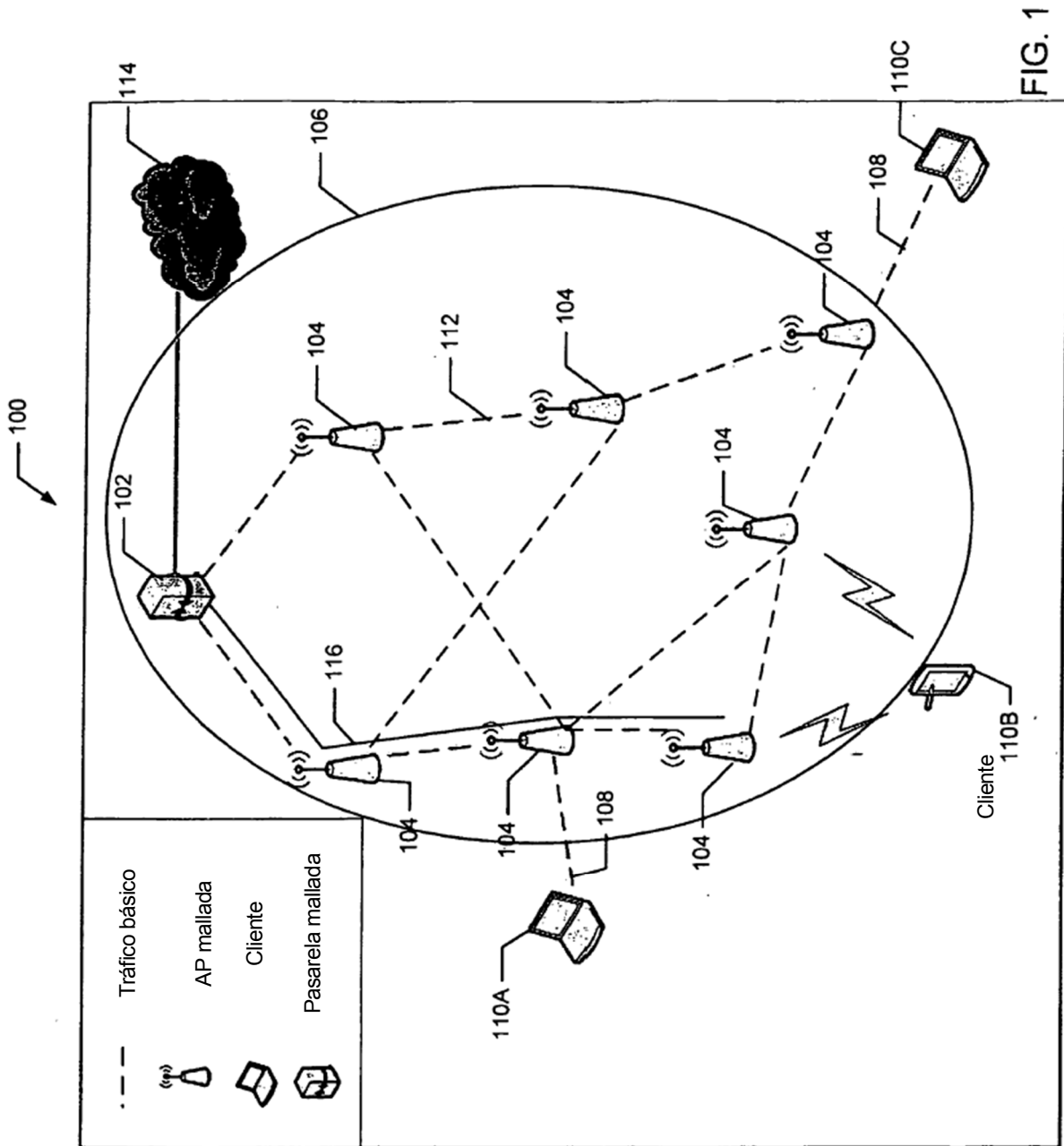


FIG. 1

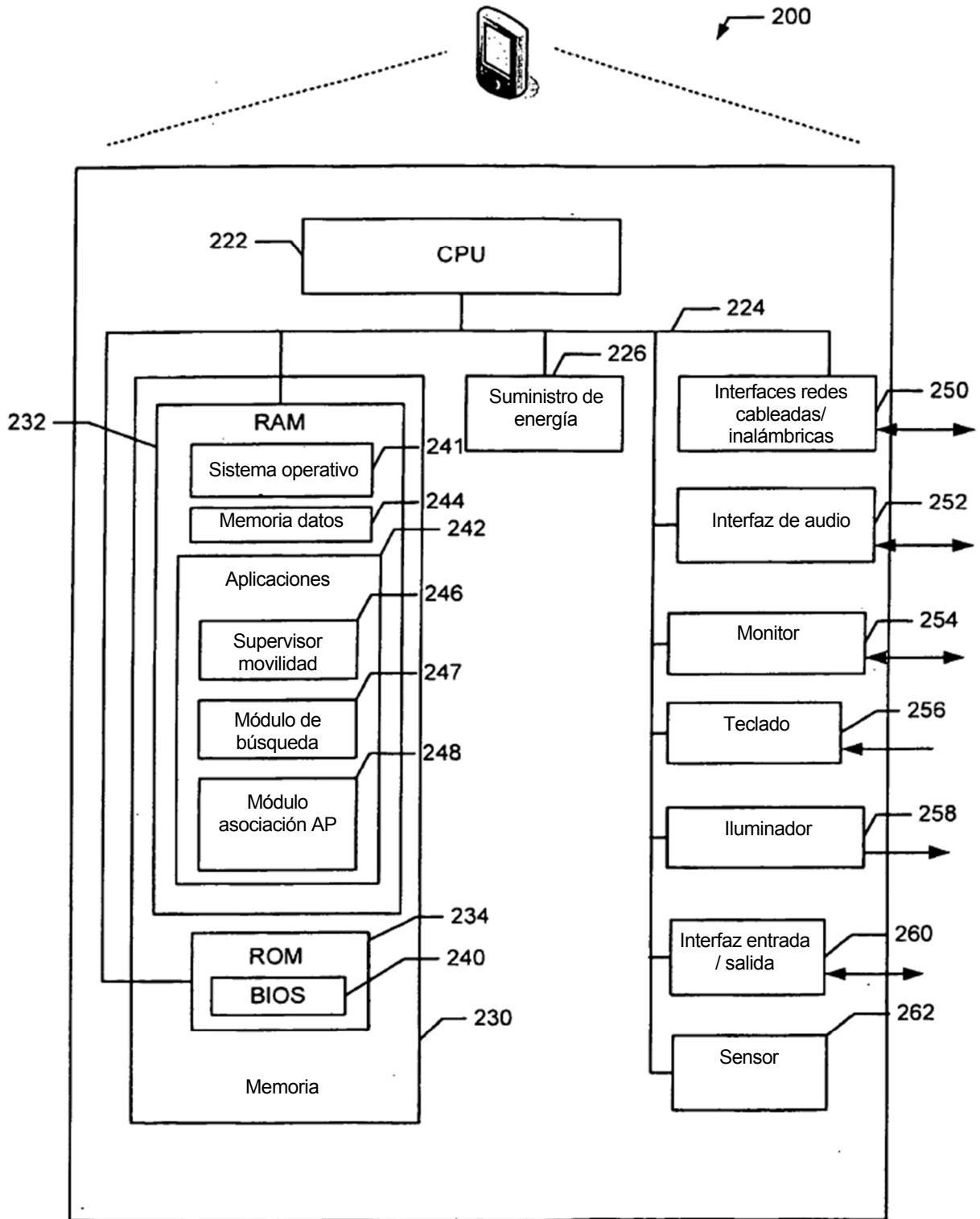


FIG. 2A

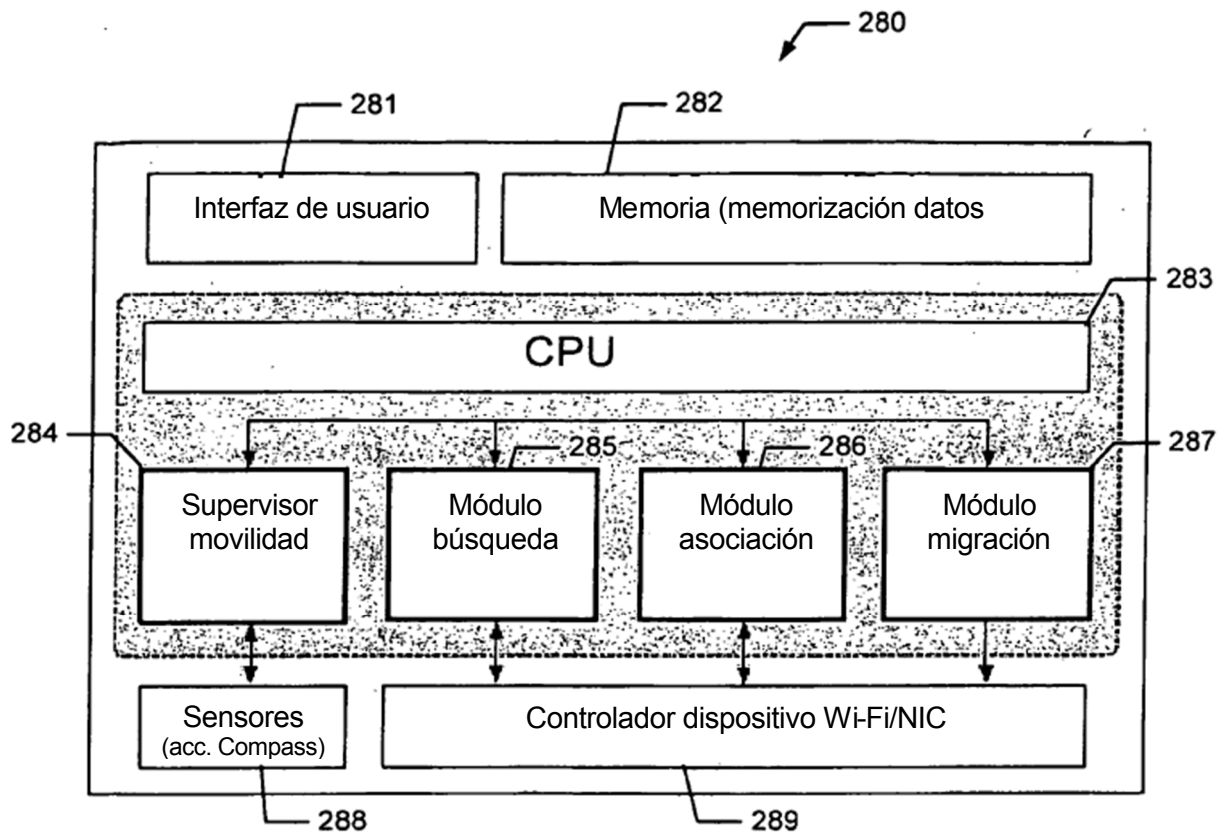


FIG. 2B

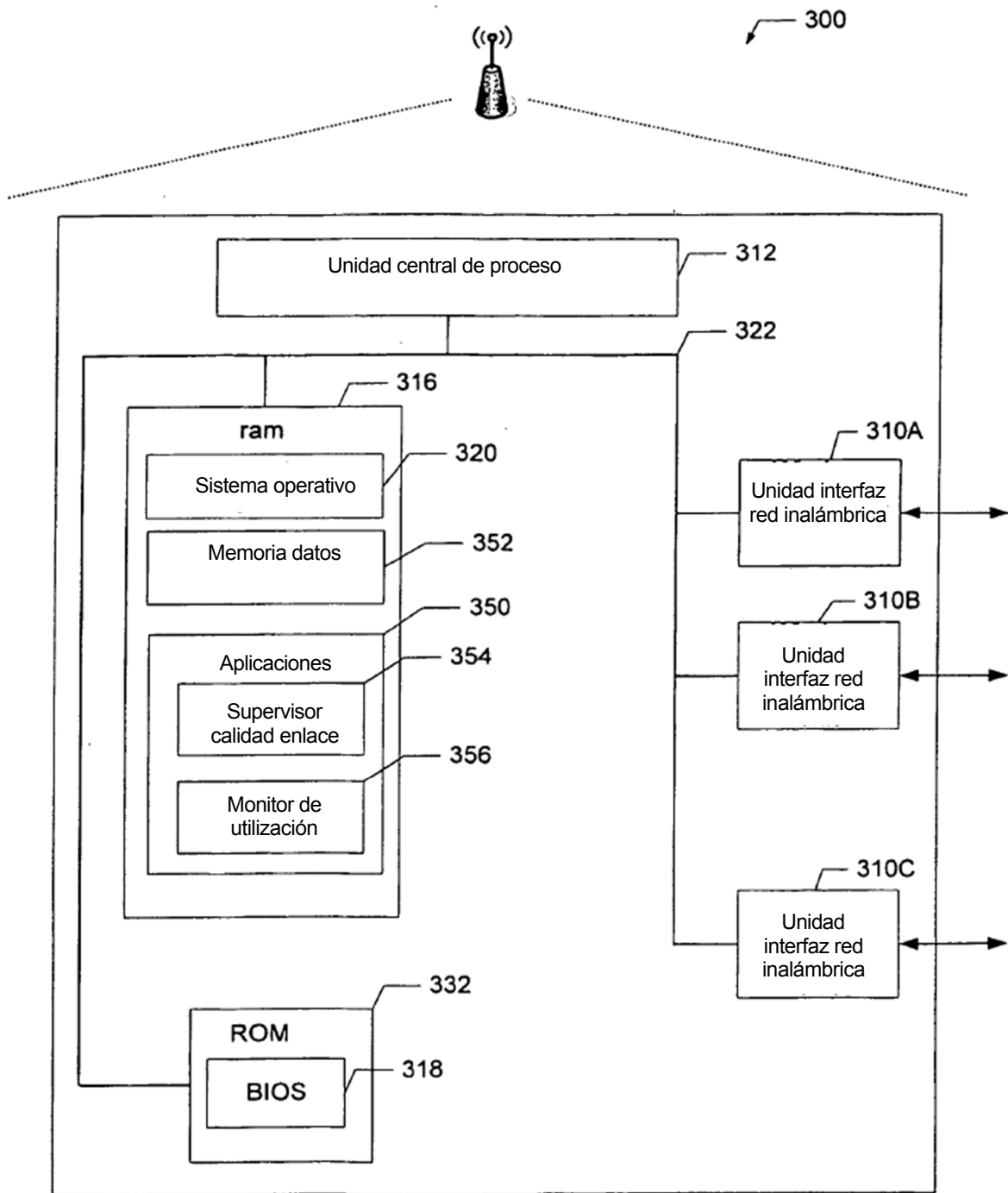


FIG. 3

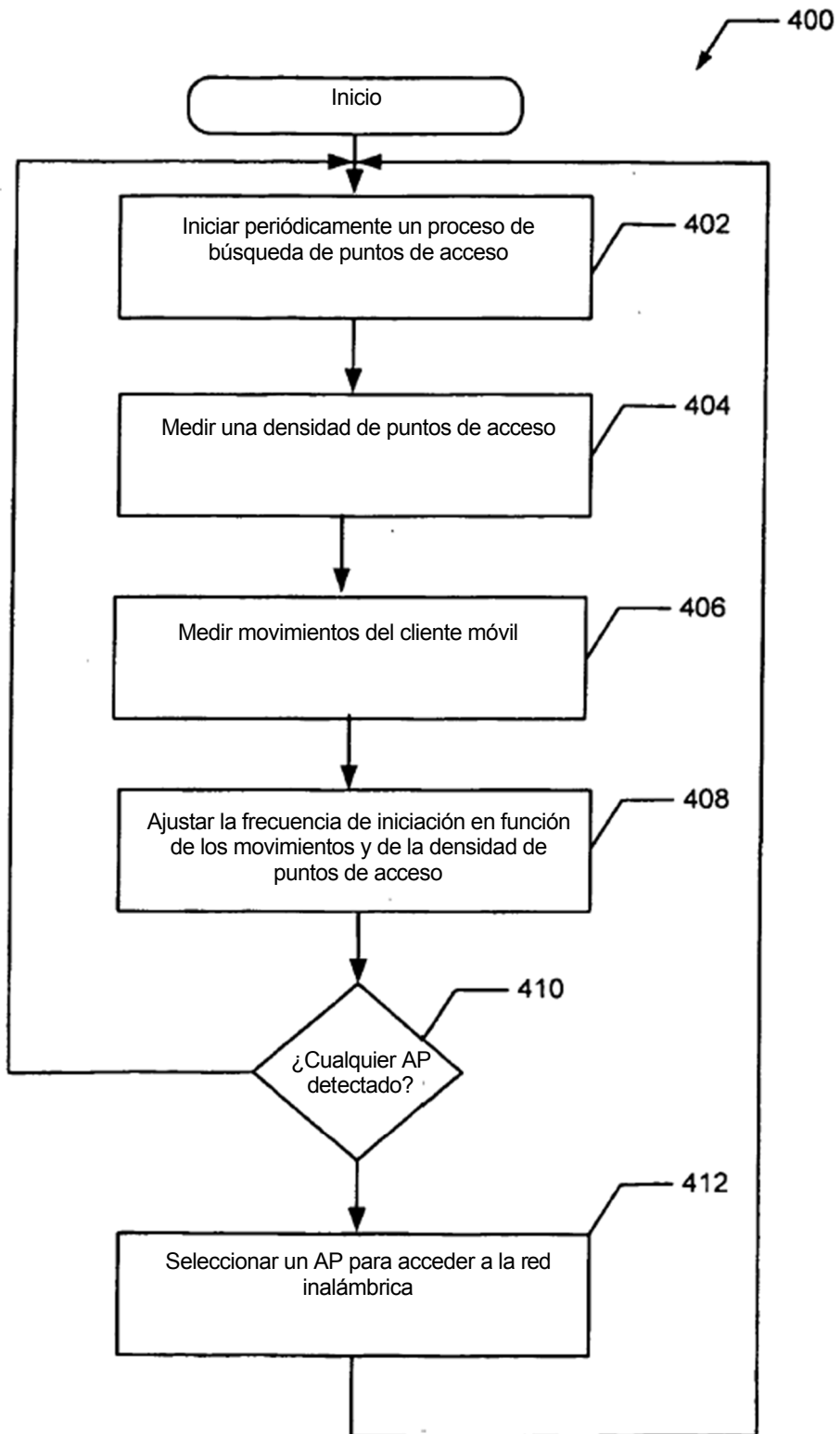


FIG. 4A

---

**DETECCIÓN DURANTE DESCONEXIÓN**


---

(1) Etapa estimación movimiento ( $T_m$ )

- 1: Activar el acelerómetro durante 1 segundo y estimar actividad usuario
- 2: Actualizar la distancia recorrida ( $\hat{d}$ ) usando Ecuación (4)

(2) Etapa decisión búsqueda ( $T_d$ )

- 3: **if** ( $\hat{d} > d_{th}$ ) **then** //  $d_{th}$  se calcula usando Ecuación (5)
- 4: Realizar búsqueda Wi-Fi
- 5:  $\Omega \leftarrow$  establecimiento de APs detectado por búsqueda
- 6: Reajustar la distancia:  $\hat{d} \leftarrow 0$
- 7: **end if**

(3) Etapa de asociación (o Actualización) ( $T_a$ )

- 8: Actualizar el número medio de APs  $E[n_{ap}]$  usando el EWMA y actualizar  $d_{th}$
  - 9: **if**  $|\Omega| \neq 0$  **then**
  - 10: **for each** AP  $i \in \Omega$  **do**
  - 11: Calcular el ancho de banda extremo a extremo
  - 12: **end for**
  - 13: Asociar con AP que proporciona el más alto ancho de banda extremo a extremo
  - 14: **else**
  - 15: Ir a (1)
  - 16: **end if**
- 

FIG. 4B

---

DETECCIÓN DURANTE CONEXIÓN

---

(1) Procedimiento control migración

```

1: if  $RSS < RSS_{thr}$  then
2:   if  $\text{rnd}() < P_{scan}$  then
3:     Realizar búsqueda AP
4:     Actualizar densidad AP usando EWMV
5:     if  $|\Omega| > 0$  then
6:       Estimar el ancho de banda extremo a extremo para salto de tres APs
7:       Asociar con el mejor AP
8:     else
9:       Entrada a modo de conexión (Algoritmo 1)
10:    end if
11:  end if
12: end if

```

(2) Procedimiento adaptación umbral

```

13: Reajustar el umbral  $RSS_{thr} \leftarrow RSS_{base} +$  densidad AP media
14: for each periodo de estimación del movimiento do
15:   Estimar movimiento usuario basado en lectura acelerómetro
16:   if existe movimiento(s) then
17:     Actualizar la distancia de recorrido estimada  $\hat{d}$ 
18:      $P_{scan} = 0.1 + \min \{ \lfloor \frac{\hat{d}}{a_{unit}} \rfloor \times \Delta, 0.9 \}$ 
19:   end if
20: end for

```

---

FIG. 4C

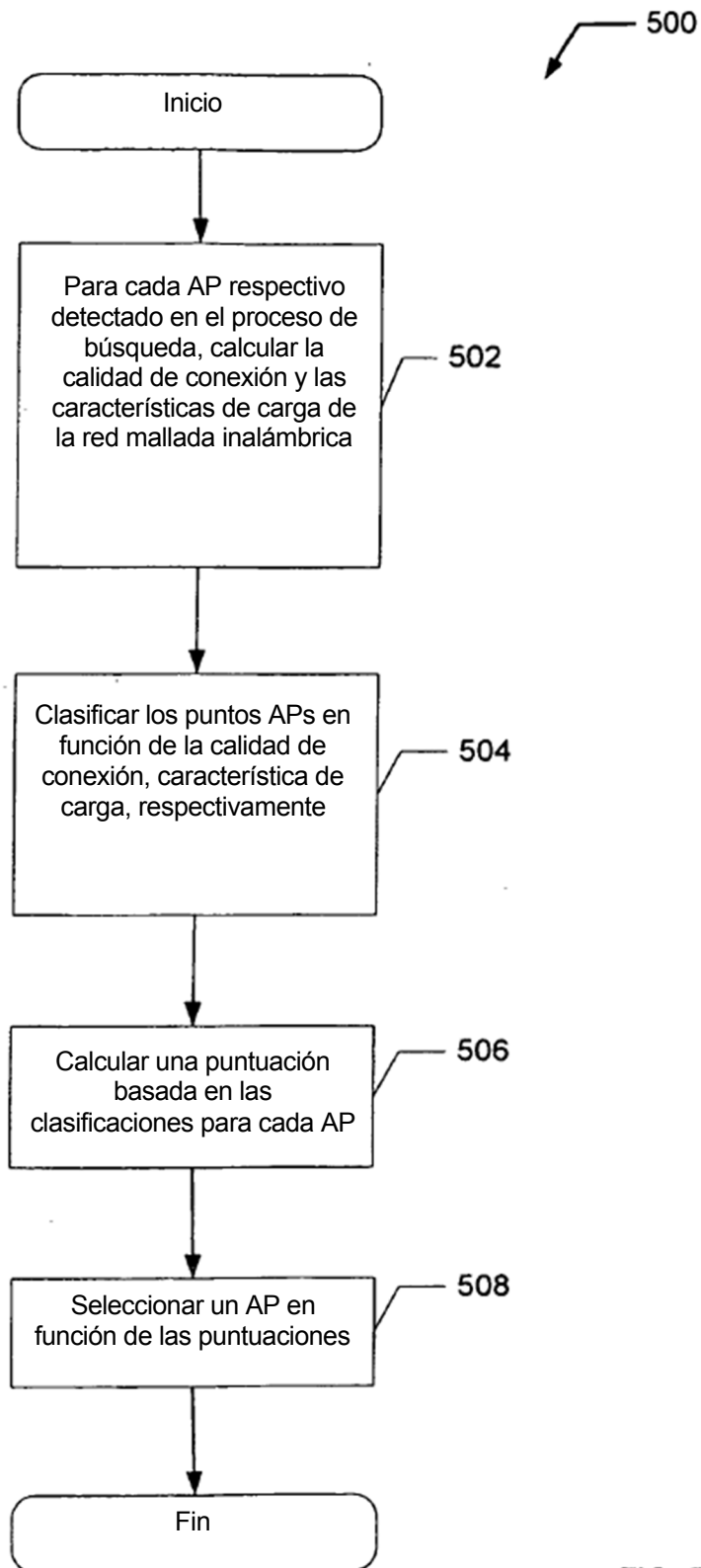


FIG. 5A



## Selección de puntos de acceso

---

```

AP ← ap_scan()
FOR EACH ap ∈ AP
    RankAP = get_ap_info(ap)
    Rankpath = get_path_info(ap)
    Rankload = get_load_info(ap)
    APscore = ω1 × (RankAP + Rankpath) + ω2 × Rankload
END FOR
Asociar con ap con mejor APscore

Función get_ap_info(ap)
    μ ← Utilización canal
    C ← Capacidad
    Reenviar (1 - μ) × C

Función get_path_info(ap)
    Reenviar ETXpath

Función get_load_info(ap)
    FOR EACH nodo a lo largo de ruta P desde ap a pasarela
        Reenviar nodo con utilización máxima
    END FOR

```

---

FIG. 5B

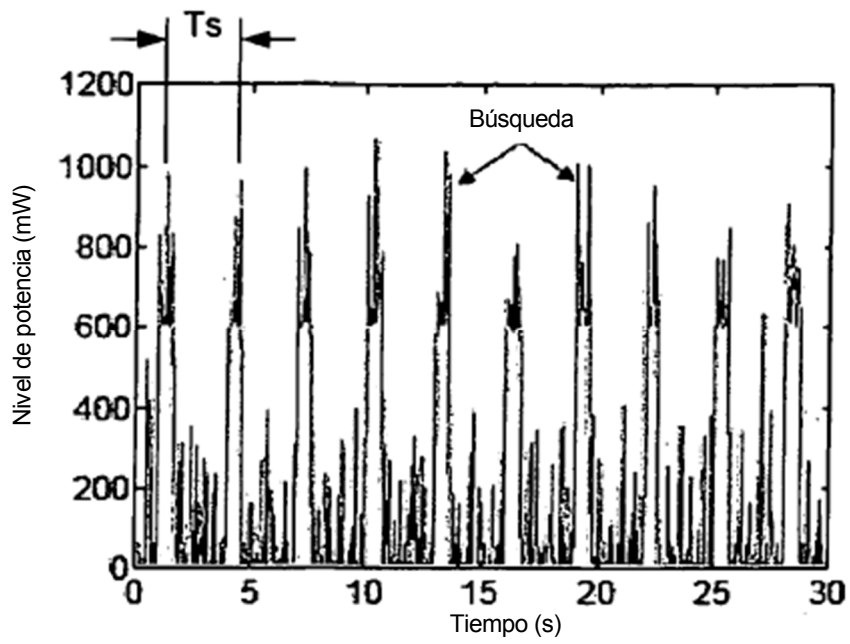


FIG. 6

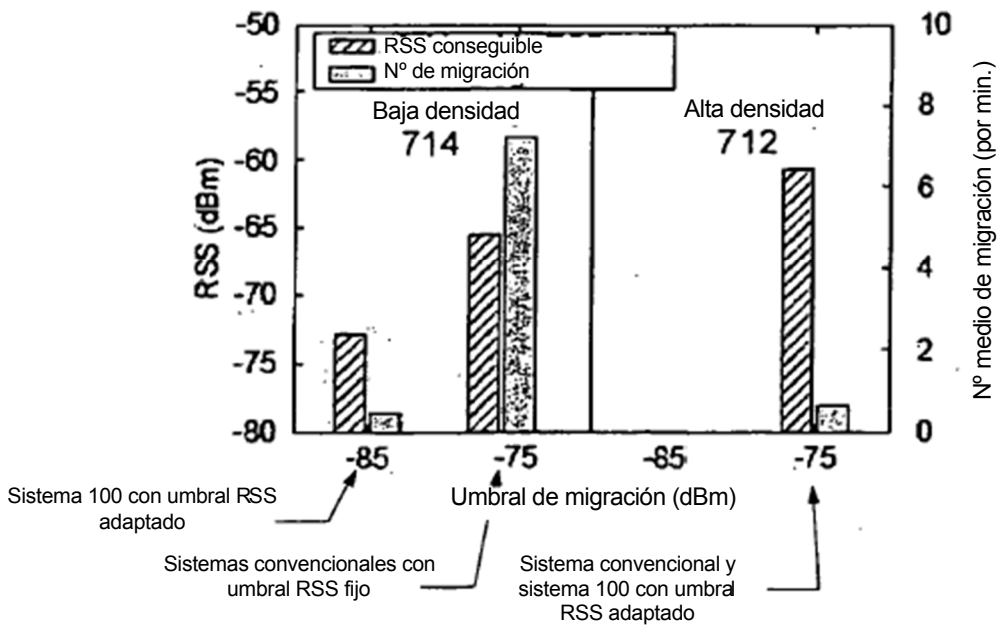


FIG. 7

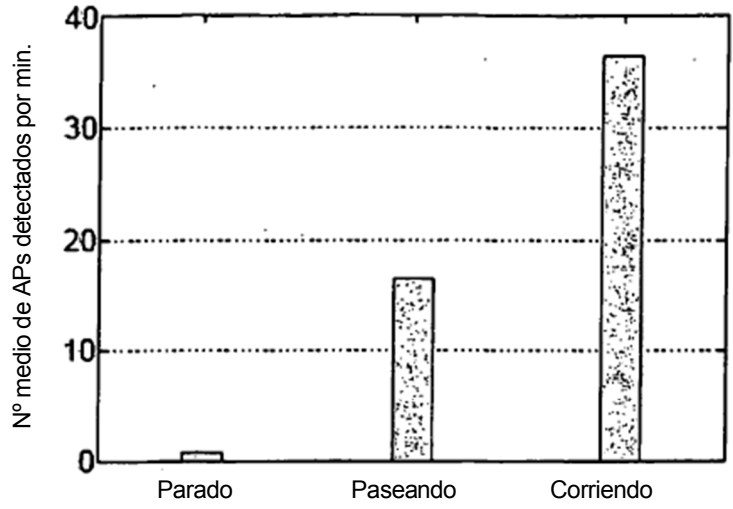


FIG. 8A

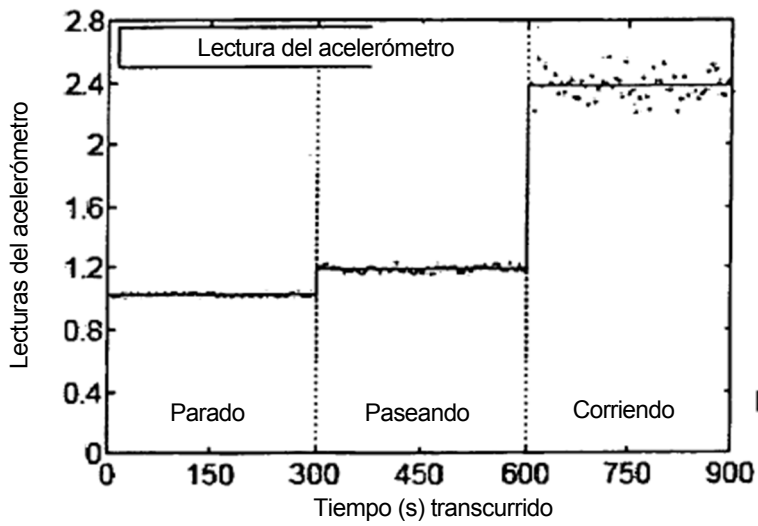


FIG. 8B

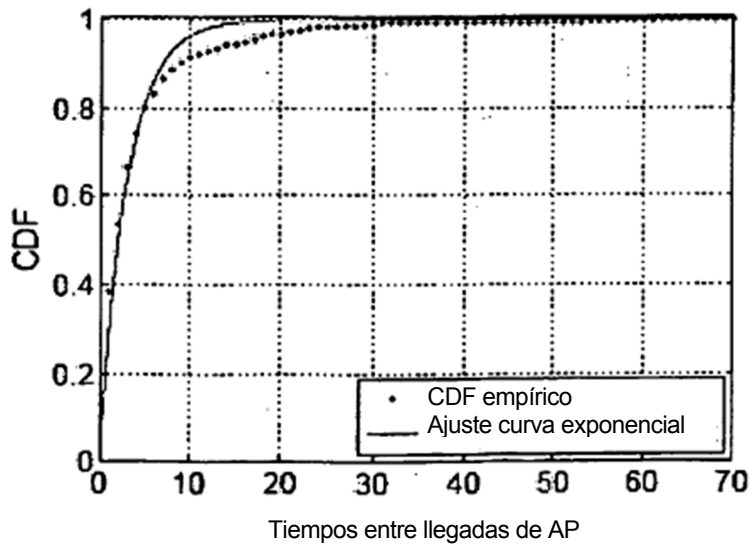


FIG. 8C

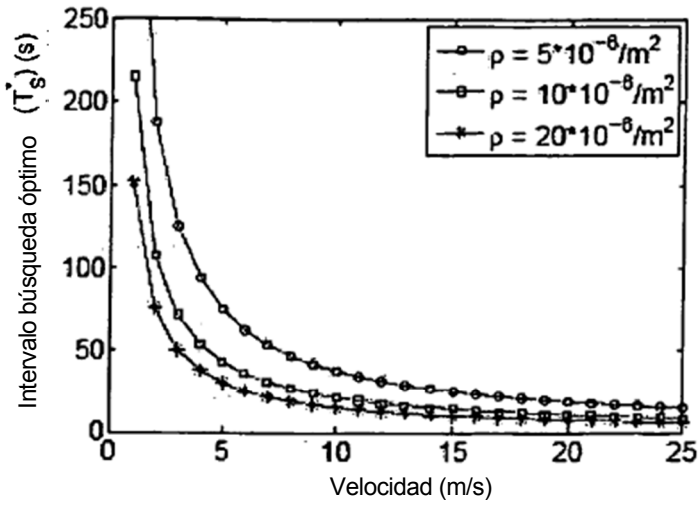


FIG. 9A

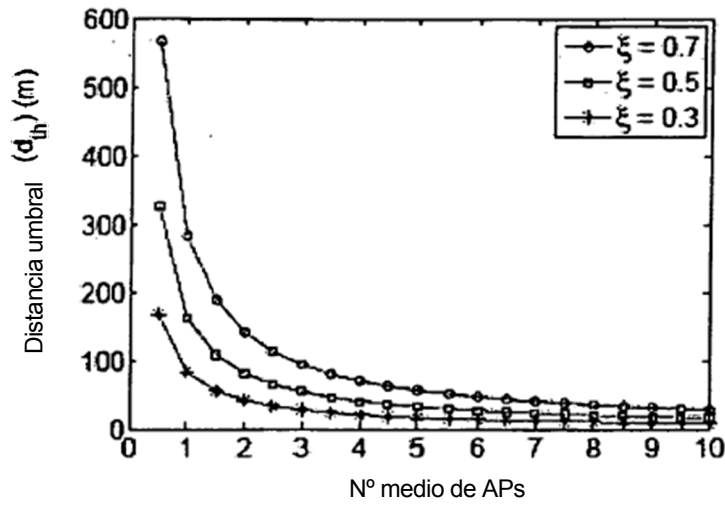


FIG. 9B

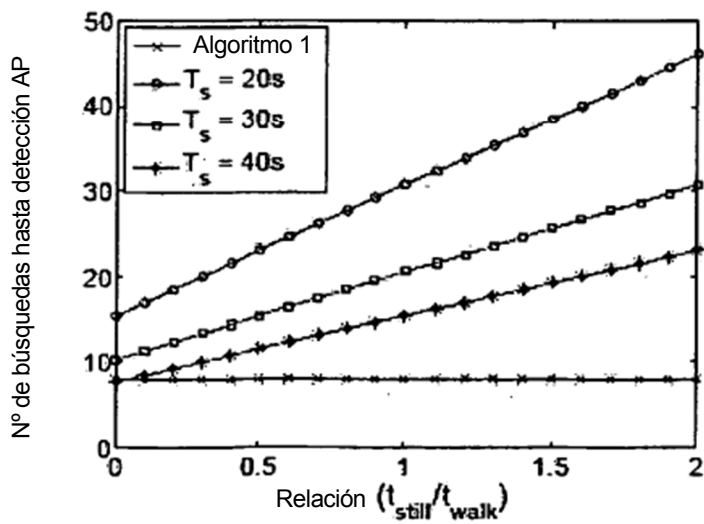
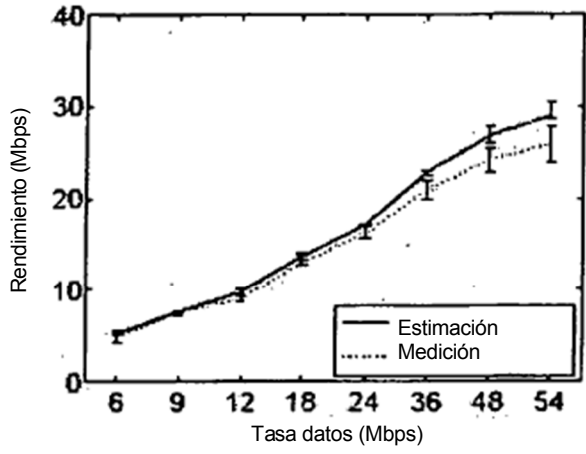
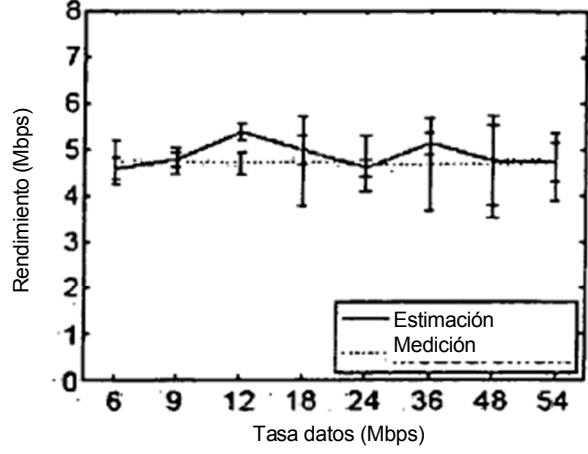


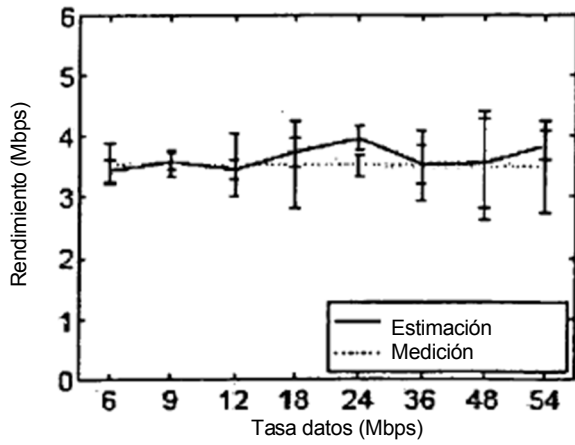
FIG. 9C



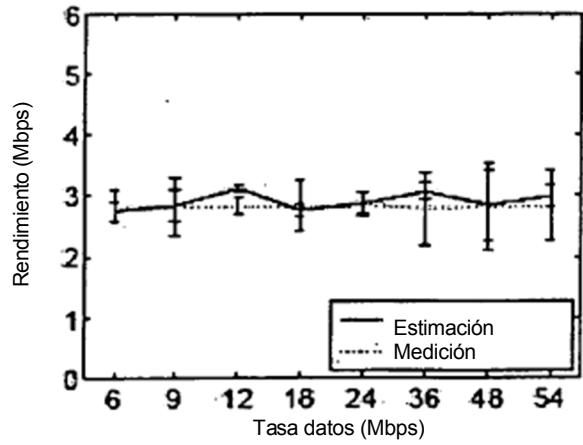
(b) 1 salto



(a) 2 saltos



(d) 3 saltos



(c) 4 saltos

FIG. 10

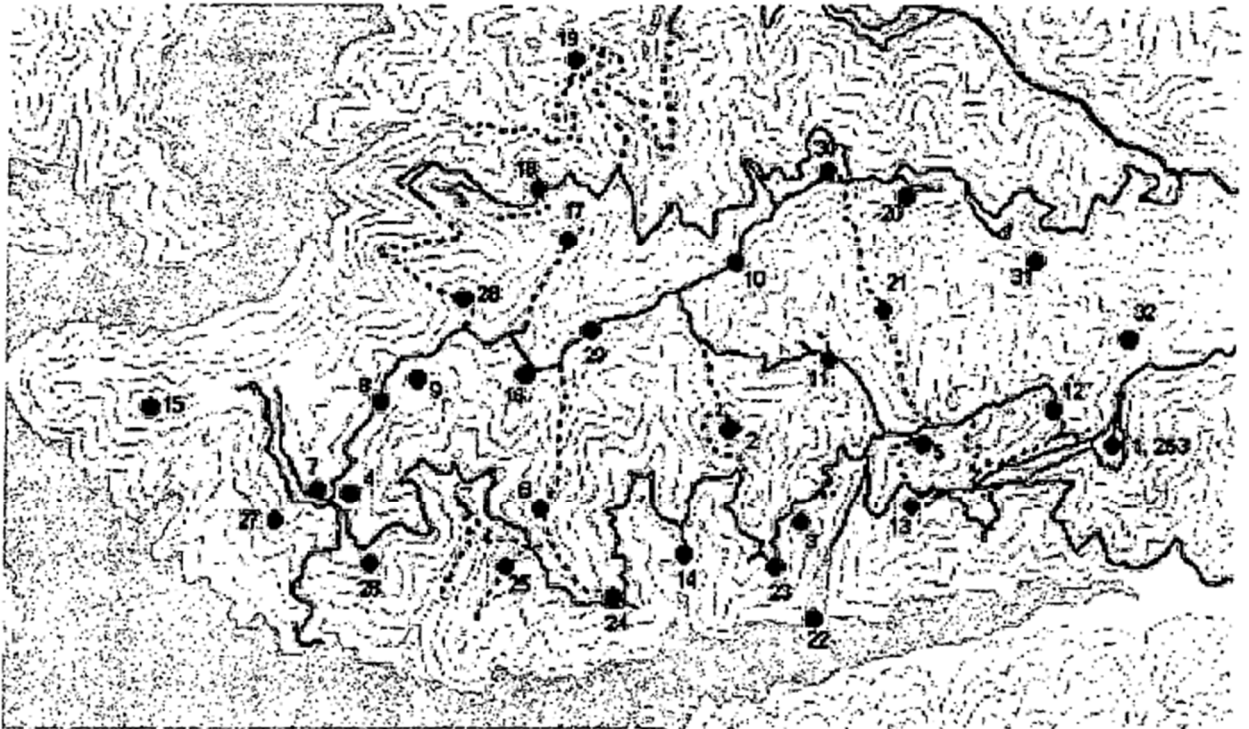
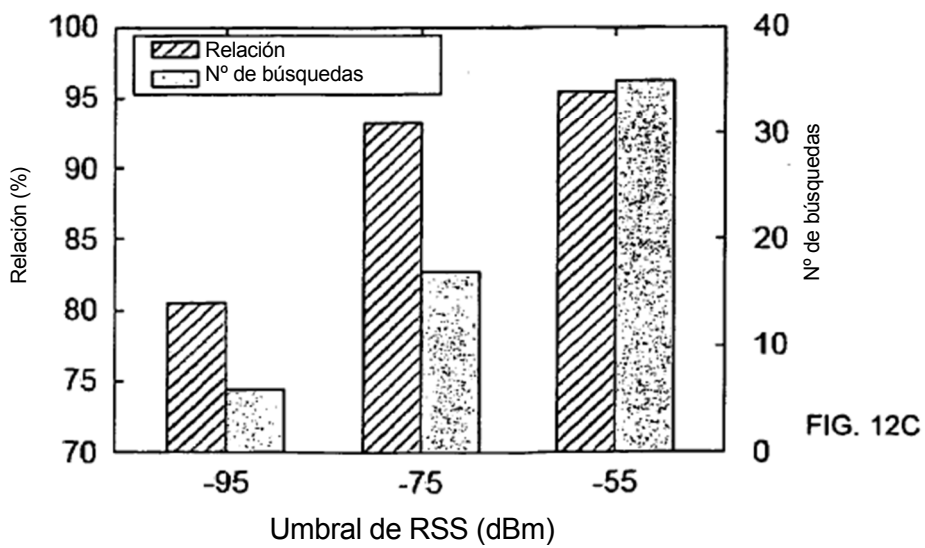
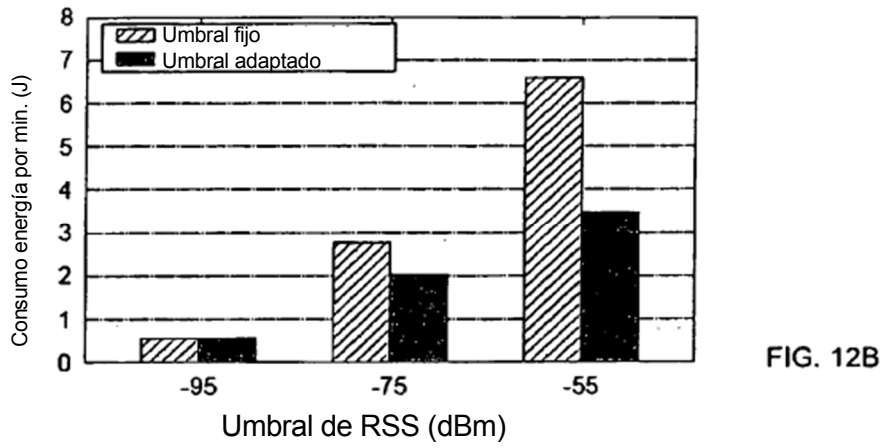
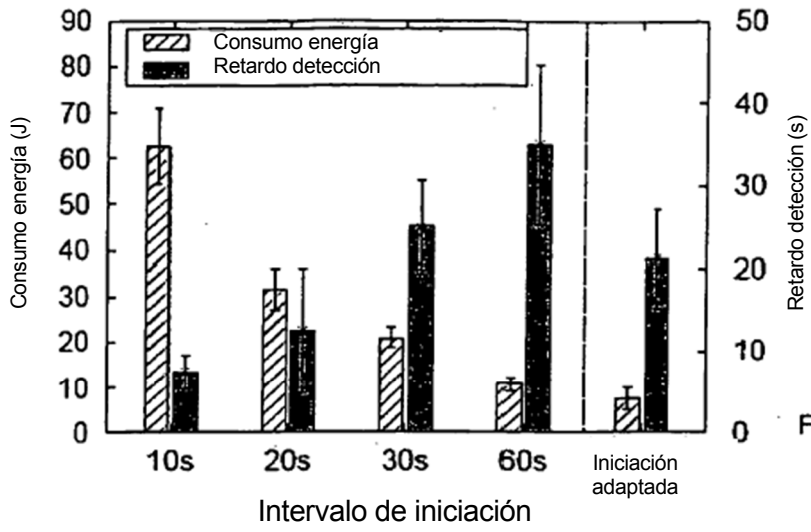
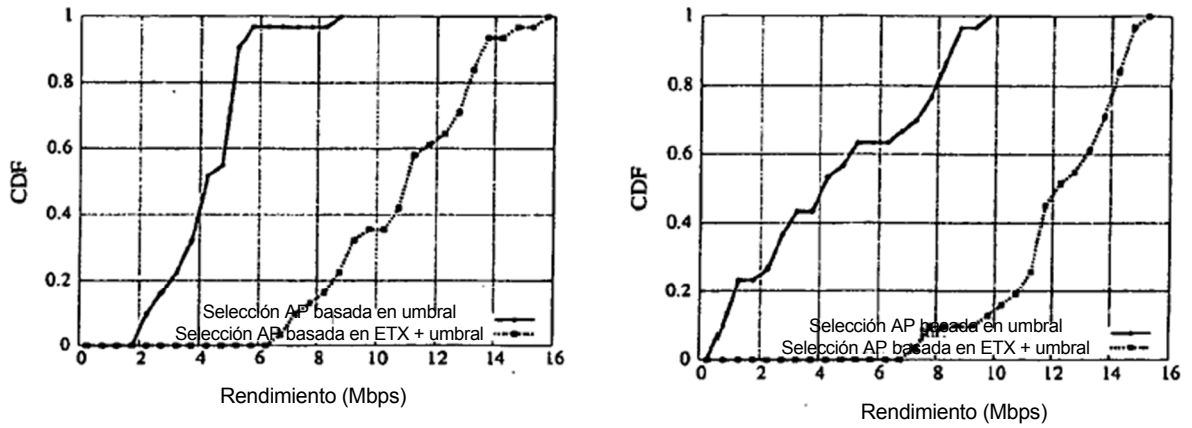
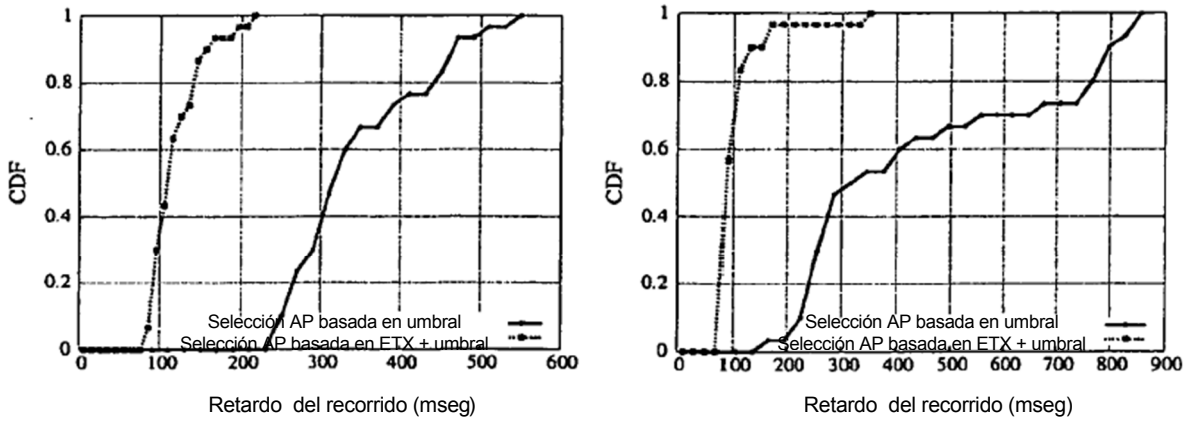


FIG. 11



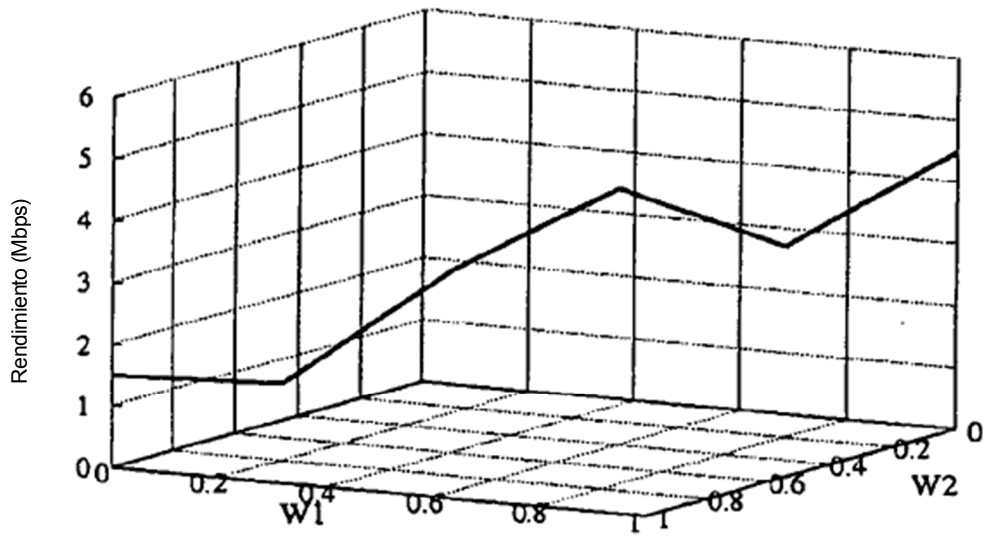


**Fig. 13**



**Fig. 14**





**Fig. 15**

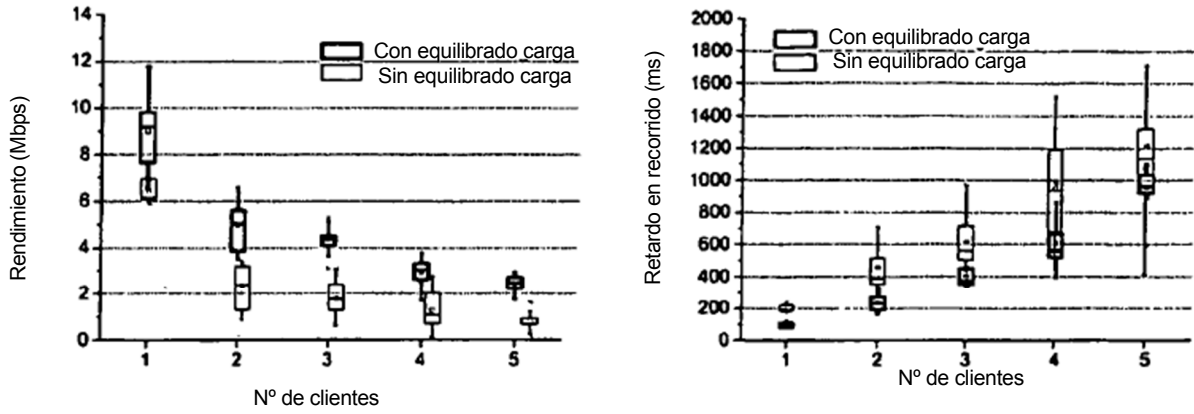


Fig. 16

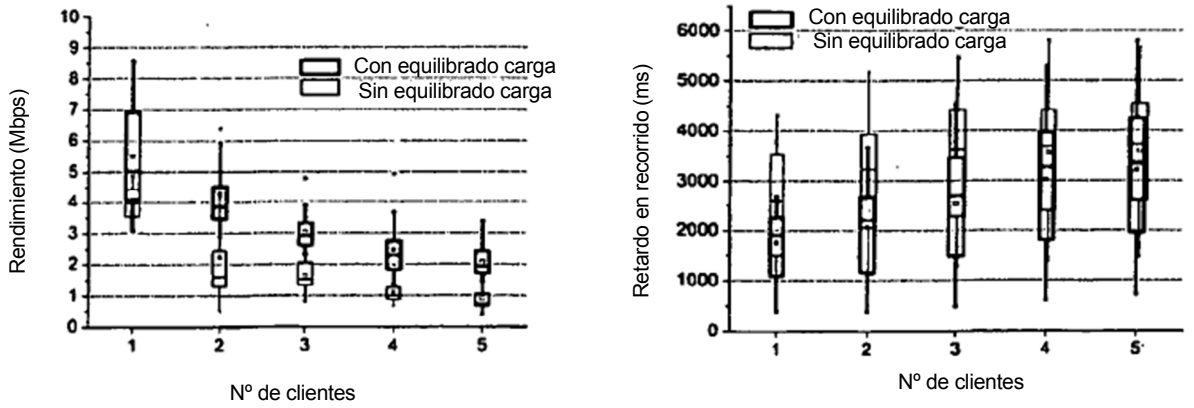
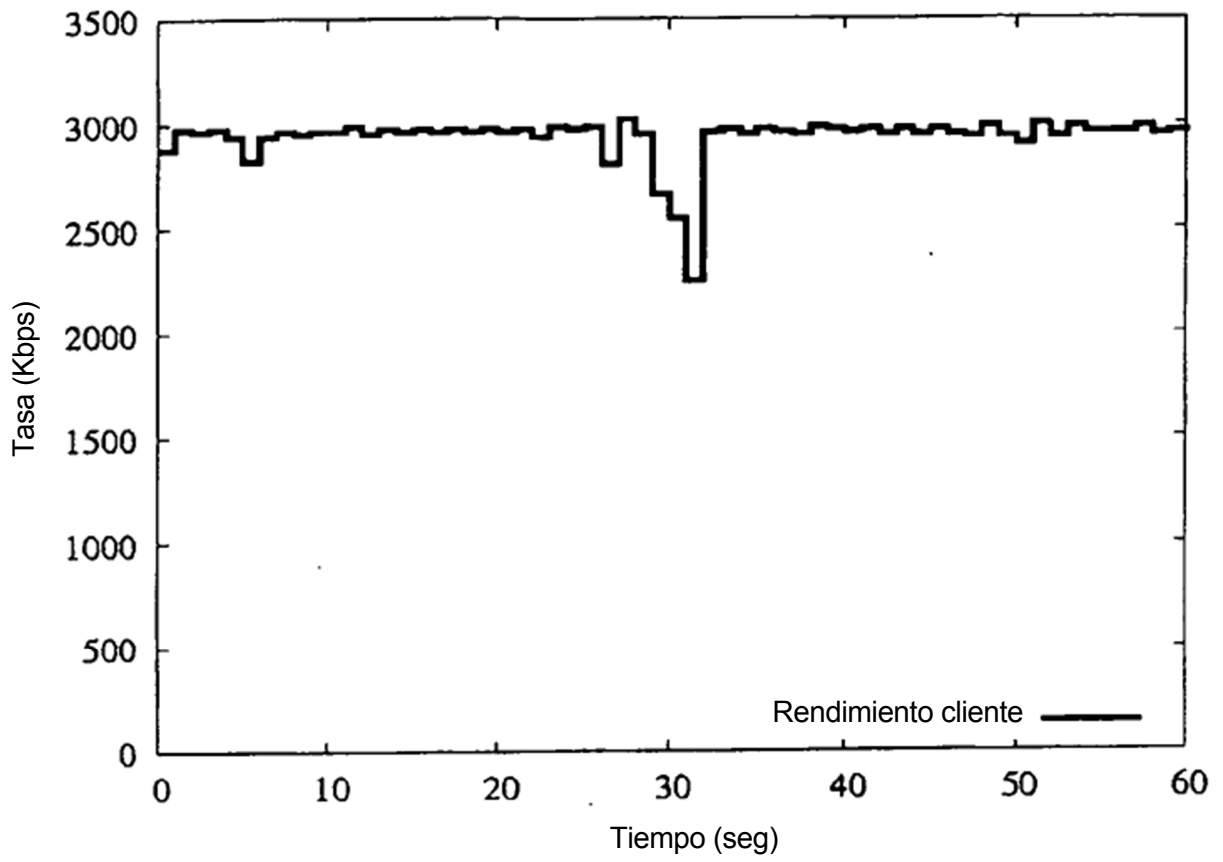


Fig. 17



**Fig. 18**