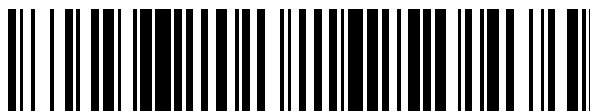


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 578 024**

51 Int. Cl.:

H04W 16/10 (2009.01)

H04W 48/08 (2009.01)

H04W 48/16 (2009.01)

H04W 72/04 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.03.2010 E 10712214 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.04.2016 EP 2409504**

54 Título: **Reparto de recursos adaptativo en una red de comunicación inalámbrica**

30 Prioridad:

19.03.2009 US 161646 P

16.03.2010 US 725117

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

20.07.2016

73 Titular/es:

**QUALCOMM INCORPORATED (100.0%)
Attn: International IP Administration, 5775
Morehouse Drive
San Diego, California 92121, US**

72 Inventor/es:

**BORRAN, JABER, MOHAMMAD y
KHANDEKAR, AAMOD, D.**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 578 024 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

Reparto de recursos adaptativo en una red de comunicación inalámbrica

5 ANTECEDENTES

I. Campo

10 La presente divulgación se refiere en general a comunicación y, más específicamente, a técnicas para soportar una comunicación inalámbrica.

II. Antecedentes

15 Las redes de comunicación inalámbrica están ampliamente implantadas para proporcionar diversos contenidos de comunicación, tales como voz, vídeo, datos en paquetes, mensajería, radiodifusión etc. Estas redes inalámbricas pueden ser redes de acceso múltiple que pueden dar soporte a múltiples usuarios compartiendo los recursos de red disponibles. Ejemplos de tales redes de acceso múltiple incluyen redes de acceso múltiple por división de código (CDMA), redes de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), redes de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), redes de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) y redes FDMA de única portadora (SC-FDMA).

20 Una red de comunicación inalámbrica puede incluir varias estaciones base que pueden soportar una comunicación para varios equipos de usuario (UE). Un UE puede comunicarse con una estación base a través del enlace descendente y el enlace ascendente. El enlace descendente (o enlace directo) se refiere al enlace de comunicación desde la estación base hasta el UE, y el enlace ascendente (o enlace inverso) se refiere al enlace de comunicación desde el UE hasta la estación base.

25 Una estación base puede transmitir datos en el enlace descendente a un UE y/o puede recibir datos en el enlace ascendente desde el UE. En el enlace descendente, una transmisión procedente de la estación base puede observar interferencias debido a las transmisiones desde las estaciones base vecinas. En el enlace ascendente, una transmisión desde el UE puede constatar interferencias debido a las transmisiones desde otros UE que se comunican con las estaciones base vecinas. Tanto para el enlace descendente como para el enlace ascendente, las interferencias debidas a estaciones base interferentes y a UE interferentes pueden degradar el rendimiento. Puede ser deseable reducir las interferencias para mejorar el rendimiento.

30 El documento US 5 455 821 A describe un procedimiento para asignar recursos de comunicación en un sistema de comunicación que incluye recuperar del sistema de comunicación una asignación de recursos del sistema de comunicación. Un parámetro de asignación se ajusta a un valor inicial y los recursos de comunicación se seleccionan aleatoriamente de las celdas. Un recurso de comunicación candidato se intercambia o muta para el recurso de comunicación seleccionado y el rendimiento del sistema se evalúa con el recurso de comunicación candidato. Si el rendimiento del sistema se mejora, el recurso candidato se conserva como pago de la asignación.

35 El documento EP 1 042 935 A1 describe la estimación de la interferencia de enlace descendente en frecuencias asignadas de enlace ascendente altamente interferidas y frecuencias candidatas correspondientes para la reasignación. Después, las estimaciones se utilizan para limitar el número de frecuencias candidatas y frecuencias altamente interferidas a considerar para la reasignación.

40 El documento EP 1 257 092 A1 describe una adición al algoritmo de selección de frecuencia dinámica (DTS) usado en LAN inalámbricas de tal manera que dos AP pueden decidir intercambiar los canales en lugar de un AP que conmuta a otro canal. Para evitar el problema de la selección de canal subóptima, un AP solicitante envía peticiones de intercambio a otros AP para detectar la voluntad de otros AP de intercambiar canales con el AP solicitante.

RESUMEN DE LA INVENCION

45 Según la presente invención, se proporcionan un procedimiento como se expone en la reivindicación 1, un aparato como el expuesto en las reivindicaciones 1, 3 y un producto de programa informático como se expone en la reivindicación 14. Realizaciones de la invención se reivindican en las reivindicaciones dependientes.

50 En el presente documento se describen técnicas para realizar el reparto de recursos adaptativo en una red inalámbrica. El reparto de recursos se refiere a un proceso para asignar recursos disponibles a los nodos. Un nodo puede ser una estación base, un relé o alguna otra entidad. Para el reparto de recursos adaptativo, los recursos disponibles pueden asignarse dinámicamente a los nodos de tal manera que pueda conseguirse un buen rendimiento.

65 En un diseño, el reparto de recursos adaptativo puede realizarse de manera distribuida por cada nodo en un conjunto de nodos. En un diseño, un nodo determinado en el conjunto de nodos puede computar métricas locales

para una pluralidad de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos para asignar recursos disponibles al conjunto de nodos. Cada acción posible puede estar asociada a un conjunto de perfiles de uso de recursos para el conjunto de nodos. Cada perfil de uso de recursos puede indicar el uso permitido de los recursos disponibles por un nodo particular, por ejemplo, una lista de niveles permitidos de densidad espectral de potencia de transmisión (PSD) para los recursos disponibles. El nodo puede enviar las métricas locales computadas a al menos un nodo vecino en el conjunto de nodos. El nodo también puede recibir métricas locales para la pluralidad de acciones posibles desde el al menos un nodo vecino. El nodo puede determinar métricas totales para la pluralidad de acciones posibles en base a las métricas locales computadas y las métricas locales recibidas. Después, el nodo puede determinar la asignación de los recursos disponibles al conjunto de nodos en base a las métricas totales para la pluralidad de acciones posibles. En un diseño, el nodo puede seleccionar una de las acciones posibles en base a las métricas totales para estas acciones posibles, por ejemplo, seleccionar la acción posible con la mejor métrica total. Después, el nodo puede utilizar los recursos disponibles en base a un perfil de uso de recursos asociado a la acción seleccionada y aplicable para el nodo. Por ejemplo, el nodo puede planificar la transmisión de datos para al menos un UE en los recursos disponibles en base al perfil de uso de recursos para el nodo.

También se describen en más detalle a continuación diversos aspectos y características de la divulgación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 muestra una red de comunicación inalámbrica.

La figura 2 muestra conjuntos activos ejemplares para los UE y conjuntos vecinos para los nodos.

La figura 3 muestra un proceso para realizar el reparto de recursos adaptativo.

La figura 4 muestra una red inalámbrica con reparto de recursos adaptativo.

La figura 5 muestra un proceso para soportar una comunicación.

La figura 6 muestra un aparato para soportar una comunicación.

La figura 7 muestra un proceso para realizar el reparto de recursos adaptativo.

La figura 8 muestra un proceso para la comunicación mediante un UE.

La figura 9 muestra un aparato para la comunicación mediante un UE.

La figura 10 muestra un diagrama de bloques de una estación base y un UE.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Las técnicas descritas en el presente documento pueden utilizarse en varias redes de comunicación inalámbrica, tales como CDMA, TDMA, FDMA, OFDMA, SC-FDMA y otras redes. Los términos "red" y "sistema" pueden intercambiarse frecuentemente. Una red CDMA puede implementar una tecnología de radio, tal como el Acceso Radioeléctrico Terrestre Universal (UTRA), cdma2000, etc. UTRA incluye CDMA de Banda Ancha (WCDMA) y otras variantes de CDMA. cdma2000 cubre las normas IS-2000, IS-95 e IS-856. Una red TDMA puede implementar una tecnología de radio tal como el Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM). Una red OFDMA puede implementar una tecnología de radio tal como UTRA Evolucionado (E-UTRA), Banda Ancha Ultra-móvil (UMB), IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (WiMAX), IEEE 802.20, Flash-OFDM®, etc. UTRA y E-UTRA son parte del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS). La Evolución a Largo Plazo (LTE) de 3GPP y LTE avanzada (LTE-A) son nuevas versiones de UMTS que usan E-UTRA, que utiliza OFDMA en el enlace descendente y SC-FDMA en el enlace ascendente. UTRA, E-UTRA, UMTS, LTE, LTE-A y GSM se describen en documentos de una organización llamada "Proyecto de Asociación de Tercera Generación" (3GPP). cdma2000 y UMB se describen en documentos de una organización llamada "Segundo Proyecto de Asociación de Tercera Generación" (3GPP2). Las técnicas descritas en el presente documento pueden usarse para las redes inalámbricas y tecnologías de radio que se han mencionado anteriormente, así como otras redes inalámbricas y tecnologías de radio.

La figura 1 muestra una red de comunicación inalámbrica 100, que puede incluir varias estaciones base 110 y otras entidades de red. Una estación base puede ser una entidad que comunica con los UE y también puede denominarse como un nodo, un Nodo B, un Nodo B evolucionado (eNB), un punto de acceso, etc. Cada estación base puede proporcionar cobertura de comunicación para un área geográfica particular. En 3 GPP, el término "celda" puede referirse a un área de cobertura de una estación base y/o un subsistema de estación base que da servicio a esta área de cobertura, dependiendo del contexto en el que se use el término. En 3GPP2, el término "sector" o "celda-sector" puede referirse a un área de cobertura de una estación base y/o un subsistema de estación base que da servicio a esta área de cobertura. Para mayor claridad, el concepto 3GPP de "celda" se usa en la descripción en el presente documento.

Una estación base puede proporcionar una cobertura de comunicación para una macrocelda, una picocelda, una femtocelda, y/o otros tipos de celda. Una macrocelda puede cubrir un área geográfica relativamente grande (por ejemplo, varios kilómetros de radio) y puede permitir un acceso sin restricciones por los UE con suscripción de servicio. Una picocelda puede cubrir un área geográfica relativamente pequeña y puede permitir un acceso sin restricciones por los UE con suscripción de servicio. Una femtocelda puede cubrir un área geográfica relativamente pequeña (por ejemplo, una casa) y puede permitir un acceso restringido por los UE que están asociados a la femtocelda (por ejemplo, UE en un grupo cerrado de abonados (CSG)). En el ejemplo mostrado en la figura 1, la red inalámbrica 100 incluye las macroestaciones bases 110a y 110b para macroceldas, las picoestaciones base 110c y 110e para picoceldas, y una femtoestación base/estación base doméstica 110d para una femtocelda.

La red inalámbrica 100 también puede incluir relés. Un relé puede ser una entidad que recibe una transmisión de datos de una entidad corriente arriba (por ejemplo, una estación base o un UE) y envía una transmisión de los datos a una entidad corriente abajo (por ejemplo, un UE o una estación base). Un relé también puede ser un UE que retransmite transmisiones para otros UE. Un relé también puede denominarse como un nodo, una estación, una estación de difusión, una estación base de difusión, etc.

La red inalámbrica 100 puede ser una red heterogénea que incluya estaciones base de diferentes tipos, por ejemplo macroestaciones base, picoestaciones base, femtoestaciones base, relés, etc. Estos tipos diferentes de estaciones base pueden tener diferentes niveles de potencia de transmisión, diferentes áreas de cobertura y diferentes efectos en las interferencias producidas en la red inalámbrica 100. Por ejemplo, las macroestaciones bases pueden tener un alto nivel de potencia de transmisión (por ejemplo, 20 vatios o 43 dBm), las picoestaciones base pueden tener un nivel de potencia de transmisión inferior (por ejemplo, 2 vatios o 33 dBm), y las femtoestaciones base pueden tener un nivel de potencia de transmisión inferior (por ejemplo, 0,2 vatios o 23 dBm). Los diferentes tipos de estaciones base pueden pertenecer a diferentes clases de potencia que tienen diferentes niveles de potencia máximos.

Un controlador de red 130 puede acoplarse a un conjunto de estaciones base y puede proporcionar coordinación y control para estas estaciones base. El controlador de red 130 puede comunicarse con estaciones base 110 a través de una red de retroceso. Las estaciones base 110 también pueden comunicarse entre sí a través de la red de retroceso.

Los UE 120 pueden dispersarse por toda la red inalámbrica 100, y cada UE puede ser fija o móvil. Un UE también puede denominarse como una estación, un terminal, una estación móvil, una unidad de abonado, etc. Un UE puede ser un teléfono celular, un asistente digital personal (PDA), un módem inalámbrico, un dispositivo de comunicaciones inalámbricas, un dispositivo manual, un ordenador portátil, un teléfono sin cables, una estación de bucle local inalámbrico (WLL), etc. Un UE puede ser capaz de comunicarse con estaciones base, relés, otros UE, etc.

Un UE puede estar localizado en la cobertura de una o más estaciones base. En un diseño, puede seleccionarse una única estación base para dar servicio al UE tanto en el enlace descendente como el enlace ascendente. En otro diseño, una estación base puede seleccionarse para dar servicio al UE en cada uno del enlace descendente y el enlace ascendente. Para ambos diseños, una estación base de servicio puede seleccionarse en base a uno o más criterios, tal como una geometría máxima, una pérdida de trayecto mínima, una eficiencia de energía/interferencia máxima, un rendimiento máximo del usuario, etc. La geometría se refiere a la calidad de señal recibida, que puede cuantificarse por una portadora sobre térmico (CoT), una relación señal-ruido (SNR), una relación señal-ruido-interferencia (SINR), una relación portadora-interferencia (C/I), etc. Maximizar la eficiencia energética/de interferencia puede implicar (i) minimizar una energía de transmisión requerida por bit o (ii) minimizar una energía de interferencia recibida por unidad de energía de señal útil recibida. La parte (ii) puede corresponder a la maximización de la relación de la ganancia del canal para un nodo previsto con respecto a una suma de las ganancias de canal para todos los nodos interferidos. La parte (ii) puede ser equivalente a la minimización de la pérdida de trayectoria para el enlace ascendente pero puede ser diferente para el enlace descendente. La maximización del rendimiento de uso puede tener en cuenta diversos factores, tales como la carga de una estación base (por ejemplo, el número de UE a los que se da servicio actualmente por la estación base), la cantidad de recursos asignados a la estación base, la capacidad de la red de retroceso disponible de la estación base, etc.

La red inalámbrica puede soportar un conjunto de recursos que pueden estar disponibles para la transmisión. Los recursos disponibles pueden definirse basándose en el tiempo, o la frecuencia, o tanto el tiempo como la frecuencia, o algunos otros criterios. Por ejemplo, los recursos disponibles pueden corresponder a diferentes sub-bandas de frecuencia, o diferentes entrelazados de tiempo, o diferentes bloques de tiempo-frecuencia, etc. Un entrelazado de tiempo puede incluir intervalos de tiempo separados uniformemente, por ejemplo, cada $S^{\text{ésimo}}$ intervalo de tiempo, donde S puede ser cualquier valor entero. Los recursos disponibles pueden definirse para toda la red inalámbrica.

Los recursos disponibles pueden usarse por las estaciones base en la red inalámbrica de diversas maneras. En un esquema, cada estación base puede usar todos los recursos disponibles para la transmisión. Este esquema puede dar como resultado algunas estaciones base que consiguen un buen rendimiento. Por ejemplo, la femtoestación base 110d en la figura 1 puede localizarse en la proximidad de las macroestaciones bases 110a y 110b, y las transmisiones de la femtoestación base 110d pueden observar una alta interferencia procedente de las

macroestaciones bases 110a y 110b. En otro esquema, los recursos disponibles pueden asignarse a estaciones base basadas en un reparto de recursos fijo. Después, cada estación base puede usar sus recursos asignados para la transmisión. Este esquema puede permitir que cada estación base consiga un buen rendimiento en sus recursos asignados. Sin embargo, algunas estaciones base pueden tener asignados más recursos de los requeridos mientras que algunas otras estaciones base pueden requerir más recursos de los asignados, lo que puede conducir a un rendimiento subóptimo para la red inalámbrica.

En un aspecto, el reparto de recursos adaptativo puede realizarse para asignar dinámicamente los recursos disponibles a los nodos de manera que pueda conseguirse un buen rendimiento. El reparto de recursos también puede denominarse como asignación de recursos, coordinación de recursos, etc. Para reparto de recursos adaptativo en el enlace descendente, los recursos disponibles pueden asignarse a los nodos asignando a cada nodo una lista de niveles PSD de transmisión que puede usarse por ese nodo en los recursos disponibles. El reparto de recursos adaptativo puede realizarse de manera que se maximice una función de utilidad. El reparto de recursos adaptativo contrasta con el reparto de recursos fijo o estático, que puede asignar un subconjunto fijo de los recursos disponibles a cada nodo.

En un diseño, el reparto de recursos adaptativo puede realizarse de manera centralizada. En este diseño, una entidad designada puede recibir la información pertinente para los UE y los nodos, computar métricas para el reparto de recursos, y seleccionar el mejor reparto de recursos en base a las métricas computadas. En otro diseño, el reparto de recursos adaptativo puede realizarse de manera distribuida por un conjunto de nodos. En este diseño, cada nodo puede computar ciertas métricas y puede intercambiar métricas con los nodos vecinos. La computación y el intercambio de métricas pueden realizarse durante una o más rondas. Después, cada nodo puede determinar y seleccionar el reparto de recursos que puede proporcionar el mejor rendimiento.

La Tabla 1 enumera un conjunto de componentes que pueden usarse para el reparto de recursos adaptativo.

Tabla 1

Componente	Descripción
Conjunto Activo	Un conjunto de nodos mantenidos para un UE determinado t y representado como $AS(t)$.
Conjunto Vecino	Un conjunto de nodos mantenidos para un nodo determinado p y representado como $NS(p)$.
Recursos	Recursos de tiempo y/o frecuencia que pueden asignarse a los nodos.
Niveles PSD de Transmisión	Un conjunto de niveles PSD de transmisión que puede usarse para cualquier recurso determinado por un nodo.
Función de Utilidad	Una función usada para cuantificar el rendimiento del reparto de diferentes recursos posibles.

En un diseño, puede mantenerse un conjunto activo para cada UE y puede determinarse en base a mediciones piloto hechas por el UE y/o mediciones piloto hechas por los nodos. Un conjunto activo para un UE determinado t puede incluir nodos que (i) tienen una contribución no despreciable para la señal o interferencia observada por el UE t en el enlace descendente y/o (ii) reciben una señal o interferencia no despreciable del UE t en el enlace ascendente. Un conjunto activo también puede denominarse como un conjunto de gestión de interferencias, un conjunto candidato, etc.

En un diseño, un conjunto activo para el UE t puede definirse en base a CoT, como se indica a continuación:

$$AS(t) = \left\{ q \mid \frac{P(q) \cdot G(q, t)}{N_0} > CoT_{\min} \right\}, \quad Ec(1)$$

donde $P(q)$ es una PSD de transmisión de un piloto del nodo q ,
 $G(q, t)$ es una ganancia de canal entre el nodo q y el UE t ,
 N_0 es una interferencia ambiental y el ruido térmico observado por el UE t , y
 CoT_{\min} es un umbral CoT para seleccionar nodos para incluir en el sitio activo.

La ecuación (1) indica que un nodo determinado q puede incluirse en el conjunto activo del UE t si la CoT del nodo q es mayor que CoT_{\min} . La CoT del nodo q puede determinarse en base a la PSD de transmisión del piloto del nodo q , la ganancia de canal entre el nodo q y el UE t , y N_0 . El piloto puede ser un preámbulo de reutilización baja (LRP) o una señal de referencia de posicionamiento, que puede transmitirse en recursos con baja reutilización y, por lo tanto, pueden detectarse lejos. El piloto también puede ser algún otro tipo de señal piloto o de referencia.

El conjunto activo del UE t también puede definirse de otras maneras. Por ejemplo, los nodos pueden seleccionarse en base a la intensidad de señal recibida y/o otros criterios en lugar de, o además de, la calidad de señal recibida. El conjunto activo puede limitarse con el fin de reducir la complejidad de la computación para el reparto de recursos adaptativo. En un diseño, el conjunto activo puede limitarse a N nodos, donde N puede ser cualquier valor adecuado. Después, el conjunto activo puede incluir hasta N nodos más fuertes con una CoT que excede CoT_{min} .

En un diseño, un conjunto vecino puede mantenerse para cada nodo y puede incluir nodos que participan en el reparto de recursos adaptativo. Un conjunto vecino para un nodo determinado p puede incluir nodos vecinos que (i) afectan a los UE a los que se da servicios por el nodo p o (ii) tienen UE que pueden verse afectados por el nodo p . En un diseño, el conjunto vecino para el nodo p puede definirse como se indica a continuación:

$$NS(p) = \{q \mid (\exists t \ni p = S(t) \ \& \ q \in AS(t)) \mid (\exists t \ni q = S(t) \ \& \ p \in AS(t))\}, \quad Ec (2)$$

donde $S(t)$ es un nodo de servicio para el UE t .

La ecuación (2) indica que un nodo determinado q puede incluirse en el conjunto vecino del nodo p si (i) el nodo q está en un conjunto activo de un UE que obtiene servicio por el nodo p o (ii) el nodo q es un nodo de servicio para un UE que tiene el nodo p en su conjunto activo. El conjunto vecino para cada nodo puede definirse, por lo tanto, en base a los conjuntos activos de UE y sus nodos de servicio. El conjunto vecino también puede definirse de otras maneras. Cada nodo puede ser capaz de determinar sus nodos vecinos basándose en los conjuntos activos de UE que obtienen servicio por ese nodo, así como la información de los nodos vecinos. El conjunto vecino puede limitarse con el fin de reducir la complejidad de la computación para el reparto de recursos adaptativo.

La figura 2 muestra conjuntos activos ejemplares para los UE y conjuntos vecinos ejemplares para los nodos en la figura 1. El conjunto activo para cada UE se muestra entre paréntesis junto al UE en la figura 2, estando subrayado el nodo de servicio/estación base. Por ejemplo, el conjunto activo para el UE1 es $\{M1, M2\}$, lo que significa que el conjunto activo incluye el nodo de servicio M1 y el nodo vecino M2. El conjunto vecino para cada nodo se muestra entre corchetes junto al nodo en la figura 2. Por ejemplo, el conjunto vecino para el nodo M1 es $[M2, P1, P2, F1]$ e incluye la macroestación base M2, las picoestaciones base P1 y P2, y la femtoestación base F1.

En un diseño, puede definirse un conjunto de niveles PSD de transmisión para cada nodo y puede incluir todos los niveles PSD de transmisión que pueden usarse por el nodo para cada recurso. Un nodo puede usar uno de los niveles PSD de transmisión para cada recurso en el enlace descendente. El uso de un recurso determinado puede definirse por el nivel PSD de transmisión seleccionado/permitido para ese recurso. En un diseño, el conjunto de niveles PSD de transmisión puede incluir un nivel PSD nominal, un nivel PSD baja, un nivel PSD nula, etc. El nivel PSD nominal en todos los recursos disponibles puede corresponder a la potencia de transmisión máxima del nodo. El conjunto de niveles PSD de transmisión para el nodo puede depender de la clase de potencia del nodo. En un diseño, el conjunto de niveles PSD de transmisión para una clase de potencia determinada puede ser la unión de los niveles PSD nominales de todas las clases de potencia menores de o iguales a esta clase de potencia, más el nivel PSD nula. Por ejemplo, un macronodo puede incluir un nivel PSD nominal de 43 dBm (para la clase de potencia macro), un nivel PSD baja de 33 dBm (correspondiente al nivel PSD nominal para la clase de potencia pico), y un nivel PSD nula. El conjunto de niveles PSD de transmisión para cada clase de potencia también puede definirse de otras maneras.

Puede usarse una función de utilidad para computar las métricas locales y las métricas totales para el reparto de recursos adaptativo. Las métricas locales y las métricas totales pueden usarse para cuantificar el rendimiento de un reparte de recursos determinado. Una métrica local para un nodo determinado p puede representarse como $U(p)$ y puede ser indicativa del rendimiento del nodo para un reparto de recursos determinado. Una métrica total para un conjunto de nodos, NS, puede representarse como $V(NS)$ y puede ser indicativa del rendimiento total del conjunto de nodos para un reparto de recursos determinado. Una métrica local también puede denominarse como una métrica de nodo, una utilidad loca, una utilidad de estación base, etc. Una métrica total también puede denominarse como utilidad total, utilidad de vecinos, etc. Una métrica total también puede computarse para toda la red inalámbrica. Cada nodo puede computar las métricas locales y las métricas totales para diferentes acciones posibles. La acción que maximiza la función de utilidad y produce la mejor métrica total puede seleccionarse para su uso.

En un diseño, la función de utilidad puede definirse en base a una suma de tasas de utilización, como se indica a continuación:

$$U(p) = \sum_{S(t)=p} R(t) \quad \text{y} \quad V(NS) = \sum_{p \in NS} U(p), \quad Ec (3)$$

donde $R(t)$ es una tasa conseguida por el UE t .

5 Como se muestra en el conjunto de ecuaciones (3), la métrica local $U(p)$ para el nodo p puede ser igual a la suma de velocidades conseguidas por todos los UE que tienen servicio por el nodo p . La métrica total $V(NS)$ para el conjunto vecino NS puede ser igual a la suma de las métricas locales para todos los nodos en el conjunto vecino. La función de utilidad en la ecuación (3) puede no proporcionar una garantía de equidad.

En otro diseño, la función de utilidad puede definirse en base a una velocidad de utilización mínima, como se indica a continuación:

$$10 \quad U(p) = \min_{S(t)=p} R(t) \quad y \quad V(NS) = \min_{p \in NS} U(p) \quad Ec (4)$$

15 Como se muestra en el conjunto de ecuaciones (4), la métrica local $U(p)$ para el nodo p puede ser igual a la menor velocidad conseguida por todos los UE que tienen servicio por el nodo p . La métrica total $V(NS)$ para el conjunto vecino NS puede ser igual al mínimo de las métricas locales para todos los nodos en el conjunto vecino. La función de utilidad en la ecuación (4) puede asegurar un grado de servicio equivalente (GoS) para todos los UE, puede ser menos sensible a los valores atípicos, pero puede no proporcionar un intercambio entre la equidad y el rendimiento de la suma. En otro diseño, puede definirse una función de utilidad de velocidad del X % en la que la métrica local $U(p)$ para el nodo p puede ajustarse igual a la mayor velocidad del menor X % de todos los UE que tienen servicio por el nodo p , donde X puede ser cualquier valor adecuado.

20 En otro diseño más, la función de utilidad puede definirse en base a una suma del log de velocidades de utilización, como se indica a continuación:

$$25 \quad U(p) = \sum_{S(t)=p} \log R(t) \quad y \quad V(NS) = \sum_{p \in NS} U(p), \quad Ec (5)$$

30 Como se muestra en el conjunto de ecuaciones (5), la métrica local $U(p)$ para el nodo p puede ser igual a la suma del log de las velocidades de todos los UE que obtienen servicio por el nodo p . La métrica total $V(NS)$ para el conjunto vecino NS puede ser igual a la suma de las métricas locales para todos los nodos en el conjunto vecino. La función de utilidad en la ecuación (5) puede proporcionar una planificación razonable proporcional.

En otro diseño más, la función de utilidad puede definirse en base a una suma del log del log de velocidades de utilización, como se indica a continuación:

$$35 \quad U(p) = \sum_{S(t)=p} \log \{ \log R(t) \} \quad y \quad V(NS) = \sum_{p \in NS} U(p), \quad Ec (6)$$

40 Como se muestra en el conjunto de ecuaciones (6), la métrica local $U(p)$ para el nodo p puede ser igual a la suma del log del log de las velocidades de todos los UE que obtienen servicio por el nodo p . La métrica total $V(NS)$ para el conjunto vecino NS puede ser igual a la suma de las métricas locales para todos los nodos en el conjunto vecino. La función de utilidad en la ecuación (6) puede explicar las contribuciones de cada UE y puede haber más énfasis en la distribución de la cola.

En otro diseño más, la función de utilidad puede definirse en base a una suma de $-1/(\text{velocidad de uso})^3$, como se indica a continuación:

$$45 \quad U(p) = \sum_{S(t)=p} \frac{-1}{R(t)^3} \quad y \quad V(NS) = \sum_{p \in NS} U(p), \quad Ec (7)$$

50 Como se muestra en el conjunto de ecuaciones (7), la métrica local $U(p)$ para el nodo p puede ser igual a la suma de menos uno sobre el cubo de las velocidades de todos los UE que obtienen servicio por el nodo p . La métrica total $V(NS)$ para el conjunto vecino NS puede ser igual a la suma de las métricas locales para todos los nodos en el conjunto vecino. La función de utilidad en la ecuación (7) puede ser más razonable que la métrica razonable proporcional.

Los conjuntos de ecuaciones (3) a (7) muestran algunos diseños ejemplares de la función de utilidad que pueden usarse para el reparto de recursos adaptativo. La función de utilidad también puede definirse de otras maneras. La

función de utilidad también puede definirse en base a otros parámetros en lugar de la velocidad o además de la velocidad. Por ejemplo, la función de utilidad puede definirse basándose en una función de velocidad, latencia, tamaño de la cola, etc.

5 Para los diseños mostrados en los conjuntos de ecuaciones (3) a (7), la métrica local para cada nodo puede computarse basándose en las velocidades de los UE que obtienen servicio por ese nodo. En un diseño, la velocidad de cada UE puede estimarse asumiendo que el UE tiene asignada una fracción de cada recurso disponible. Esta fracción puede representarse como $\alpha(t, r)$ y puede verse como la fracción de tiempo durante el cual el recurso r se asigna al UE t . La velocidad para el UE t puede computarse entonces como se indica a continuación:

10

$$R(t) = \sum_r \alpha(t, r) \cdot SE(t, r) \cdot W(r), \quad \text{Ec (8)}$$

donde $SE(t, r)$ es la eficiencia espectral del UE t en el recurso r , y $W(r)$ es el ancho de banda del recurso r .

15

La eficiencia espectral del UE t en el recurso r puede determinarse como se indica a continuación:

$$SE(t, r) = C \left(\frac{\text{PSD}(p, r) \cdot G(p, t)}{N_0 + \sum_{q \neq p} \text{PSD}(q, r) \cdot G(q, t)} \right), \quad \text{Ec (9)}$$

20

donde $\text{PSD}(p, r)$ es la PSD de transmisión del nodo de servicio p en el recurso r , $\text{PSD}(q, r)$ es la PSD de transmisión del nodo vecino q en el recurso r , $G(p, t)$ es la ganancia de canal entre el nodo de servicio p y el UE t , y $C(\)$ representa una función de capacidad.

25

En la ecuación (9), el numerador entre paréntesis representa la potencia recibida deseada del nodo de servicio p en el UE t . El denominador representa la interferencia total de todos los nodos vecinos, así como N_0 en el UE t . La PSD de transmisión usada por el nodo de servicio p en el recurso r y la PSD de transmisión usada por cada nodo vecino en el recurso r pueden conocerse. Las ganancias de canal para el nodo de servicio p y los nodos vecinos pueden obtenerse basándose en las mediciones piloto del UE t . N_0 puede medirse/estimarse en el UE t e incluirse en la computación, o puede indicarse por el UE t a la red inalámbrica (por ejemplo, al nodo de servicio p), o puede ignorarse (por ejemplo, cuando la computación se hace en el nodo p). La capacidad de función puede ser una función de capacidad limitada, una función de capacidad no limitada, o alguna otra función.

30

35

Un pre-programador puede maximizar la función de utilidad en el espacio de los parámetros $\alpha(t, r)$, como se indica a continuación:

$$\text{maximizar } U(p), \text{ para } 0 \leq \alpha(t, r) \leq 1 \text{ y } \sum_t \alpha(t, r) \leq 1 \text{ y} \quad \text{Ec (10)}$$

40

donde $f(\)$ representa una función cóncava de velocidades para todos los UE que obtienen servicio por el nodo p . La ecuación (10) muestra una optimización convexa en los parámetros $\alpha(t, r)$ y puede resolverse numéricamente. El pre-programador puede realizar una previsión de la planificación y puede ser diferente de un programador real, que puede maximizar una utilidad marginal en cada intervalo de planificación.

45

La velocidad para el UE t puede limitarse como se indica a continuación:

$$R(t) \leq R_{\text{máx}}(t), \quad \text{Ec (12)}$$

50

donde $R_{\text{máx}}(t)$ es la velocidad máxima soportada por el UE t .

La velocidad total $R(p)$ para el nodo p puede limitarse como se indica a continuación:

$$R(p) = \sum_{S(t)=p} R(t) \leq R_{BH}(p), \quad \text{Ec (13)}$$

donde $R_{BH}(p)$ es una velocidad de backhaul para el nodo p . La velocidad de backhaul puede enviarse a los nodos vecinos a través del backhaul y/o puede enviarse de forma inalámbrica para las decisiones de seleccionar nodos de servicios para los UE.

En un diseño, puede usarse un algoritmo adaptativo para el reparto de recursos adaptativo. El algoritmo es adaptativo ya que puede tener en cuenta el escenario operativo actual, que puede ser diferente para diferentes partes de la red inalámbrica y también puede cambiar con el tiempo. El algoritmo adaptativo puede realizarse por cada nodo de manera distribuida y puede intentar maximizar la función de utilidad por un conjunto de nodos o posiblemente por toda la red inalámbrica.

La figura 3 muestra un diseño de un proceso 300 para realizar un reparto de recursos adaptativo. El proceso 300 puede realizarse por cada nodo en un conjunto vecino para un diseño distribuido. Para mayor claridad, el proceso 300 se describe a continuación para el nodo p . El nodo p puede obtener el perfil de uso de recursos actual de cada nodo en el conjunto vecino (etapa 312). Para el enlace descendente, puede definirse un perfil de uso de recursos para un nodo por un conjunto de niveles PSD de transmisión, un nivel PSD de transmisión para cada recurso disponible. El nodo p puede obtener los perfiles de uso de recursos actuales para los nodos vecinos a través de la red de retroceso o a través de otros medios.

El nodo p puede determinar una lista de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos que pueden realizarse por el nodo p y/o los nodos vecinos (etapa 314). Cada acción posible puede corresponder a un perfil de uso de recursos específico para el nodo p , así como un perfil de uso de recursos específico para cada nodo vecino en el conjunto vecino. Por ejemplo, una acción posible puede entrañar el nodo p que cambia su PSD de transmisión en un recurso particular y/o un nodo vecino que cambia su PSD de transmisión en el recurso. La lista de acciones posibles puede incluir (i) acciones convencionales que pueden evaluarse periódicamente sin ninguna petición explícita y/o (ii) acciones a petición que pueden evaluarse en respuesta a peticiones de los nodos vecinos. A continuación se describen algunas acciones posibles. La lista de acciones posibles puede representarse como A.

El nodo p puede computar métricas locales para diferentes acciones posibles (bloque 316). Una métrica local puede indicar el rendimiento de un nodo para una acción determinada. Por ejemplo, una métrica local basada en la función de utilidad en la ecuación (3) puede indicar la velocidad total conseguida por el nodo p para una acción particular a y puede computarse como se indica a continuación:

$$U(p, a) = \sum_{S(t)=p} R(t, a), \quad \text{Ec (14)}$$

donde $R(t, a)$ es la velocidad conseguida por el UE t en todos los recursos disponibles para la acción a , y $U(p, a)$ es una métrica local para el nodo p para la acción a .

La velocidad $R(t, a)$ para cada UE puede computarse como se muestra en las ecuaciones (8) y (9), donde $PSD(p, r)$ y $PSD(q, r)$ pueden depender de los perfiles de uso de recursos para los nodos p y q , respectivamente, asociados a una acción posible a . En el diseño mostrado en la ecuación (14), la velocidad para cada UE en todos los recursos disponibles puede determinarse en primer lugar, y las velocidades para todos los UE que obtienen servicio por el nodo p pueden sumarse después para obtener la métrica local para el nodo p . En otro diseño, la velocidad para cada UE en cada recurso disponible puede determinarse en primer lugar, las velocidades para todos los UE en cada recurso disponible pueden computarse a continuación, y las velocidades para todos los recursos disponibles pueden sumarse después para obtener la métrica local para el nodo p . La métrica local para el nodo p para cada acción posible también puede computarse de otras maneras y puede depender de la función de utilidad.

Las métricas locales para diferentes acciones posibles pueden usarse por el nodo p , así como los nodos vecinos para computar métricas totales para diferentes acciones posibles. El nodo p puede enviar sus métricas locales computadas $U(p, a)$, para $a \in A$, a los nodos vecinos (bloque 318). El nodo p también puede recibir las métricas locales $U(q, a)$, para $a \in A$, de cada nodo vecino q en el conjunto vecino (bloque 320). El nodo p puede computar métricas totales para diferentes acciones posibles en base a las métricas locales computadas y las métricas locales recibidas (bloque 322). Por ejemplo, una métrica total basada en la función de utilidad en la ecuación (3) puede computarse para cada acción posible a , como se indica a continuación:

$$V(a) = U(p, a) + \sum_{q \in NS(p) \setminus \{p\}} U(q, a), \quad \text{Ec (15)}$$

donde $V(a)$ es una métrica total para una acción posible a . La suma en la ecuación (15) es por todos los nodos en el conjunto vecino excepto para el nodo p .

Después de completar la computación de la métrica, el nodo p puede seleccionar la acción con la mejor métrica total (bloque 324). Cada nodo vecino puede computar de forma similar métricas totales para diferentes acciones posibles y también puede seleccionar la acción con la mejor métrica total. El nodo p y los nodos vecinos deben seleccionar la misma acción si operan en el mismo conjunto de métricas locales. Cada nodo puede operar entonces en base a la acción seleccionada, sin tener que comunicar con otro respecto a la acción seleccionada. Sin embargo, el nodo p y sus nodos vecinos pueden operar en diferentes métricas locales y pueden obtener diferentes mejores métricas totales. Este puede ser el caso, por ejemplo, si el nodo p y sus nodos vecinos tienen diferentes conjuntos vecinos. En este caso, el nodo p puede negociar con los nodos vecinos para determinar qué acción tomar. Esto puede implicar intercambiar métricas totales por algunas acciones prometedoras entre los nodos y seleccionar la acción que pueda proporcionar un buen rendimiento a tantos nodos como sea posible.

Independientemente de cómo se selecciona la mejor acción, la acción seleccionada está asociada a un perfil de uso de recursos específico para el nodo p . El nodo p puede utilizar los recursos disponibles de acuerdo con el perfil de uso de recursos asociado con la acción seleccionada (bloque 326). Este perfil de uso de recursos puede definirse por una lista específica de niveles PSD de transmisión, un nivel PSD de transmisión para cada recurso disponible. Después, el nodo p puede usar el nivel PSD de transmisión especificado para cada recurso disponible.

Puede haber un mayor número de acciones posibles para evaluar una búsqueda exhaustiva para encontrar la mejor acción. En particular, si hay L niveles PSD de transmisión posibles para cada recurso, K recursos disponibles, y N nodos en el conjunto vecino, entonces el número total de acciones posibles, T , puede darse como $T = L^{K \cdot N}$. Evaluar todas las T acciones posibles puede ser computacionalmente intensivo.

El número de acciones posibles a evaluar puede reducirse de diversas maneras. En un diseño, cada recurso disponible puede tratarse independientemente, y una acción determinada puede cambiar la PSD de transmisión de únicamente un recurso. El número de acciones posibles puede reducirse entonces a $T = (L^N) \cdot K$. En otro diseño, el número de nodos que pueden ajustar su PSD de transmisión en un recurso determinado para una acción determinada puede limitarse a N_x , que puede ser menor que N . El número de acciones posibles puede reducirse entonces a $T = (L^{N_x}) \cdot K$. En otro diseño más, la PSD de transmisión para un recurso determinado puede aumentarse o disminuirse en un nivel cada vez. El número de acciones posibles puede reducirse entonces a $T = (2^{N_x}) \cdot K$. El número de acciones posibles también puede reducirse a través de otras simplificaciones.

En un diseño, puede evaluarse una lista de acciones posibles que pueden conducir a buenas métricas totales. Pueden omitirse acciones posibles que es improbable que proporcionen buenas métricas totales con el fin de reducir la complejidad de la computación. Por ejemplo, tener tanto el nodo p como un aumento del nodo vecino su PSD de transmisión en el mismo recurso probablemente dará como resultado una interferencia adicional en el recurso, lo que puede degradar el rendimiento para ambos nodos. Por lo tanto, esta acción posible puede omitirse.

La Tabla 2 enumera diferentes tipos de acciones que pueden evaluarse para el reparto de recursos adaptativo, de acuerdo con un diseño.

Tabla 2 - Tipos de Acción

45

Tipo de Acción	Descripción
$p-C-r$	El nodo p reclama el recurso r y aumenta su PSD de transmisión en un nivel en el recurso r .
$p-B-r$	El nodo p anula el recurso r y disminuye su PSD de transmisión en un nivel en el recurso r .
$p-R-r-Q$	El nodo p solicita el recurso r de uno o más nodos vecinos en el conjunto Q y solicita al nodo o nodos vecinos en el conjunto Q que disminuyan su PSD de transmisión en un nivel en el recurso r .
$p-G-r-Q$	El nodo p concede el recurso r a uno o más nodos vecinos en el conjunto Q y dice al nodo o nodos vecinos en el conjunto Q que aumenten su PSD de transmisión en un nivel en el recurso r .
$p-CR-r-Q$	El nodo p reclama y solicita el recurso r de uno o más nodos vecinos en el conjunto Q y (i) aumenta su PSD de transmisión en un nivel en el recurso r y (ii) solicita al nodo o nodos vecinos en el conjunto Q que disminuyan su PSD de transmisión en un nivel en el recurso r .

p-BG-r-Q	El nodo p anula y concede el recurso r a uno o más nodos vecinos en el conjunto Q y (i) disminuye su PSD de transmisión en un nivel en el recurso r y (ii) dice al nodo o nodos vecinos en el conjunto Q que aumenten su PSD de transmisión en un nivel en el recurso r .
----------	---

Cada tipo de acción en la Tabla 2 puede estar asociado a un conjunto de acciones posibles de ese tipo. Para cada tipo de acción que implica únicamente el nodo p , pueden evaluarse K acciones posibles para los K recursos disponibles. Para cada tipo de acción que implica tanto el nodo p como uno o más nodos vecinos en el conjunto Q , pueden evaluarse múltiples acciones posibles para cada recurso disponible, dependiendo el número de acciones posibles del tamaño del conjunto vecino, el tamaño del conjunto Q , etc. En general, el conjunto Q puede incluir uno o más nodos vecinos y puede limitarse a un pequeño valor (por ejemplo, 2 o 3) con el fin de reducir el número de acciones posibles a evaluar.

El nodo p puede computar una métrica local para cada acción posible de cada tipo de acción. La Tabla 3 enumera algunas métricas locales que pueden computarse por el nodo p para diferentes tipos de acciones enumeradas en la Tabla 2. Las métricas locales en la Tabla 3 son para diferentes acciones posibles en un recurso determinado r . Esto coincide con el diseño en el que cada acción posible está limitada a un recurso con el fin de reducir la complejidad de la computación.

Tabla 3 - Métrica local

Métrica local	Descripción
$U_I(p, r)$	Métrica local para el nodo p si aumenta su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel.
$U_D(p, r)$	Métrica local para el nodo p si disminuye su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel.
$U_{0/I}(p, q, r)$	Métrica local para el nodo p si el nodo vecino q aumenta su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel.
$U_{0/D}(p, q, r)$	Métrica local para el nodo p si el nodo vecino q disminuye su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel.
$U_{I/D}(p, q, r)$	Métrica local para el nodo p si aumenta su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel y el nodo vecino q disminuye su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel.
$U_{D/I}(p, q, r)$	Métrica local para el nodo p si disminuye su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel y el nodo vecino q aumenta su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel.
$U_{0/I/D}(p, n, Q, r)$	Métrica local para el nodo p si el nodo vecino n aumenta su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel y uno o más nodos vecinos en el conjunto q disminuyen su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel.
$U_{0/D/I}(p, n, Q, r)$	Métrica local para el nodo p si el nodo vecino n disminuye su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel y uno o más nodos vecinos en el conjunto q aumentan su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel.

Las métricas locales $U_{0/I}(p, Q, r)$, $U_{0/D}(p, Q, r)$, $U_{I/D}(p, Q, r)$ y $U_{D/I}(p, Q, r)$ para un conjunto de nodos vecinos, Q , pueden definirse de manera similar que las métricas locales $U_{0/I}(p, q, r)$, $U_{0/D}(p, q, r)$, $U_{I/D}(p, q, r)$ y $U_{D/I}(p, q, r)$, respectivamente, para un único nodo vecino q . Por ejemplo, $U_{0/I}(p, Q, r)$ puede ser la métrica local para el nodo p si todos los nodos vecinos en el conjunto Q aumentan su PSD de transmisión en el recurso r en un nivel.

El nodo p puede computar métricas locales para diferentes acciones posibles en base a (i) mediciones piloto de los UE que tienen el nodo p en sus conjuntos activos y (ii) los perfiles de uso de recursos para el nodo p y los nodos vecinos asociados a estas acciones posibles. Para cada acción posible, el nodo p puede computar el primer lugar la eficiencia espectral $SE(t, r)$ de cada UE que obtiene servicio por el nodo p en cada recurso r , por ejemplo, como se muestra en la ecuación (9). La computación de la eficiencia espectral $R(t, r)$ puede depender de una previsión de planificación para obtener los valores $a(t, r)$ para los UE. $PSD(p, r)$ y $PSD(q, r)$ en la ecuación (9) pueden obtenerse a partir de los perfiles de uso de recursos para los nodos p y q , respectivamente. $G(p, t)$ y $G(q, t)$ en la ecuación (9) pueden obtenerse a partir de mediciones piloto del UE t para los nodos p y q , respectivamente. Después, una métrica local para la acción posible puede computarse basándose en las velocidades para todos los UE en todos los recursos disponibles, por ejemplo, como se muestra en la ecuación (3) para la función de utilidad de velocidad de suma.

La computación de las métricas locales aprovecha las mediciones piloto que se limitan a los nodos en los conjuntos activos de los UE. Por lo tanto, la precisión de las métricas locales pueden verse afectada por el umbral CoT_{min} usado para seleccionar los nodos para su inclusión en sitios activos, por ejemplo, como se muestra en la ecuación (1). Un mayor umbral CoT_{min} puede corresponder a mayor cantidad de interferencia ambiental y menor precisión de las métricas locales. Un mayor umbral CoT_{min} también corresponde a requisitos más relajados en la capacidad de medición del UE y un menor conjunto activo. El umbral CoT_{min} puede seleccionarse en base a un intercambio entre los requisitos del UE y la complejidad por un lado, y la precisión de la computación de la métrica por otro lado.

El nodo p puede intercambiar las métricas locales con los nodos vecinos en el conjunto vecino (por ejemplo, a través de la red de retroceso) para permitir que cada nodo compute métricas totales para diferentes acciones posibles. En un diseño, las métricas locales para acciones posibles que implican únicamente el nodo p (por ejemplo, las primeras dos métricas locales en la Tabla 3) pueden enviarse a todos los nodos vecinos en el conjunto vecino. Las métricas locales para acciones posibles que implican el nodo vecino q (por ejemplo, las cuatro métricas locales centrales en la Tabla 3) pueden enviarse únicamente a un nodo q . Las métricas locales para acciones posibles que implican los nodos vecinos en el conjunto q (por ejemplo, las dos últimas métricas locales en la Tabla 3) pueden enviarse a cada nodo en el conjunto Q .

En un diseño, algunas métricas locales (por ejemplo, las primeras seis métricas locales en la Tabla 3) pueden computarse periódicamente e intercambiarse entre los nodos en el conjunto vecino, por ejemplo, a través de mensajes de negociación de recursos convencionales. En un diseño, las métricas locales restantes (por ejemplo, las dos últimas métricas locales en la Tabla 3 y las métricas locales para el conjunto Q) pueden computarse al solicitarse e intercambiarse a través de mensajes a petición. Las métricas locales pueden computarse e intercambiarse entre nodos de otras maneras.

El nodo p puede computar métricas locales para diferentes acciones posibles y también puede recibir métricas locales para diferentes acciones posibles de los nodos vecinos. El nodo p puede computar métricas totales para diferentes acciones posibles en base a las métricas locales computadas y las métricas locales recibidas. La Tabla 4 enumera algunas métricas totales que pueden computarse por el nodo p para diferentes tipos de acciones enumeradas en la Tabla 2.

Tabla 4 - Métricas Totales

Métrica Total	Descripción
$V_C(p, r)$	Métrica total para una acción p -C- r en el recurso r .
$V_B(p, r)$	Métrica total para una acción p -B- r en el recurso r .
$V_R(p, Q, r)$	Métrica total para una acción p -R- r - Q en el recurso r .
$V_G(p, Q, r)$	Métrica total para una acción p -G- r - Q en el recurso r .
$V_{CG}(p, Q, r)$	Métrica total para una acción p -CG- r - Q en el recurso r .
$V_{BG}(p, Q, r)$	Métrica total para una acción p -BG- r - Q en el recurso r .

Para mayor claridad, la descripción a continuación asume una función de utilidad en la que una métrica total de un conjunto vecino para una acción posible es igual a la suma de las métricas locales de todos los nodos en el conjunto vecino para la acción posible. La computación de la métrica total puede modificarse por consiguiente para otros tipos de función de utilidad. Por ejemplo, una suma para la métrica total puede reemplazarse con una operación mínima para una función de utilizada que minimiza un parámetro particular.

En un diseño, una métrica total para una acción p -C- r puede computarse como se indica a continuación:

$$V_C(p, r) = U_C(p, r) + \sum_{q \in NS(p) \setminus \{p\}} U_{oI}(q, p, r), \quad y \quad \text{Ec (16)}$$

$$\Delta V_C(p, r) = V_C(p, r) - V_C(NS, (p)), \quad \text{Ec (17)}$$

donde $\Delta V_C(p, r)$ es un cambio en la métrica total para la acción p -C- r , y $V(NS, (p))$ es una métrica total para el uso de recursos actual por el conjunto vecino.

Como se muestra en la ecuación (16), la métrica total $V_C(p, r)$ puede computarse basándose en la métrica local $U_I(p, r)$ computada por el nodo p y la métrica local $U_{0/I}(q, p, r)$ recibida desde los nodos vecinos. Como se muestra en la ecuación (17), el cambio en la métrica total puede computarse y usarse en lugar del valor absoluto de la ecuación (16).

5 En un diseño, una métrica total para una acción p -B- r puede computarse como se indica a continuación:

$$V_B(p, r) = U_D(p, r) + \sum_{q \in NS(p) \setminus \{p\}} U_{0/D}(q, p, r), \quad y \quad \text{Ec (18)}$$

$$10 \quad \Delta V_B(p, r) = V_B(p, r) - V(NS(p)), \quad \text{Ec (19)}$$

donde $\Delta V_B(p, r)$ es un cambio en la métrica total para la acción p -B- r .

15 Como se muestra en la ecuación (18), la métrica total $V_B(p, r)$ puede computarse en base a las métricas locales $U_D(p, r)$ computadas por el nodo p y las métricas locales $U_{0/D}(q, p, r)$ recibidas de los nodos vecinos. El nodo p puede intercambiar las métricas totales $V_C(p, r)$ y $V_B(p, r)$ (o las $\Delta V_C(p, r)$ y $\Delta V_B(p, r)$ correspondientes) con los nodos vecinos para su uso en la computación de otras métricas totales.

20 En un diseño, una métrica total para una acción p -G- r -Q puede computarse como se indica a continuación. En primer lugar, una estimación inicial de la métrica total puede computarse como se indica a continuación:

$$V_{G,0}(p, Q, r) = U_{0/I}(p, Q, r) + \sum_{q \in Q} \{V_C(q, r) - U_{0/I}(p, q, r)\}, \quad y \quad \text{Ec (20)}$$

$$25 \quad \Delta V_{G,0}(p, Q, r) = V_{G,0}(p, Q, r) - U(p) \sum_{q \in Q} \{V(NS(q)) - U(p)\}, \quad \text{Ec (21)}$$

donde $U(p)$ es una métrica local para el nodo p para el uso de recursos actual, $V_{G,0}(p, Q, r)$ es una estimación inicial de la métrica total para una acción p -G- r -Q, y $\Delta V_{G,0}(p, Q, r)$ es una estimación inicial del cambio en la métrica total.

30 Como se muestra en la ecuación (20), $V_{G,0}(p, Q, r)$ puede computarse basándose en las métricas locales $U_{0/I}(p, q, r)$ y $U_{0/I}(p, Q, r)$ computadas por el nodo p y las métricas totales $V_C(p, q)$ recibidas de los nodos vecinos. Si la estimación inicial parece prometedora (por ejemplo, si el cambio en la métrica total es mayor que un umbral), entonces la métrica total puede computarse con más precisión como se indica a continuación:

$$35 \quad \Delta V_G(p, Q, r) = \sum_{n \in NS(p)} U_{0/I}(n, Q, r) + \sum_{q \in Q} \left(V_C(q, r) - \sum_{n \in N1} U_{0/I}(n, q, r) \right), \quad \text{Ec (22)}$$

$$40 \quad \Delta V_G(p, Q, r) = V_G(p, Q, r) - V(NS(p)) - \sum_{q \in Q} \left(V(NS(q)) - \sum_{n \in N1} U(n) \right), \quad \text{Ec (23)}$$

donde $\Delta V_G(p, Q, r)$ es el cambio en la métrica total para la acción p -G- r -Q, y $N1 = NS(p) \cap NS(q)$.

45 En un diseño, el nodo p puede solicitar las métricas globales $U_{0/I}(n, q, r)$ y $U_{0/I}(n, Q, r)$ en la ecuación (22) de los nodos vecinos únicamente si la estimación inicial parece prometedora. Este diseño puede reducir la cantidad de información a intercambiar a través de la red de retroceso para el reparto de recursos adaptativo.

En un diseño, una métrica total para una acción p -R- r -Q puede computarse de manera similar a una métrica total para una acción p -G- r -Q. Las ecuaciones (18) a (21) pueden usarse para computar la métrica total para la acción p -R- r -Q, aunque con las métricas locales $U_{0/I}(p, q, r)$, $U_{0/I}(p, Q, r)$, $U_{0/I}(n, q, r)$ y $U_{0/I}(n, Q, r)$, reemplazadas con las métricas locales $U_{0/D}(p, q, r)$, $U_{0/D}(p, Q, r)$, $U_{0/D}(p, q, r)$ y $U_{0/D}(p, Q, r)$, respectivamente.

50 En un diseño, una métrica total para una acción p -BG- r -Q puede computarse como se indica a continuación. En primer lugar, una estimación inicial de la métrica total puede computarse como se indica a continuación:

$$\Delta V_{BG,0}(p, Q, r) = U_{D/I}(p, Q, r) + \sum_{n \in N2} U_{0/D}(n, p, r) + \sum_{q \in Q} \{U_{I/D}(q, p, r) + V_c(q, r) - U_I(q, r) - U_{0/I}(p, q, r)\}, \quad \text{Ec (24)}$$

$$\Delta V_{BG,0}(p, Q, r) = V_{BG,0}(p, Q, r) - V(NS(p)) - \sum_{q \in Q} \{V(NS(q)) - U(p) - U(q)\} \quad \text{Ec (25)}$$

5

donde $V_{BG,0}(p, Q, r)$ es una estimación inicial de la métrica total para una acción p -BG- r -Q, $\Delta V_{BG,0}(p, Q, r)$ es una estimación inicial del cambio en la métrica total, y $N2 = NS(p) \setminus (Q \cup \{p\})$.

10

Como se muestra en la ecuación (24), $V_{BG,0}(p, Q, r)$ puede computarse en base a (i) las métricas locales $U_{0/I}(p, q, r)$ y $U_{D/I}(p, Q, r)$ computado por el nodo p y (ii) las métricas locales $U_I(q, r)$, $U_{0/D}(n, p, r)$ y $U_{I/D}(q, p, r)$ y la métrica total $V_c(q, r)$ recibida desde los nodos vecinos. Si la estimación inicial es prometedora, entonces la métrica total puede computarse más precisamente como se indica a continuación:

15

$$V_{BG}(p, Q, r) = \sum_{n \in NS(p)} U_{0/D/I}(n, p, Q, r) + \sum_{q \in Q} \left(V_c(q, r) - \sum_{n \in N1} U_{0/I}(n, q, r) \right), \quad \text{Ec (26)}$$

$$\Delta V_{BG}(p, Q, r) = V_{BG}(p, Q, r) - V(NS(p)) - \sum_{q \in Q} \left(V(NS(q)) - \sum_{n \in N1} U(n) \right), \quad \text{Ec (27)}$$

20

donde $\Delta V_{BG}(p, Q, r)$ es un cambio en la métrica total para la acción p -BG- r -Q. El nodo p puede solicitar las métricas locales $U_{0/I}(n, q, r)$ y $U_{0/D/I}(n, p, Q, r)$ en la ecuación (26) desde los nodos vecinos si la estimación inicial parece prometedora.

25

En un diseño, una métrica total para una acción p -CR- r -Q puede computarse de manera similar a una métrica total para una acción p -BG- r -Q. Las ecuaciones (24) a (27) pueden usarse para computar la métrica total para la acción p -CR- r -Q, por ejemplo, reemplazándose las métricas locales $U_{0/I}(n, q, r)$ y $U_{0/D/I}(n, p, Q, r)$ en la ecuación (26) con $U_{0/D}(n, q, r)$ y $U_{0/I/D}(n, p, Q, r)$ respectivamente.

30

Las ecuaciones (16) a (27) muestran computaciones ejemplares para las métricas totales en la Tabla 4, que son para los diferentes tipos de acciones en la Tabla 2. Algunas métricas totales pueden computarse en base únicamente a las métricas locales, por ejemplo, como se muestra en las ecuaciones (16) y (18). Algunas métricas totales diferentes pueden computarse en base a una combinación de métricas locales y métricas totales, por ejemplo, como se muestra en las ecuaciones (22) y (26). El uso de algunas métricas totales para computar otras métricas totales puede simplificar la computación. En general, una métrica total puede computarse en base únicamente las métricas locales o en base tanto a métricas locales como otras métricas totales. Los nodos pueden intercambiar las métricas locales y/o las métricas totales a través de una o más rondas de mensajes.

40

Las métricas totales también pueden computarse de otras maneras, por ejemplo, basándose en otras ecuaciones, otras métricas locales, etc. En general, puede soportarse cualquier conjunto de tipos de acciones. Las métricas totales pueden computarse para los tipos de acción de soporte y pueden definirse de diversas maneras.

45

Se simuló el reparto de recursos adaptativo para una pequeña red inalámbrica con nodos de dos clases de potencias. En la simulación, un conjunto vecino incluye dos nodos para las macroestaciones bases (o macronodos) y seis nodos para las picoestaciones base (o piconodos). Cada macronodo tiene tres niveles PSD - un nivel PSD nominal de 43 dBm (representado como 2), un nivel PSD baja de 33 dBm (representado como 1), y un nivel PSD nula (representado como 0). Cada piconodo tiene dos niveles PSD - un nivel PSD nominal de 33 dBm (representado como 1) y un nivel PSD nula (representado como 0). Están disponibles un total de cuatro recursos para el reparto entre los nodos. Se distribuyen un total de 16 UE por toda la red inalámbrica.

50

La figura 4 muestra la red inalámbrica en la simulación. Los dos macronodos se representan como M1 y M2, los cuatro piconodos se representan como P1 a P4, y los 16 UE se representan como UE1 a UE16. La figura 4 también muestra el resultado del reparto de recursos adaptativo en base al algoritmo adaptativo que se ha descrito anteriormente. Junto a cada nodo se encuentra un conjunto de cuatro números indicativos de los niveles PSD de

transmisión en los cuatro recursos disponibles para el nodo. Por ejemplo, el macronodo M2 está asociado a "0211", lo que significa que se usa una PSD de transmisión nula en el recurso 1, se usan 43 dBm en el recurso 2, se usan 33 dBm en el recurso 3, y se usan 33 dBm en el recurso 4.

5 La figura 4 también muestra un enlace de comunicación entre cada UE y su nodo de servicio. El enlace de comunicación para cada UE se etiqueta con dos números. El número superior indica la fracción total de los recursos asignados al UE. El número inferior indica la velocidad total $R(t)$ conseguida por el UE. Por ejemplo, el enlace de comunicación del UE9 al macronodo M2 indica que el UE9 tiene asignados 2,2 de tres recursos de media y consigue una velocidad de 3,9 Mbps. Para cada nodo, la suma de los recursos asignados a cada UE que reciben servicio por
10 ese nodo debe ser igual a los recursos asignados al nodo por el reparto de recursos adaptativo.

La Tabla 5 enumera el rendimiento del reparto de recursos adaptativo, así como el rendimiento de varios esquemas de reparto de recursos fijos. Para un reparto X:Y fijo, se asignan X recursos a los macronodos, y se asignan Y recursos a los piconodos, y cada nodo usa el nivel PSD nominal en cada recurso asignado a ese nodo, donde $X + Y = 4$ para el ejemplo mostrado en la figura 4. Para el reparto de recursos adaptativo, cada nodo puede tener asignado un número configurable de recursos, y cada macronodo puede transmitir a 43 dBm o 33 dBm en cada recurso asignado.
15

La Tabla 5 muestra tres métricas totales para los diferentes esquemas de reparto de recursos. Una métrica total IU log log se basa en la función de utilidad mostrada en la ecuación (6). Una métrica total de velocidad mínima (Rmin) se basa en la función de utilidad mostrada en la ecuación (4). Una métrica total de velocidad de suma (Rsum) se basa en la función de utilidad mostrada en la ecuación (3). Como se muestra en la Tabla 5, el reparto de recursos adaptativo puede proporcionar mejor rendimiento que los esquemas de reparto de recursos fijos.
20

25 Tabla 5

Esquema de Reparto de Recursos	IU log log	Rmin	Rsum	Unidades
Reparto de Recursos Adaptativo	6,37	3,29	119,64	Mbps
Reparto 1:3 Fijo	4,85	1,73	92,81	Mbps
Reparto 2:2 Fijo	4,23	1,15	87,56	Mbps
Reparto 3:1 Fijo	2,72	0,58	82,33	Mbps

En un diseño, el reparto de recursos adaptativo puede realizarse para todos los recursos disponibles para la transmisión en una red inalámbrica. En otro diseño, el reparto de recursos adaptativo puede realizarse para un subconjunto de los recursos disponibles. Por ejemplo, los macronodos pueden tener asignado un primer subconjunto de recursos, y los piconodos pueden tener asignado un segundo subconjunto de recursos en base a un reparto de recursos fijo. Los recursos disponibles restantes pueden asignarse dinámicamente a los macronodos o los piconodos en base al reparto de recursos adaptativo. Para el ejemplo mostrado en la figura 4, los macronodos pueden tener asignado un recurso, los piconodos pueden tener asignado un recurso, y dos recursos restantes pueden asignarse dinámicamente a los macronodos o los pico nodos en base al reparto de recursos adaptativo. Este diseño puede reducir la complejidad de la computación.
30
35

Para mayor claridad, el reparto de recursos adaptativo para el enlace descendente se ha descrito anteriormente. El reparto de recursos adaptativo para el enlace ascendente puede realizarse de manera similar. En un diseño, un conjunto de niveles de interferencia sobre térmico diana (IoT) puede usarse para el reparto de recursos en el enlace ascendente de manera similar al conjunto de niveles PSD para el enlace descendente. Puede seleccionarse un nivel IoT diana para cada recurso en el enlace ascendente, y las transmisiones desde cada UE en cada recurso pueden controlarse de manera que la IoT real en ese recurso en cada nodo vecino en el conjunto activo del UE esté a nivel de o por debajo del nivel IoT diana para ese recurso en el nodo vecino. Puede definirse una función de utilidad para cuantificar el rendimiento de la transmisión de datos en el enlace ascendente y puede ser una función de la suma de las velocidades de utilización, o el mínimo de las velocidades de utilización, etc. La velocidad de cada UE en el enlace ascendente puede ser una función de la potencia de transmisión, la ganancia del canal y el nivel IoT diana, etc. Las métricas locales y las métricas totales pueden computarse para diferentes acciones posibles en base a la función de utilidad. Cada acción posible puede estar asociada a una lista de niveles IoT diana para todos los recursos disponibles para cada nodo en un conjunto vecino. Puede seleccionarse para su uso la acción posible con la mejor métrica total.
40
45
50

La figura 5 muestra un diseño de un proceso 500 para soportar una comunicación. El proceso 500 puede realizarse por un nodo (como se describe a continuación) o por alguna otra entidad (por ejemplo, un controlador de red). El nodo puede ser una estación base, un relé o alguna otra entidad. El nodo puede obtener métricas locales para una pluralidad de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos para asignar recursos disponibles a un
55

conjunto de nodos que incluye el nodo (bloque 512). Cada acción posible puede asociarse a un conjunto de perfiles de uso de recursos para el conjunto de nodos, un perfil de uso de recursos para cada nodo. Cada perfil de uso de recursos puede indicar el uso permitido de los recursos disponibles por un nodo particular. El nodo puede determinar la asignación de los recursos disponibles al conjunto de nodos en base a las métricas totales para la pluralidad de acciones posibles (bloque 514).

Los recursos disponibles pueden estar por unidades de tiempo, unidades de frecuencia, unidades de tiempo-frecuencia, etc. En un diseño, los recursos disponibles pueden ser para el enlace descendente. En este diseño, cada nodo en el conjunto de nodos puede estar asociado con un conjunto de niveles PSD de transmisión permitido para ese nodo. Cada perfil de uso de recursos puede comprender una lista de niveles PSD de transmisión para los recursos disponibles, un nivel PSD de transmisión para cada recurso disponible. El nivel PSD de transmisión para cada recurso disponible puede ser uno del conjunto de niveles PSD de transmisión. En otro diseño, los recursos disponibles pueden ser para el enlace ascendente. En este diseño, cada perfil de uso de recursos puede comprender una lista de niveles IoT diana para los recursos disponibles, un nivel IoT diana para cada recurso disponible.

En un diseño del bloque 514, el nodo puede seleccionar una de la pluralidad de acciones posibles en base a las métricas totales para estas acciones posibles. El nodo puede determinar los recursos asignados al nodo en base a un perfil de uso de recursos asociado a la acción seleccionada y aplicable al nodo. El nodo puede programar la transmisión de datos para el menos un UE en los recursos disponibles en base al perfil de uso de recursos para el nodo.

La figura 6 muestra un diseño de un aparato 600 para soportar la comunicación. El aparato 600 incluye un módulo 612 para obtener métricas totales para una pluralidad de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos para asignar los recursos disponibles a un conjunto de nodos, y un módulo 614 para determinar la asignación de los recursos disponibles al conjunto de nodos en base a las métricas totales para la pluralidad de acciones posibles.

La figura 7 muestra un diseño de un proceso 700 para realizar el reparto de recursos adaptativo, que puede usarse para los bloques 512 y 514 en la figura 5. Un nodo puede computar métricas locales para una pluralidad de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos para asignar recursos disponibles a un conjunto de nodos que incluye el nodo (bloque 712). El nodo puede enviar las métricas locales computadas a al menos un nodo vecino en el conjunto de nodos para permitir que el nodo o nodos vecinos computen métricas totales para la pluralidad de acciones posibles (bloque 714). El nodo puede recibir métricas locales para la pluralidad de acciones posibles desde el al menos un nodo vecino (bloque 716). El nodo puede determinar métricas totales para la pluralidad de acciones posibles en base a las métricas locales computadas y las métricas locales recibidas para estas acciones posibles (bloque 718). Una métrica local para una acción posible puede ser indicativa del rendimiento conseguido por un nodo para la acción posible. Una métrica total para una posible acción puede ser indicativa del rendimiento total conseguido por el conjunto de nodos para la posible acción.

El nodo puede seleccionar una de la pluralidad de acciones posibles en base a las métricas totales para la pluralidad de acciones posibles, por ejemplo, seleccionar la acción con la mejor métrica total (bloque 720). El nodo puede utilizar los recursos disponibles en base a un perfil de uso de recursos asociado a la acción seleccionada y aplicable para el nodo (bloque 722).

En un diseño del bloque 712, para cada acción posible, el nodo puede determinar al menos una velocidad para al menos un UE que comunica con el nodo en base a (i) el conjunto de perfiles de uso de recursos asociados a la acción posible y (ii) ganancias de canal entre cada UE y el nodo, así como el nodo o nodos vecinos. Después, el nodo puede determinar una métrica local para la acción posible en base a, al menos, una velocidad. Las métricas locales para la pluralidad de acciones posibles pueden computarse en base a una función de velocidad, o latencia, o tamaño de la cola, o algún otro parámetro, o una combinación de los mismos. Las métricas locales para la pluralidad de acciones posibles pueden computarse también en base a una función de la suma de velocidades, o un mínimo de velocidades, o la suma de cantidades determinadas en base a las velocidades, etc.

En un diseño de los bloques 714 y 716, un primer subconjunto de las métricas locales computadas y un primer subconjunto de las métricas locales recibidas pueden intercambiarse entre el nodo y el al menos un nodo vecino periódicamente. Un segundo subconjunto de las métricas locales computadas y un segundo subconjunto de las métricas locales recibidas pueden intercambiarse entre el nodo y el al menos un nodo vecino cuando se solicita.

En un diseño del bloque 718, para cada acción posible, el nodo puede combinar una métrica local computada por el nodo para la acción posible con al menos un métrica local recibida desde el al menos un nodo vecino para la acción posible para obtener una métrica total para esa acción posible.

En un diseño, cada una de la pluralidad de acciones posibles puede afectar únicamente a uno de los recursos disponibles. En otro diseño, cada acción posible puede cambiar la PSD de transmisión (o IoT diana) como mucho en un nivel para cualquier nodo determinado en el conjunto de nodos. En un diseño, puede soportarse un conjunto de tipos de acciones, por ejemplo, como se muestra en la Tabla 2. Cada una de la pluralidad de acciones posibles

puede ser una del conjunto de tipos de acciones. La pluralidad de acciones posibles puede comprender (i) primeras acciones posibles para el nodo que aumentan su PSD de transmisión, (ii) segundas acciones posibles para el nodo que disminuyen su PSD de transmisión, (iii) terceras acciones posibles para uno o más nodos vecinos que aumentan su PSD de transmisión, (iv) cuartas acciones posibles para el uno o más nodos vecinos que aumentan su PSD de transmisión, (v) quintas acciones posibles para el nodo que aumentan su PSD de transmisión y el uno o más nodos vecinos que disminuyen su PSD de transmisión, (vi) sextas acciones posibles para el nodo que disminuyen su PSD de transmisión y el uno o más nodos vecinos que aumentan su PSD de transmisión, o (vii) una combinación de los mismos.

En un diseño, cada UE puede estar asociado a un conjunto activo de nodos que tiene una calidad de señal recibida o una intensidad de señal recibida por encima de un umbral. El conjunto de nodos puede determinarse en base a los conjuntos activos de UE y puede incluir (i) nodos en conjuntos activos de los UE que comunican con el nodo y/o (ii) nodos que dan servicio a los UE que tienen conjuntos activos que incluyen el nodo. En un diseño, el conjunto de nodos puede incluir nodos de diferentes clases de potencias. Por ejemplo, el conjunto puede incluir un primer nodo con un primer nivel de potencia de transmisión máxima y un segundo nodo con un segundo/diferente nivel de potencia de transmisión máxima. En otro diseño, el conjunto de nodos puede incluir nodos de la misma clase de potencia.

La descripción anterior sirve para un diseño distribuido en el que los nodos en el conjunto de nodos pueden cada uno computar e intercambiar métricas locales y métricas totales para diferentes acciones posibles. Para un diseño centralizado, una entidad designada puede computar métricas locales y métricas totales para diferentes acciones posibles y puede seleccionar la mejor acción.

La figura 8 muestra un diseño de un proceso 800 para la comunicación en una red inalámbrica con reparto de recursos adaptativo. El proceso 800 puede realizarse por un UE (como se describe a continuación) o por alguna otra entidad. El UE puede hacer mediciones piloto para los nodos detectables por el UE (bloque 812). Las mediciones piloto pueden usarse para determinar un conjunto activo para el UE. Las mediciones piloto también pueden usarse para computar métricas locales para el reparto de recursos adaptativo.

El UE puede recibir una asignación de al menos un recurso de un nodo (bloque 814). El reparto de recursos adaptativo puede realizarse para asignar recursos disponibles a un conjunto de nodos que incluye el nodo. El nodo puede tener asignado un subconjunto de los recursos disponibles por el reparto de recursos adaptativo. El al menos un recurso asignado al UE puede proceder del subconjunto de los recursos disponibles asignados al nodo.

El UE puede comunicarse con el nodo en el al menos un recurso (bloque 816). En un diseño del bloque 816, el UE puede recibir una transmisión de datos en el al menos un recurso desde el nodo. La transmisión de datos puede enviarse por el nodo en cada uno del al menos un recurso en un nivel PSD de transmisión permitido para el nodo en el recurso. En otro diseño del bloque 816, el UE puede enviar una transmisión de datos en el al menos un recurso al nodo. La transmisión de datos puede enviarse por el UE en cada uno del al menos un recurso a un nivel de potencia de transmisión determinado en base al menos a un nivel IoT diana para al menos un nodo vecino en el recurso.

La figura 9 muestra un diseño de un aparato 900 para la comunicación en una red inalámbrica con reparto de recursos adaptativo. El aparato 900 incluye un módulo 912 para hacer mediciones piloto para los nodos detectables por un UE, un módulo 914 para recibir una asignación de al menos un recurso desde un nodo en el UE, y un módulo 916 para comunicarse con el nodo por el UE en el al menos un recurso.

Los módulos de las figuras 6 y 9 pueden comprender procesadores, dispositivos electrónicos, dispositivos de hardware, componentes electrónicos, circuitos lógicos, memorias, códigos de software, códigos de firmware, etc., o cualquier combinación de los mismos.

La figura 10 muestra un diagrama de bloques de un diseño de una estación base/nodo 110 y un UE 120, que puede ser una de las estaciones base y uno de los UE en la figura 1. La estación base 110 puede estar equipada con T antenas 1034a a 1034t, y el UE 120 puede estar equipado con R antenas 1052a a 1052r, donde en general $T \geq 1$ y $R \geq 1$.

En la estación base 110, un procesador de transmisión 1020 puede recibir datos de una fuente de datos 1012 para uno o más UE e información de control de un controlador/procesador 1040. El procesador 1020 puede procesar (por ejemplo, codificar, entrelazar y modular) los datos y la información de control para obtener símbolos de datos y símbolos de control, respectivamente. El procesador 1020 también puede generar símbolos piloto para una señal piloto o de referencia. Un procesador de transmisión (TX) de entrada múltiple-salida múltiple (MIMO) 1030 puede realizar un procesamiento espacial (por ejemplo, precodificación) en los símbolos de datos, los símbolos de control, y/o los símbolos piloto, cuando sea aplicable, y puede proporcionar T flujos de símbolos de salida a T moduladores (MOD) 1032-a a 1032t. Cada modulador 1032 puede procesar un flujo de símbolo de salida respectivo (por ejemplo, para OFDM, etc.) para obtener un flujo de muestra de salida. Cada modulador 1032 puede procesar adicionalmente (por ejemplo, convertir en analógico, amplificar, filtrar y convertir en ascendente) el flujo de muestra de salida para

obtener una señal de enlace descendente. T señales de enlace descendente de los moduladores 1032a a 1032t pueden transmitirse a través de T antenas 1034a a 1034t, respectivamente.

En el UE 120, las antenas 1052a a 1052r pueden recibir las señales de enlace descendente desde la estación base 110 y pueden proporcionar señales recibidas a los demoduladores (DEMODO) 1054a a 1054r, respectivamente. Cada demodulador 1054 puede acondicionar (por ejemplo, filtrar, amplificar, convertir en descendente y digitalizar) su señal recibida para obtener muestras de entrada. Cada demodulador 1054 puede procesar adicionalmente las muestras de entrada (por ejemplo, para OFDM, etc.) para obtener los símbolos recibidos. Un detector MIMO 1056 puede obtener símbolos recibidos de los R demoduladores 1054a a 1054r, realizar una detección MIMO en los símbolos recibidos cuando sea aplicable, y proporcionar los símbolos detectados. Un procesador de recepción 1058 puede procesar (por ejemplo, demodular, desintercalar y descodificar) los símbolos detectados, proporcionar datos descodificados para el UE 120 a un colector de datos 1060 y proporcionar información de control descodificada a un controlador/procesador 1080.

En el enlace ascendente, en el UE 120, un procesador de transmisión 1064 puede recibir y procesar datos de una fuente de datos 1062 e información de control del controlador/procesador 1080. El procesador 1064 también puede generar símbolos piloto para una señal piloto o de referencia. Los símbolos del procesador de transmisión 1064 pueden precodificarse por un procesador MIMO TX 1066 cuando sea aplicable, procesarse adicionalmente por los moduladores 1054a a 1054r (por ejemplo, para SC-FDM, OFDM, etc.), y transmitirse a la estación base 110. En la estación base 110, las señales de enlace ascendente procedentes del UE 120 pueden recibirse por las antenas 1034, procesarse por los demoduladores 1032, detectarse por un detector MIMO 1036 cuando sea aplicable, y procesarse adicionalmente por un procesador de recepción 1038 para obtener datos descodificados e información de control enviada por el UE 120. El procesador 1038 puede proporcionar los datos descodificados a un colector de datos 1039 y la información de control descodificada a un controlador/procesador 1040.

Los controladores/procesadores 1040 y 1080 pueden dirigir el funcionamiento en la estación base 110 y el UE 120, respectivamente. Un procesador de canal 1084 puede hacer mediciones piloto, que pueden usarse para determinar un conjunto activo para el UE 120 y para computar ganancias de canal, tasas, métricas, etc. El procesador 1040 y/u otros procesadores y módulos en la estación base 110 pueden realizar o dirigir el proceso 300 en la figura 3, el proceso 500 de la figura 5, el proceso 700 de la figura 7 y/u otros procesos para las técnicas descritas en el presente documento. El procesador 1080 y/u otros procesadores y módulos en el UE 120 pueden realizar o dirigir el proceso 800 en la figura 8 y/u otros procesos de las técnicas descritas en el presente documento. Las memorias 1042 y 1082 pueden almacenar datos y códigos de programa para la estación base 110 y el UE 120, respectivamente. Un planificador 1044 puede planificar los UE para la transmisión de datos en el enlace descendente y/o en el enlace ascendente.

Los expertos en la técnica entenderán que la información y señales pueden representarse usando cualquiera de una diversidad de tecnologías y técnicas diferentes. Por ejemplo, datos, instrucciones, comandos, información, señales, bits, símbolos y chips que pueden haber sido mencionados a lo largo de la descripción anterior, pueden representarse mediante tensiones, corrientes, ondas electromagnéticas, campos o partículas magnéticos, campos o partículas ópticos, o cualquier combinación de los mismos.

Los expertos en la técnica apreciarán además que los diversos bloques lógicos, módulos, circuitos y etapas de algoritmo ilustrativos descritos en relación con la divulgación del presente documento pueden implementarse como hardware electrónico, software informático o combinaciones de ambos. Para ilustrar claramente esta intercambiabilidad de hardware y software, anteriormente se han descrito diversos componentes, bloques, módulos, circuitos y etapas ilustrativos en lo que respecta generalmente a su funcionalidad. Si tal funcionalidad se implementa como hardware o software, dependerá de la aplicación particular y de las limitaciones de diseño impuestas sobre todo el sistema. Los expertos en la técnica pueden implementar la funcionalidad descrita de diferentes maneras para cada aplicación particular, pero no debe interpretarse que tales decisiones de implementación suponen un apartamiento del alcance de la presente divulgación.

Los diversos bloques lógicos, módulos y circuitos ilustrativos descritos en relación con la divulgación en el presente documento pueden implementarse o realizarse con un procesador de propósito general, con un procesador de señales digitales (DSP), con un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), con una matriz de puertas de campo programable (FPGA) o con otro dispositivo de lógica programable, lógica de transistor o de puertas discretas, componentes de hardware discretos, o con cualquier combinación de los mismos diseñada para realizar las funciones descritas en el presente documento. Un procesador de propósito general puede ser un microprocesador pero, como alternativa, el procesador puede ser cualquier procesador, controlador, microcontrolador o máquina de estados convencional. Un procesador también puede implementarse como una combinación de dispositivos informáticos, por ejemplo una combinación de un DSP y un microprocesador, una pluralidad de microprocesadores, uno o más microprocesadores junto con un núcleo de DSP o cualquier otra configuración de este tipo.

Las etapas de un procedimiento o algoritmo descrito en relación con la divulgación del presente documento pueden realizarse directamente en hardware, en un módulo de software ejecutado por un procesador o en una combinación de los dos. Un módulo de software puede residir en memoria RAM, memoria flash, memoria ROM, memoria

5 EPROM, memoria EEPROM, registros, un disco duro, un disco extraíble, un CD-ROM o en cualquier otra forma de medio de almacenamiento conocida en la técnica. Un medio de almacenamiento a modo de ejemplo está acoplado al procesador de manera que el procesador pueda leer información de, y escribir información en, el medio de almacenamiento. Como alternativa, el medio de almacenamiento puede ser una parte integrante del procesador. El procesador y el medio de almacenamiento pueden residir en un ASIC. El ASIC puede residir en un terminal de usuario. Como alternativa, el procesador y el medio de almacenamiento pueden residir como componentes discretos en un terminal de usuario.

10 En uno o más diseños a modo de ejemplo, las funciones descritas pueden implementarse en hardware, software, firmware o en cualquier combinación de los mismos. Si se implementan en software, las funciones pueden almacenarse en o transmitirse como una o más instrucciones o código en un medio legible por ordenador. Los medios legibles por ordenador incluyen tanto medios de almacenamiento informáticos como medios de comunicación, incluyendo cualquier medio que facilite la transferencia de un programa informático de un lugar a otro. Los medios de almacenamiento pueden ser cualquier medio disponible al que pueda accederse mediante un ordenador de fin general o de fin especial. A modo de ejemplo, y no de manera limitativa, tales medios legibles por ordenador pueden comprender RAM, ROM, EEPROM, CD-ROM u otro almacenamiento de disco óptico, almacenamiento de disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que pueda usarse para transportar o almacenar medios de código de programa deseado en forma de instrucciones o estructuras de datos y al que pueda accederse mediante un ordenador de propósito general o de propósito especial, o mediante un procesador de propósito general o de propósito especial. Además, cualquier conexión puede denominarse de manera apropiada medio legible por ordenador. Por ejemplo, si el software se transmite desde un sitio web, un servidor u otra fuente remota usando un cable coaxial, un cable de fibra óptica, un par trenzado, una línea de abonado digital (DSL) o tecnologías inalámbricas tales como infrarrojos, radio y microondas, entonces el cable coaxial, el cable de fibra óptica, el par trenzado, la DSL o las tecnologías inalámbricas tales como infrarrojos, radio y microondas se incluyen en la definición de medio. Los discos, como se usan en el presente documento, incluyen discos compactos (CD), discos de láser, discos ópticos, discos versátiles digitales (DVD), discos flexibles y discos Blu-ray, donde los discos normalmente reproducen datos de manera magnética así como de manera óptica con láser. Las combinaciones de lo anterior también deben incluirse dentro del alcance de los medios legibles por ordenador.

30 La anterior descripción de la divulgación se proporciona para permitir que cualquier experto en la técnica realice o use la divulgación. Diversas modificaciones de la divulgación resultarán fácilmente evidentes a los expertos en la técnica, y los principios genéricos definidos en el presente documento pueden aplicarse a otras variaciones sin apartarse del alcance de la divulgación. Por tanto, la divulgación no pretende limitarse a los ejemplos y diseños descritos en el presente documento, sino que se le concede el alcance más amplio compatible con los principios y características novedosas dados a conocer en el presente documento.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento para una comunicación inalámbrica realizada por un nodo en un conjunto de nodos (110a-110e) en una red inalámbrica, en el que el nodo es un nodo de estación base o un nodo relé que comprende:
- 10 computar (316) métricas locales para una pluralidad de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos en el nodo en el conjunto de nodos (110a-110e), en el que las métricas locales computadas son indicativas del rendimiento del nodo para un reparto de recursos determinado;
- 15 recibir (320) métricas locales para la pluralidad de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos desde al menos un nodo vecino en el conjunto de nodos (110a-110e), en el que las métricas locales recibidas son indicativas del rendimiento del al menos un nodo vecino para el reparto de recursos determinado;
- 20 obtener (512) métricas totales para la pluralidad de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos para asignar recursos disponibles al conjunto de nodos (110a-110e), incluyendo determinar (322) las métricas totales para la pluralidad de acciones posibles en base a las métricas locales computadas y las métricas locales recibidas, en el que las métricas totales son indicativas del rendimiento total del conjunto de nodos (110a-110e) para el reparto de recursos determinado; y
- determinar (514) la asignación de los recursos disponibles al conjunto de nodos (110a-110e) en base a las métricas totales para la pluralidad de acciones posibles.
- 25 2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cada acción posible está asociada a un conjunto de perfiles de uso de recursos para el conjunto de nodos (110a-110e), un perfil de uso de recursos para cada nodo, indicando cada perfil de uso de recursos el uso permitido de los recursos disponibles por un nodo particular y/o en el que los recursos disponibles son para enlace descendente, y en el que cada perfil de uso de recursos comprende una lista de niveles de densidad espectral de potencia de transmisión, PSD, para los recursos disponibles, un nivel PSD de transmisión para cada recurso disponible; o en el que, los recursos disponibles son para el enlace ascendente, y en el que cada perfil de uso de recursos comprende una lista de niveles de interferencia sobre térmico diana, IoT, para los recursos disponibles, un nivel IoT diana para cada recurso disponible.
- 30 3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que una métrica local para una acción posible es indicativa del rendimiento conseguido por un nodo en el conjunto de nodos (110a-110e) para la acción posible, y en el que una métrica total para una acción posible es indicativa del rendimiento total conseguido por el conjunto de nodos (110a-110e) para la acción posible.
- 35 4. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
- 40 enviar (318) las métricas locales computadas a al menos un nodo vecino para permitir que el al menos un nodo vecino compute las métricas totales para la pluralidad de acciones posibles; o
- 45 en el que la determinación (322) de las métricas totales comprende, para cada acción posible, combinar una métrica local computada por el nodo para la acción posible con al menos una métrica local recibida desde el al menos un nodo vecino para la acción posible para obtener una métrica total para la acción posible; o
- 50 en el que cada acción posible está asociada a un conjunto de perfiles de uso de recursos para el conjunto de nodos (110a-110e), y en el que la computación de las métricas locales comprende, para cada acción posible,
- 55 determinar al menos una velocidad para al menos un equipo de usuario, UE (120a-120g), que comunica con el nodo en base al conjunto de perfiles de uso de recursos asociados a la acción posible, y
- determinar una métrica local para la acción posible en base a, al menos, una velocidad.
- 60 5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que la determinación de la al menos una velocidad comprende determinar la al menos una velocidad para el al menos un UE (120a-120g) en base adicionalmente a las ganancias de canal entre cada UE (120a-120g) y el conjunto de nodos (110a-110e).
- 65 6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que las métricas locales para la pluralidad de acciones posibles se computan en base a una función de velocidad, o latencia, o tamaño de la cola, o una combinación de los mismos.

7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que las métricas locales para la pluralidad de acciones posibles se computan en base a una función de la suma de velocidades, o un mínimo de velocidades, o la suma de cantidades determinadas en base a las velocidades.
- 5 8. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que cada una de la pluralidad de acciones posibles afecta únicamente a uno de los recursos disponibles; o
- 10 en el que cada nodo en el conjunto de nodos (110a-110e) está asociado a una lista de niveles de densidad espectral de potencia de transmisión, PSD, para los recursos disponibles, y en el que cada acción posible cambia la PSD de transmisión como mucho en un nivel para cualquier nodo en el conjunto de nodos (110a-110e); o
- 15 en el que se soporta un conjunto de tipos de acción, y en el que cada una de la pluralidad de acciones posibles es de una del conjunto de tipos de acciones; y/o
- 20 en el que la pluralidad de acciones posibles comprende primeras acciones posibles para un nodo que aumentan su densidad espectral de potencia de transmisión, PSD, o segundas acciones posibles para el nodo que disminuyen su PSD de transmisión, o terceras acciones posibles para uno o más nodos vecinos que aumentan su PSD de transmisión, o cuartas posibles acciones para el uno o más nodos vecinos que disminuyen su PSD de transmisión, o quintas acciones posibles para el nodo que aumentan su PSD de transmisión y el uno o más nodos vecinos que disminuyen su PSD de transmisión, o sextas acciones posibles para el nodo que disminuyen su PSD de transmisión y el uno o más nodos vecinos que aumentan su PSD de transmisión, o una combinación de las mismas.
- 25 9. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que cada uno del al menos un UE (120a- 120g) está asociado a un conjunto activo de nodos (110a-110e) que tiene una calidad de señal recibida y una intensidad de señal recibida por encima de un umbral.
- 30 10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el conjunto de nodos (110a-110e) incluye nodos en los conjuntos activos de los UE (120a-120g) que comunican con los nodos o nodos que dan servicio a los UE (120a-120g) que tienen conjuntos activos que incluyen los nodos, o ambos; o
- 35 en el que un primer subconjunto de las métricas locales computadas y un primer subconjunto de las métricas locales recibidas se intercambian entre el nodo y el al menos un nodo vecino periódicamente; y/o
- 40 en el que a segundo subconjunto de las métricas locales computadas y un segundo subconjunto de las métricas locales recibidas se intercambian entre el nodo y el al menos un nodo vecino cuando se solicita.
- 45 11. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que la determinación de la asignación de los recursos disponibles comprende
- seleccionar una de la pluralidad de acciones posibles en base a las métricas totales para la pluralidad de acciones posibles, y
- determinar la asignación de los recursos disponibles a un nodo en el conjunto de nodos (110a-110e) en base a un perfil de uso de recursos asociado a la acción seleccionada y aplicable para el nodo; y/o
- comprende además:
- 50 planificar la transmisión de datos para al menos un equipo de usuario, UE (120a-120g), en los recursos disponibles en base al perfil de uso de recursos para el nodo.
- 55 12. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el conjunto de nodos (110a-110e) incluye un primer nodo que tiene un primer nivel de potencia de transmisión máxima y un segundo nodo que tiene un segundo nivel de potencia de transmisión que es diferente del primer nivel de potencia de transmisión.
- 60 13. Un nodo para comunicación inalámbrica, en el que el nodo (110a-110e) es un nodo de estación base o un nodo relé que comprende:
- medios para computar (316) métricas locales para una pluralidad de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos en el nodo en un conjunto de nodos (110a-110e), en el que las métricas locales computadas son indicativas del rendimiento del nodo para un reparto de recursos determinado.
- 65 medios para recibir (320) métricas locales para la pluralidad de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos desde al menos un nodo vecino en el conjunto de nodos (110a-110e), en el que las

métricas locales recibidas son indicativas del rendimiento de al menos un nodo vecino para el reparto de recursos determinado,

5 medios para obtener métricas totales para la pluralidad de acciones posibles relacionadas con el reparto de recursos para asignar recursos disponibles al conjunto de nodos (110a-110e), incluyendo medios para determinar las métricas totales para la pluralidad de acciones posibles en base a las métricas locales computadas y las métricas locales recibidas, en el que las métricas totales son indicativas del rendimiento total del conjunto de nodos (110a-110e) para el reparto de recursos determinado; y

10 medios para determinar (514) la asignación de los recursos disponibles al conjunto de nodos (110a-110e) en base a las métricas totales para la pluralidad de acciones posibles.

14. Un producto de programa informático, que comprende:

15 un medio legible por ordenador, que comprende:

código para hacer que al menos un ordenador realice todas las etapas del procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.

20

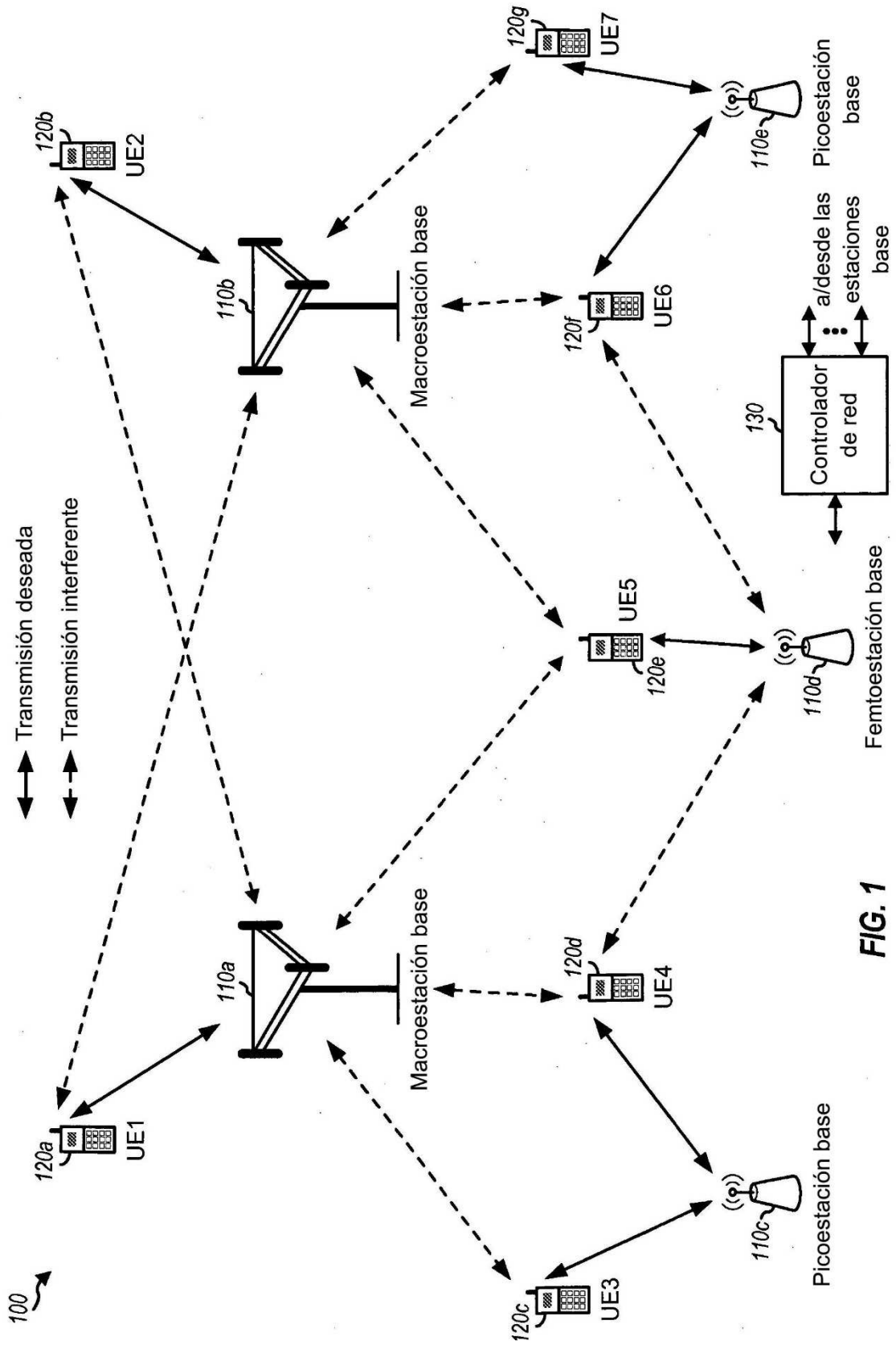


FIG. 1

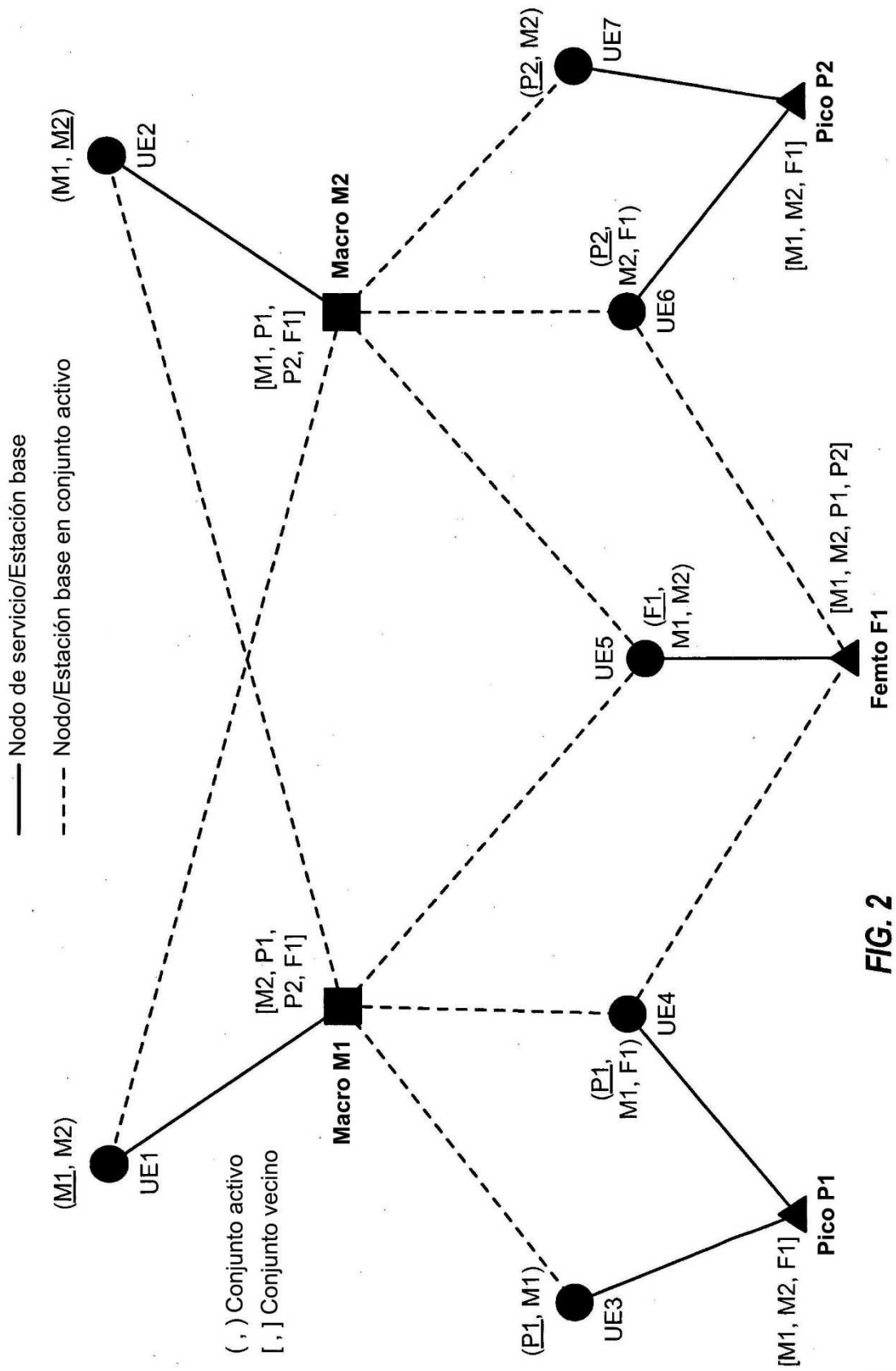


FIG. 2

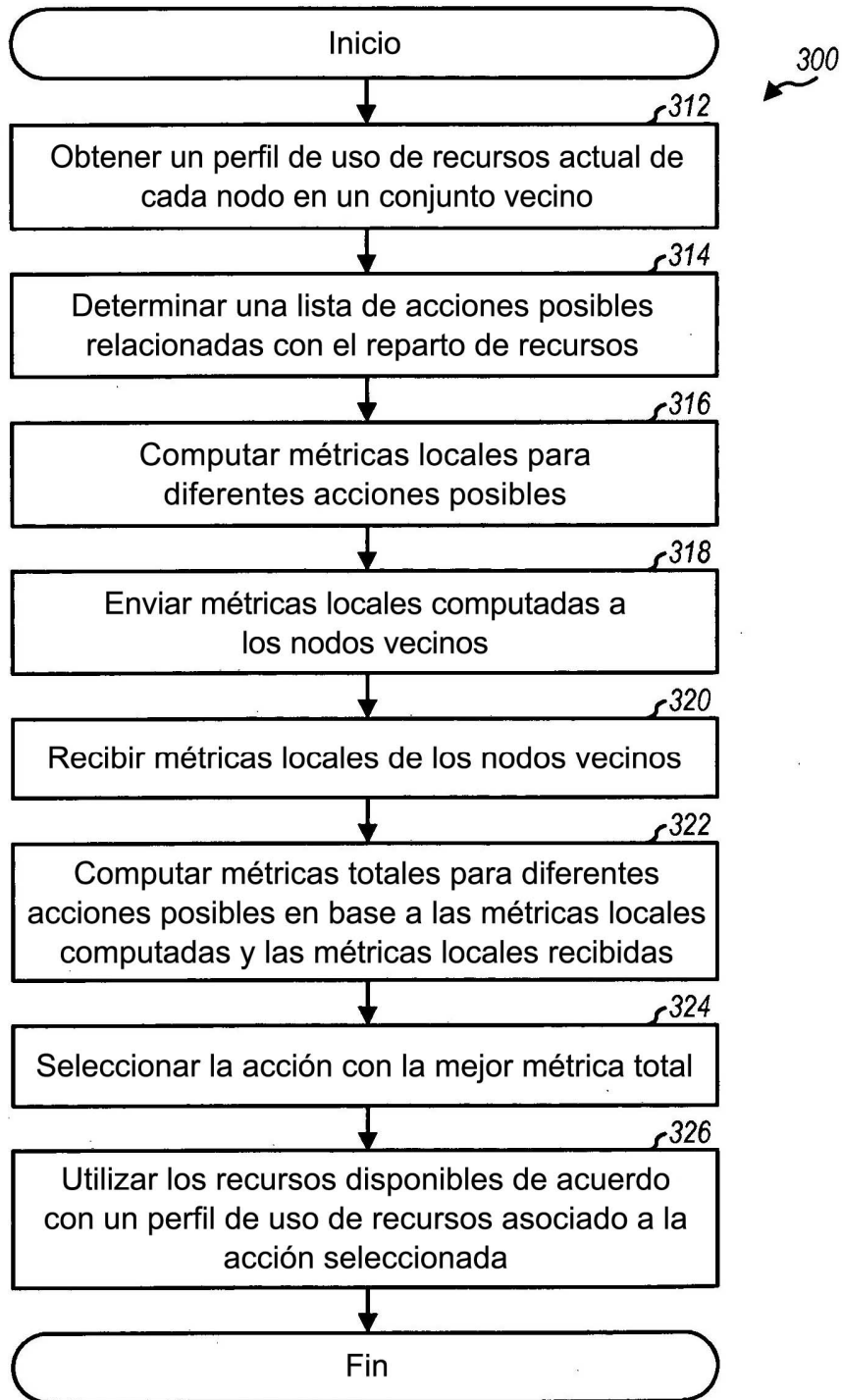


FIG. 3

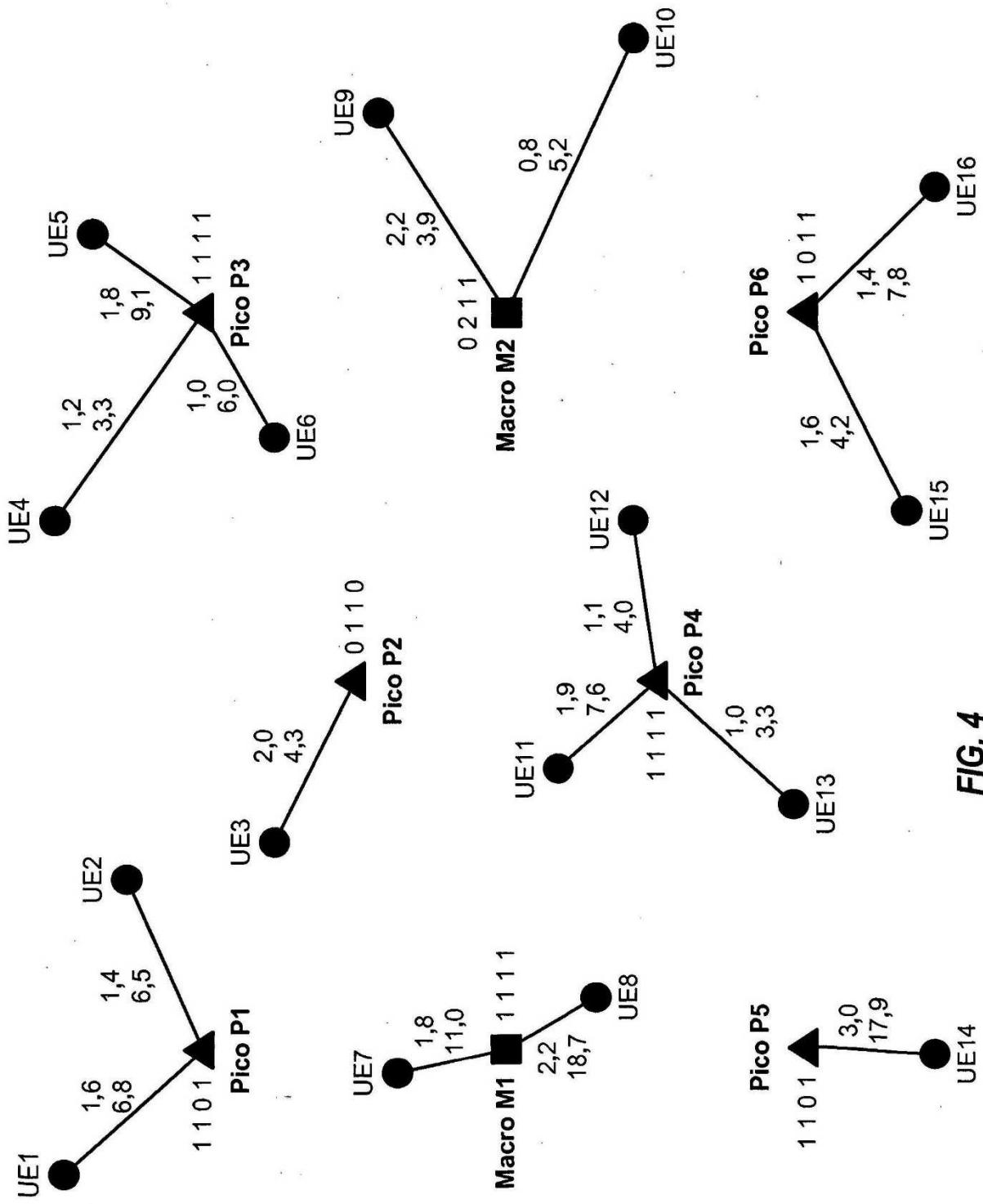


FIG. 4

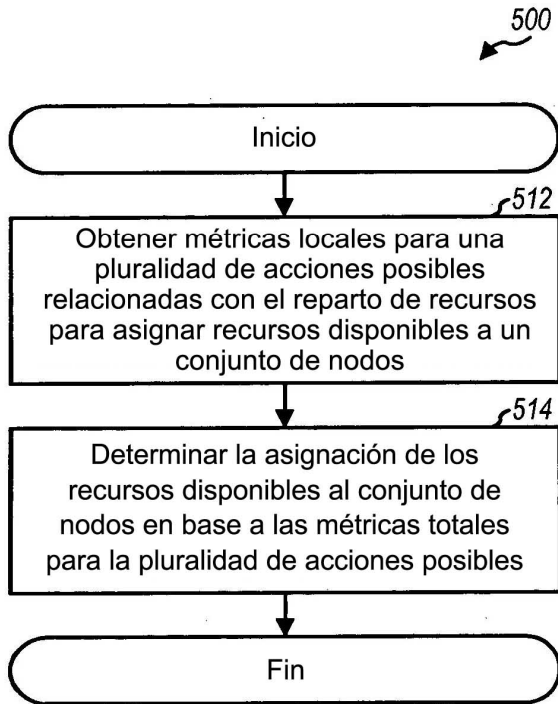


FIG. 5

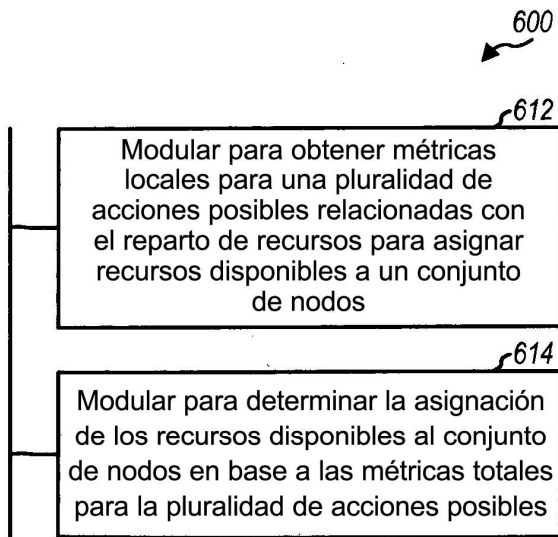


FIG. 6

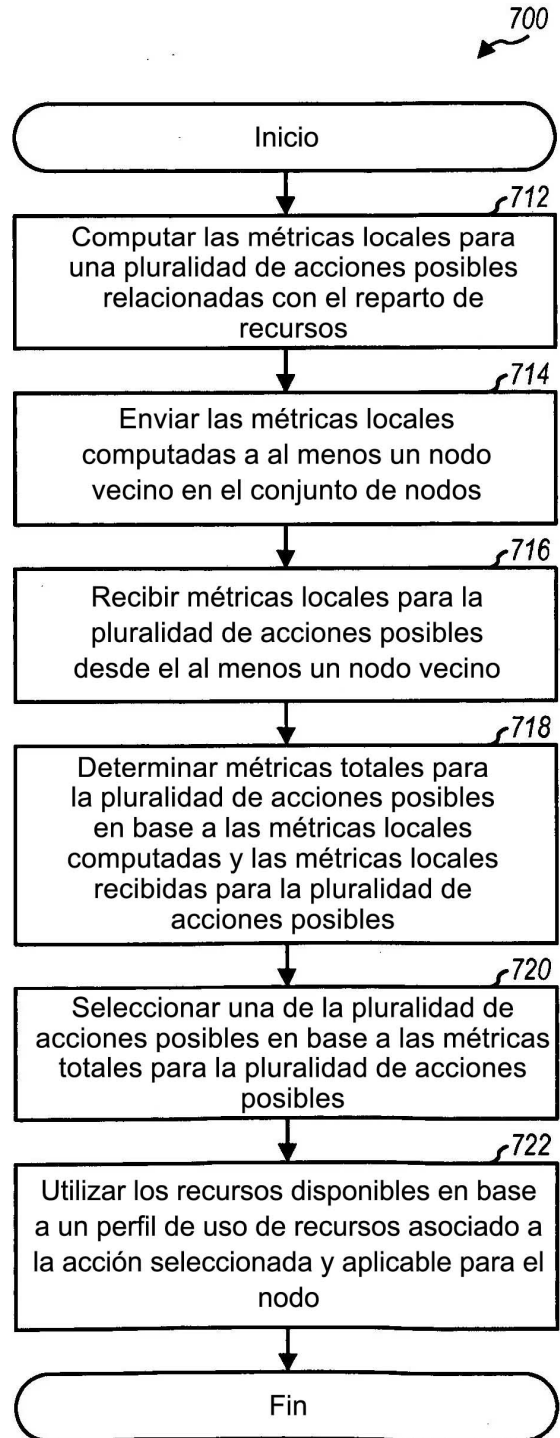


FIG. 7

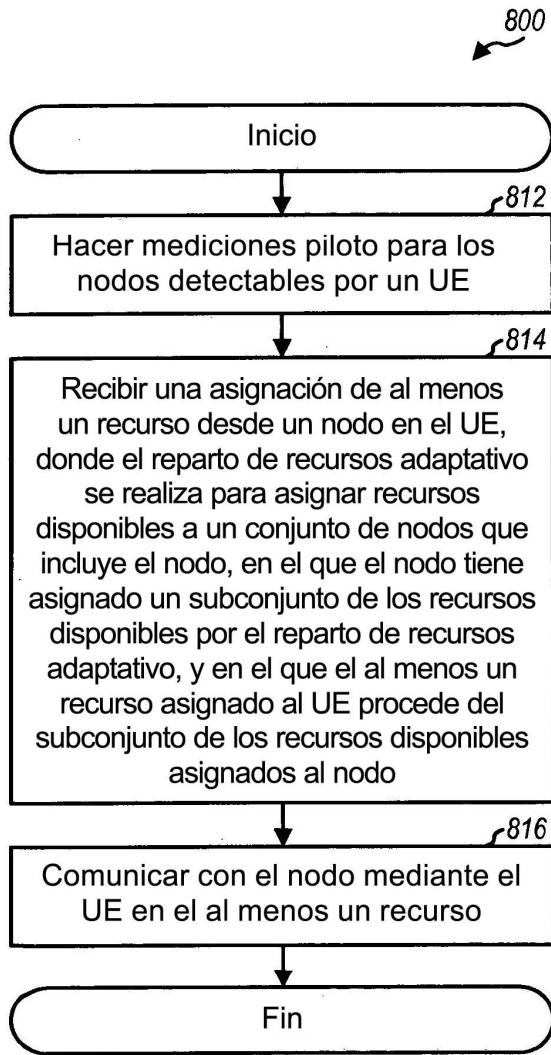


FIG. 8

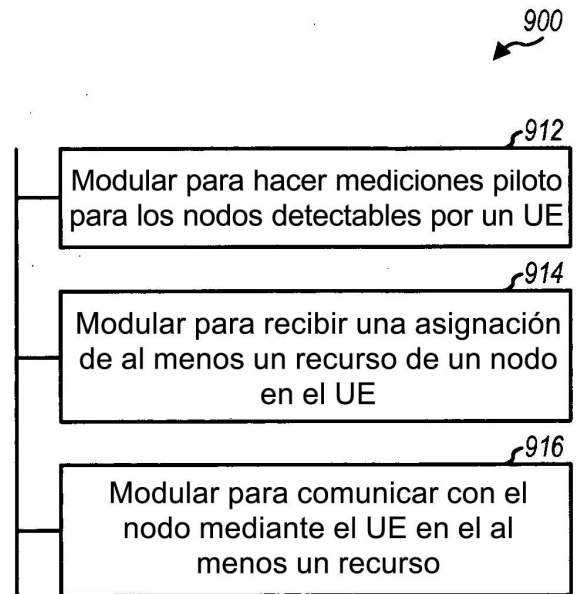


FIG. 9

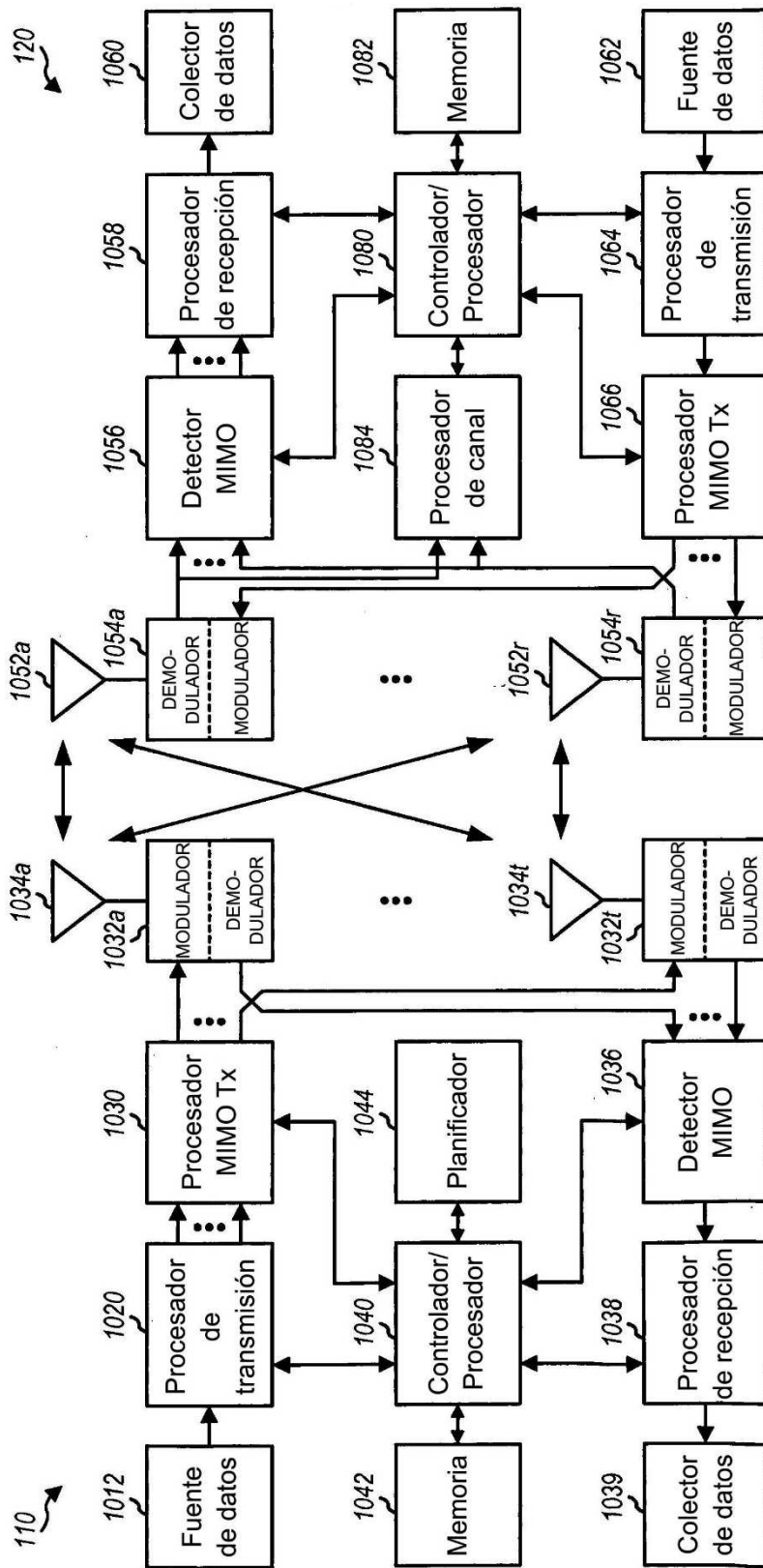


FIG. 10