

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 035**

51 Int. Cl.:
H04W 72/08 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08760347 .8**
96 Fecha de presentación: **02.06.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2272297**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.01.2011**

54 Título: **Procedimiento de asignación eficiente de canal en sistemas inalámbricos**

30 Prioridad:
06.05.2008 ES 200801308

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
21.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
21.03.2012

73 Titular/es:
**Fundacio Privada Centre Tecnologic de
Telecomunicacions de Catalunya
Parc Mediterrani De La Tecnologia, Avda. Canal
Olimpic S/n
08860 Castelldefels (Barcelona), ES**

72 Inventor/es:
**ZORBA BARAH, Nizar;
VERIKOUKIS, Christos y
PEREZ-NEIRA, Ana, Isabel**

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

ES 2 377 035 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

Procedimiento de asignación eficiente de canal en sistemas inalámbricos

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a sistemas inalámbricos y, en particular, a escenarios multiusuario de enlace descendente en tales sistemas, en los que diferentes usuarios tienen diferente calidad de demandas de servicio (QoS).

Estado de la técnica

10 La demanda de uso de redes inalámbricas que soporten aplicaciones sensibles a retardo en tiempo real como voz, descarga y reproducción de vídeo en tiempo real o juegos en línea ha estado creciendo extraordinariamente durante los últimos años. Sin embargo, los sistemas inalámbricos actuales no cumplen con los requisitos estrictos de Calidad de Servicio (QoS) en cuanto a velocidad de transmisión mínima permitida, retardo de planificación máximo permitido, tasa de transferencia mínima garantizada y/o variación de retardo permitida para tales aplicaciones. El hecho de que los entornos inalámbricos estén caracterizados por un escenario severo para las comunicaciones añade ciertas dificultades para garantizar la QoS en los sistemas inalámbricos, donde el canal
15 inalámbrico adolece de múltiples efectos no deseados como desvanecimientos intensos y recorrido múltiple que producen errores en la información original. Por lo tanto, proporcionar QoS usando los escasos recursos del medio inalámbrico es un aspecto que constituye un reto para tal objetivo del sistema.

20 Se dispone de diferentes nociones de QoS en diferentes capas de comunicación. En la capa física, QoS significa un nivel aceptable de relación señal/ruido (SNR) o tasa de bits erróneos (BER) en el receptor, mientras que en el control de enlace de datos (DLC) o las capas superiores la QoS se expresa normalmente en función de la tasa de transferencia mínima garantizada, retardo máximo permitido y/o variación de retardo permitida. El cumplimiento de los requisitos de QoS depende de los procedimientos que siga cada capa. En la capa DLC, las garantías de QoS pueden proporcionarse mediante algoritmos apropiados de planificación y asignación de recursos, mientras que en la capa física, se usa adaptación de potencia de transmisión, nivel de modulación o velocidad de símbolos para
25 mantener la calidad del enlace.

30 Por otra parte, la consideración de las características de transmisión de la capa física desde las capas superiores puede mejorar considerablemente la eficiencia de los sistemas inalámbricos. El acoplamiento vertical entre capas es bien conocido como diseño entre capas (Cross-Layer). El diseño entre capas entre la capa física y las capas superiores parece ser inevitable en entornos inalámbricos para aprovechar las condiciones instantáneas de la capa física. Se necesita tal clase de esquemas para garantizar los requisitos de QoS en sistemas de tráfico heterogéneo, donde la red incluye usuarios con diferentes aplicaciones y diferentes restricciones de QoS. Ventajas adicionales del diseño entre capas pueden incluir mejoras en cuanto a tasa de transferencia del enlace, reducción de la latencia de red, ahorros de energía en los nodos móviles o minimización de la potencia transmitida.

35 Una observación interesante con respecto a la conformidad con la QoS en sistemas inalámbricos comerciales se refiere al concepto de incumplimiento (del inglés "outage"), donde debido a las características del canal inalámbrico, es imposible la satisfacción del 100% de las demandas de QoS estrictas, por lo que se conoce como incumplimiento en los requisitos de QoS. La noción de incumplimiento se usa ampliamente en sistemas celulares donde varios sistemas comerciales (por ejemplo, GSM y WCDMA) permiten del 2 al 5% de incumplimiento. Por lo tanto, la extensión del incumplimiento de QoS a todos los sistemas inalámbricos, cuando ejecutan aplicaciones
40 sensibles al retardo, parece ser el enfoque más manejable para valorar su eficiencia.

Con respecto a los conceptos anteriormente mencionados en un sistema de enlace descendente con tráfico heterogéneo, varias propuestas en la bibliografía y la comunidad industrial abordan la consideración de cola dinámica para satisfacer el requisito de retardo de planificación máximo permitido:

45 Q. Zhao y L. Tong proponen, en el documento "A dynamic queue MAC protocol for random access channels with multipacket reception", Signals, Systems and Computers, 2000. En el documento Conference Record of the Thirty-Fourth Asilomar Conference en el volumen 2, 29 octubre-1 noviembre de 2000, página(s): 1235-1239 vol. 2, se propone un protocolo MAC para un canal con intervalos de tiempo de usuarios finitos con capacidad de recepción de múltiples paquetes (MPR). Cambiando adaptativamente el tamaño de la clase de contención (definida como un subconjunto de usuarios que pueden acceder al canal al mismo tiempo) según la carga de tráfico y la capacidad
50 MPR del canal, el protocolo de cola dinámica propuesto proporciona superior eficiencia de canal con carga de tráfico alta y retardo mínimo con carga de tráfico baja. Sin embargo, este protocolo es dinámico en cuanto a la cola de carga de tráfico y no se ocupa del problema de tener diferentes usuarios con diferentes demandas de calidad de servicio (QoS).

55 B. Ata, en el documento "Dynamic control of a multiclass queue with this arrival streams", Operations Research, volumen 54, número 5, septiembre de 2006, páginas 876-892, 2006 ISSN: 0030-364X, considera un problema de

control de admisión para una cola multiclase de servidor único. El sistema de producción da servicio a múltiples flujos de demanda, que tienen cada uno un tiempo de espera de plazo de vencimiento rígido. Para cumplir con las limitaciones de plazo de vencimiento, un administrador de sistema puede rechazar órdenes cuando se juzga que una acumulación de trabajo es excesiva, incurriendo así en ingresos perdidos. Sin embargo, en este documento, las clases de servicio son rechazadas basándose en umbrales de carga (paquetes en la cola) predefinidos y en el retardo medio.

H. Choi y col., en el documento "Dynamic Queue Management Mechanism for Service Enhancement in Wireless Intelligent network Environment", Globecom 1999, volumen 1A, 1999, página(s): 16-20 vol. 1a, proponen una característica de servicio de formación de cola de forma dinámica para mejora de servicio según el incremento de abonados al servicio y su movilidad. Además, proponen un Administrador de Cola Dinámica que maneja el tamaño de la cola para incrementar las tasas de finalización de llamada para mejoras de servicio en entornos de redes inteligentes inalámbricas. Sin embargo, no se ocupa del problema de tener diferentes usuarios con diferentes demandas de calidad de servicio (QoS).

En el documento "Performance analysis of a dynamic priority queue for traffic control of bursty traffic in ATM networks", Communications, IEE Proceedings- volumen 148, número 3, junio de 2001 página(s): 181-187, Choi, D.I. y col. describen diversos requisitos de QoS de tráfico a ráfagas y se propone y analiza una cola de prioridad dinámica con dos tipos de tráfico. El sistema tiene dos memorias intermedias separadas para alojar dos tipos de clientes, suponiéndose que las capacidades de las memorias intermedias son finitas para aplicaciones prácticas. El orden de servicio sólo está determinado por la longitud de la cola de la primera memoria intermedia.

La solicitud de patente internacional WO2004/06882A1 describe un procedimiento para determinar la asignación óptima de recursos entre clases de servicios. Sin embargo, la planificación descrita está basada en una función de idoneidad, donde el planificador tiene en cuenta la longitud de la memoria intermedia de cada usuario, que puede ser variable (dinámica) basada en la carga de servicio de la aplicación. En un documento de Nizar Zorba y col.: Global Telecommunications Conference 2007, Globecom '07, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 1-11-2007, páginas 4296-4300, se ha publicado "CAC for Multibeam Opportunistic Schemes in Heterogeneous WiMax Systems under QoS constraints".

Sumario de la invención

La presente invención se ocupa del problema anteriormente mencionado de tener diferentes usuarios con diferentes demandas de calidad de servicio (QoS) instantánea. Se propone un procedimiento para ajustar dinámicamente la longitud de la cola de usuarios en la capa de control del enlace de datos en un sistema inalámbrico de enlace descendente con tráfico heterogéneo usando las mediciones de QoS instantánea.

Se presenta un entorno heterogéneo con diferentes demandas de calidad de servicio (QoS) por aplicación. Los requisitos de QoS instantánea para cada usuario están basados en sus demandas de aplicación actuales, de manera que el procedimiento tiene que satisfacer la QoS para cada usuario, donde las demandas de QoS son muy variables entre las aplicaciones. Tal procedimiento considera las características tanto de la capa física como de la de aplicación. El planificador de cola de trabajo siempre acepta el grupo de usuarios con las demandas de QoS más estrictas, y acepta secuencialmente otros grupos de usuarios que tienen prioridades más bajas (sólo cuando la satisfacción de las QoS de los grupos de usuarios previos está garantizada con un cierto incumplimiento). La longitud de la cola depende de los requisitos de QoS instantánea del sistema, en cuanto a velocidad de transmisión mínima permitida de usuario, tasa de transferencia del sistema y el retardo de planificación máximo permitido (y fluctuación) de las aplicaciones sensibles al retardo, donde se considera algún incumplimiento en los requisitos de QoS instantánea de estas aplicaciones. En otras palabras, el ajuste de cola dinámica propuesto representa la satisfacción de QoS instantánea para todos los usuarios: el planificador da prioridad a los usuarios que ejecutan aplicaciones sensibles a la QoS con respecto a usuarios que ejecutan aplicaciones menos sensibles a la QoS.

Un objetivo principal de la presente invención es proporcionar un procedimiento para asignar eficientemente un canal de enlace descendente desde un transmisor hasta un usuario seleccionado de una pluralidad de usuarios en una red inalámbrica proporcionando diferentes aplicaciones de servicio a dichos usuarios, que comprende las etapas de: en una cola del control de enlace de datos (DLC) del transmisor, clasificar una pluralidad de M paquetes de la capa de aplicación que han de ser transmitidos a la pluralidad de usuarios, basándose tal clasificación en una demanda de calidad de servicio asociada a cada paquete de la capa de aplicación, estando a su vez esas demandas de calidad de servicio asociadas a clases de aplicaciones respectivas, teniendo dicha cola de DLC longitud M, siendo M un número natural, correspondiendo esos M paquetes a P usuarios de dicha pluralidad de usuarios, en la que $P \leq M$. El procedimiento también comprende las etapas de: cambiar dinámicamente la longitud M de la cola de DLC en función de los diferentes valores instantáneos de las demandas de calidad de servicio de las diferentes aplicaciones de servicio a las que se refieren esos paquetes de la capa de aplicación, ajustando así el punto de funcionamiento de la red; y en un planificador del transmisor, asignar un canal al usuario que tenga las mejores condiciones del canal de dicho grupo de P usuarios.

Preferentemente, las demandas de calidad de servicio son función de al menos uno de lo siguiente: un retardo por planificación máximo permitido, una velocidad de transmisión mínima permitida y una tasa de transferencia mínima garantizada.

5 Preferentemente, las demandas de calidad de servicio se calculan teniendo en cuenta un valor de incumplimiento predefinido.

En una realización particular, las demandas de calidad de servicio son función de un retardo por planificación máximo permitido.

En otra realización particular, las demandas de calidad de servicio son función de un retardo por planificación máximo permitido y una velocidad de transmisión mínima permitida.

10 En otra realización particular, las demandas de calidad de servicio son función de un retardo por planificación máximo permitido, una velocidad de transmisión mínima permitida y una tasa de transferencia mínima garantizada. En esta situación, el valor de M se calcula a partir de una expresión particular detallada más adelante.

En una realización particular, se evalúan las mejores condiciones del canal a partir de un valor medido de la relación señal/ruido para cada usuario.

15 Otro objeto de la presente invención es proporcionar un transmisor que comprende medios adaptados para llevar a cabo las etapas del procedimiento ya descrito.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar una estación base que comprende al menos ese transmisor.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema de comunicaciones inalámbricas que comprende al menos esa estación base.

20 Por último, un objeto más de la presente invención es proporcionar un programa informático que comprende medios de código de programa informático adaptados para realizar las etapas del procedimiento mencionado cuando el programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señal digital, una matriz de puertas programable in situ, un circuito integrado específico de aplicación, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.

25 Las ventajas de la invención propuesta resultarán evidentes en la siguiente descripción.

Breve descripción de los dibujos

Para completar la descripción y para procurar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman parte integral de la descripción e ilustran una realización preferida de la invención, que no debe interpretarse como restrictiva del alcance de la invención, sino sólo como ejemplo de cómo puede plasmarse la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

30 las figuras 1a y 1b muestran un diagrama de bloques de una red inalámbrica para llevar a cabo el procedimiento de la presente invención;

la figura 2 muestra un diagrama del esquema de longitud de cola dinámica según una realización de la presente invención;

35 las figuras 3a-3b muestran dos gráficos con resultados de simulaciones del procedimiento de la invención;

la figura 4 muestra una tasa de transferencia mínima garantizada para una longitud de cola de capa DLC e incumplimiento variable.

Descripción de realizaciones preferidas de la invención

40 En el contexto de la presente invención, debe entenderse que el término "aproximadamente" y los términos de su familia (como "aproximado", "aproximación", etc.) indican valores o formas muy próximos a los que acompañan al término anteriormente mencionado. Es decir, debe aceptarse una desviación dentro de límites razonables respecto a un valor o forma exactos, porque el experto en la técnica entenderá que tal desviación respecto a los valores o formas indicados es inevitable debido a inexactitudes de medición, etc. Se aplica lo mismo a los términos "alrededor de" y "casi".

En este contexto, a continuación se definen las siguientes expresiones:

45 "Retardo por planificación": teniendo un paquete esperando en un planificador ("scheduler") para ser transmitido, donde el paquete corresponde a cierto usuario en un escenario de múltiples usuarios, el retardo por planificación máximo se define como el tiempo máximo requerido para hacer que el paquete sea recibido correctamente en su destino.

"Instantáneo": En lugar de medidas *medias* de velocidad de transmisión, retardo, tasa de transferencia o cualquier otro

parámetro de QoS, algunas aplicaciones demandan medidas *instantáneas* para funcionar correctamente. Esto implica, en este contexto, que los paquetes tienen que ser transmitidos en un intervalo de tiempo dado y no sobre la media de intervalos de tiempo. Este término "instantáneo" se aplica especialmente a "QoS". Por lo tanto, los usuarios piden que las demandas de QoS sean satisfechas en un cierto intervalo de tiempo (es decir, "instantáneamente").

5 "Clasificación" o "ranking": se refiere a ordenación de paquetes, del paquete que demanda la QoS más estricta al paquete que demanda la QoS menos estricta. La ordenación puede ser física, de manera que los paquetes se ordenan en alguna memoria física (por ejemplo, cola, memoria intermedia, etc.) o virtual, de manera que los paquetes se ordenan en alguna lista en la unidad administradora de sistema.

10 En este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (como "comprendiendo", etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir más elementos, etapas, etc.

15 La figura 1a es una representación esquemática del sistema según una realización de la invención. Una red inalámbrica comprende una pluralidad de estaciones base, comprendiendo cada una de ellas uno o más transmisores. La figura 1a ilustra un transmisor 1 de una estación base. El sistema es, por ejemplo, un sistema de red de área local inalámbrica (WLAN). Otros ejemplos no limitativos del sistema son Wimax, LTE y UMTS-HSDPA.

20 Según se muestra en la figura 1a, el transmisor 1 puede comprender n_t antenas transmisoras 10-1, 1-2,... 10- n_t . Cada una de las n_t antenas transmisoras 10-1, 10-2,... 10- n_t es capaz de enviar un flujo de datos en cada instante de tiempo. El sistema está habilitado con múltiples códigos, frecuencias y antenas. Por simplicidad, la presentación matemática se hace teniendo en cuenta un transmisor que tiene un único código, una única frecuencia y una única antena transmisora, según se ilustra en la figura 1b.

25 El sistema también comprende una pluralidad de terminales móviles. La figura 1a muestra N terminales móviles, receptores o usuarios 30-1, 30-2,... 30-N conectados a dicho transmisor 1. Cada uno de dichos N terminales móviles, receptores o usuarios está equipado con una única o múltiples antenas receptoras 30-1₁,... 30-1_{Z1}, 30-2₁,... 30-2_{Z2}, 30-N₁,... 30-N_{ZN}. Aunque cada uno de los N usuarios puede tener una única o varias antenas receptoras 30-1₁,... 30-1_{Z1}, 30-2₁,... 30-2_{Z2}, 30-N₁,... 30-N_{ZN}, según se ilustra en la figura 1a, por simplicidad, la presentación matemática se hace con una única antena 30-1₁,... 30-N₁ por usuario, según se ilustra en la figura 1b.

En las figuras 1a-1b se muestra un canal multiusuario 2 a través del cual se intercambia información entre el transmisor 1 y los N terminales móviles, receptores o usuarios 30-1, 30-2,... 30-N. A partir de ahora, se usará el término "usuarios" para referirse a los N terminales móviles, receptores o usuarios 30-1, 30-2,... 30-N.

30 La invención se centra en el canal de enlace descendente (desde el transmisor 1 hasta los N usuarios móviles 30-1, 30-2,... 30-N) donde cada uno de los N usuarios está equipado con una única antena receptora 30-1₁, 30-2₁,... 30-N₁ y a los usuarios les da servicio el transmisor 1, que está provisto de una única antena transmisora 10-1. Esta realización se muestra en la figura 1b.

35 En una realización particular se considera un escenario heterogéneo de una red inalámbrica, donde los usuarios ejecutan cualquiera de J clases de aplicaciones diferentes, $J > 1$. Un usuario puede ejecutar simultáneamente varias aplicaciones que tienen diferentes clases respectivas. Por simplicidad, se supone que un usuario ejecuta una única aplicación durante un cierto periodo de tiempo. Esta red inalámbrica proporciona a los usuarios 30-1, 30-2,... 30-N diferentes aplicaciones de servicio. Por ejemplo, la clase 1 representa usuarios de voz (la aplicación más sensible al retardo) y tiene la prioridad más alta, mientras que la Clase J es la clase de datos genéricos de prioridad más baja. En una realización particular, $J=4$, pero el escenario no está limitado a cuatro clases.

45 En una realización particular, se considera un canal $h(t)$ entre cada uno de los usuarios 30-1, 30-2, ... 30-N y la estación base (transmisor 1), donde se supone un modelo de desvanecimiento de bloques cuasi estático (del inglés "quasi-static block fading model") que se mantiene constante durante el tiempo de coherencia, y cambia independientemente entre intervalos de tiempo consecutivos con entradas gaussianas complejas independientes y distribuidas idénticamente (i.i.d.), con media cero y varianza unitaria. Por lo tanto, se supone que cada usuario 30-1, 30-2,... 30-N se mantiene fijo durante cada bloque con desvanecimiento y se permite que se desplace de bloque a bloque, de manera que para el objetivo de QoS, este modelo captura las fluctuaciones instantáneas de canal con mejor aproximación que el modelo de anillos circulares. El tipo de canal $h(t)$ está fuera del alcance de la presente invención. Puede considerarse cualquier otro tipo de canal.

50 Supongamos que $s_i(t)$ indica el símbolo de datos incorrelados para el usuario i -ésimo con $E\{|s_i|^2\} = 1$, entonces la señal recibida $y_i(t)$ está dada por

$$y_i(t) = h_i(t) s_i(t) + z_i(t) \quad (1)$$

donde $z_i(t)$ es una componente de ruido compleja i.i.d. aditiva con media cero y $E\{|z_i|^2\} = \sigma^2$. Se supone una potencia de transmisión total de $P_t = 1$, y por facilidad de notación, el índice de tiempo se omite siempre que sea posible.

La estación base comprende una unidad de planificación (del inglés “scheduling unit”), que realiza el procedimiento de selección del usuario más apropiado 30-1, 30-2,...30-N y transmite los datos deseados a ese usuario seleccionado.

5 El sistema inalámbrico funciona a través de un planificador de tasa de transferencia máxima (del inglés “maximum throughput scheduler”) (también denominado planificador oportunista), para intensificar la tasa de transferencia (“throughput”) del sistema y, de ese modo, permitir altas velocidades de transmisión de datos a los usuarios 30-1, 30-2,... 30-N. Dentro de este escenario, el objetivo principal es proporcionar un control de QoS precisa y garantizada con un cierto incumplimiento para todos los usuarios 30-1, 30-2,... 30-N, en cuanto a parámetros diferentes, tales como el retardo por planificación máximo permitido, la velocidad de transmisión mínima permitida, la fluctuación (“jitter”) máxima permitida y la tasa de transferencia mínima garantizada. Para conseguir esta meta, se optimiza la longitud de la cola de DLC (control de enlace de datos).

10 Debe observarse que la velocidad de transmisión mínima permitida y el retardo por planificación máximo permitido se mantienen como limitaciones realistas de QoS tanto para aplicaciones limitadas por el retardo como para aplicaciones tolerantes al retardo.

15 La figura 2 muestra un diagrama del esquema de cola dinámica del control de enlace de datos (DLC) de la invención, para asignar eficientemente un canal de enlace descendente. Este esquema está implementado en el transmisor 1 de la estación base. El signo de referencia 21 representa una capa de aplicación. En esta realización particular, a modo de ejemplo, están representadas cuatro clases de servicios establecidos por el operador de la red inalámbrica (J=4): clase 1 (C1), clase 2 (C2), clase 3 (C3) y clase 4 (C4). A las aplicaciones de servicio se les asigna una clase de servicio u otra (C1, C2, C3, C4) basándose en la calidad de servicio (QoS) requerida por esas aplicaciones.

20 Los paquetes de la capa de aplicación 21 comprenden, aparte de los datos útiles reales, un indicador de la calidad de servicio (QoS) instantánea requerida por las aplicaciones de servicio a las que pertenecen. Ejemplos no limitativos de estos indicadores de QoS instantánea son: un retardo por planificación máximo permitido, una velocidad de transmisión mínima permitida y una tasa de transferencia mínima garantizada.

25 En el transmisor 1, los paquetes de la capa de aplicación 21 que han de ser transmitidos a cualquiera de esos usuarios 30-1, 30-2,... 30-N son ordenados dentro de la cola 221 que pertenece a una capa de control de enlace de datos (DLC) 22. Esta ordenación está basada en la clase C1, C2, C3, C4 de cada paquete. En otras palabras, está basada en la demanda de calidad de servicio instantánea asociada a la aplicación de servicio a la que pertenece ese paquete. Esto se muestra en la figura 2, donde aquellos paquetes que tienen Clase 1 (C1), como los de aplicaciones de voz, están ordenados al principio de la cola 221. Igualmente, aquellos paquetes que tienen Clase 4 (C4), que es la clase de datos genéricos de prioridad más baja, están ordenados al final de la cola 221.

30 Esta cola de DLC 221 está formada por un grupo de M paquetes asociados a P usuarios (siendo M, P números naturales, $M \geq P$) de esa pluralidad de usuarios 30-1, 30-2,...30-N de la red. Por simplicidad, consideramos $P = M$, de manera que la longitud M de la cola 221 puede expresarse en términos de paquetes o en términos de usuarios, porque el tamaño M (considerando $M = P$) representa a ambos. Estos usuarios de la cola de DLC 221 son aquellos a los que están dirigidos los paquetes de la capa de aplicación. Este número M de paquetes o usuarios que forman la cola de DLC 221 es dinámico. Esto significa que el sistema puede ajustar la longitud o tamaño de esta cola 221. Esto se explica después.

35 Una vez que la cola de DLC 221 está llena de M usuarios (en sentido estricto, con M paquetes), un planificador oportunista 23 (el denominado planificador de tasa de transferencia máxima), situado en el transmisor 1, asigna un canal a uno de esos M usuarios. El planificador 23 selecciona el usuario que tiene las mejores condiciones del canal. El planificador 23 evalúa las condiciones del canal de cada usuario a partir de valores previamente medidos de un parámetro del canal. El procedimiento de medición y evaluación de las condiciones del canal y la determinación de las mejores condiciones del canal quedan fuera del alcance de la presente invención. Un ejemplo no limitativo de tal parámetro a partir del cual pueden evaluarse las condiciones del canal es la relación señal/ruido para cada usuario.

40 La longitud o tamaño M de la cola de DLC 221 se cambia dinámicamente como función de las diferentes demandas de calidad de servicio instantánea de las diferentes aplicaciones de servicio que están siendo usadas por esos usuarios seleccionados. De este modo, se ajusta el punto de funcionamiento del sistema.

45 Dos aspectos importantes para conseguir una cierta calidad de servicio QoS para los usuarios a los que se da servicio son el impacto del número de usuarios disponibles 30-1, 30-2,... 30-N y sus demandas exactas de QoS instantánea. A continuación se explica cómo se ajusta dinámicamente el tamaño M de la cola de DLC 221 para controlar los diferentes requisitos de los usuarios y su sensibilidad al retardo y la velocidad de transmisión. Esto se realiza mediante un algoritmo de planificación entre capas (“cross-layer scheduling algorithm”) en la capa DLC 22 del sistema inalámbrico. El esquema está basado en el diagrama ya descrito de la figura 2, en el que cada paquete de la capa de aplicación tiene una prioridad dada en la capa de aplicación 21. Los paquetes (y por lo tanto los usuarios) que tienen clases de prioridad más alta se sitúan al principio de una cola de DLC dinámica 221 seguidos por paquetes (o usuarios) con tráfico de prioridades más bajas.

55 En la capa física, el sistema inalámbrico usa diferentes niveles o esquemas de modulación, de manera que se obtienen

velocidades de transmisión variables dependiendo de las condiciones del canal (medidas, por ejemplo, mediante la SNR recibida). Se aplica un planificador oportunista 23 para seleccionar el usuario con las mejores condiciones del canal para maximizar la tasa de transferencia del sistema.

- 5 Con respecto al mecanismo de longitud de cola dinámica 221, cuando se satisface sin problemas el retardo por planificación máximo permitido (o velocidad de transmisión mínima permitida o tasa de transferencia mínima garantizada) en el suministro de la aplicación más sensible al retardo, puede incrementarse la longitud de la cola 221, de manera que pueden ponerse más usuarios en la cola de la capa de DLC 221. Como consecuencia, el planificador oportunista 23 puede seleccionar al usuario con las mejores condiciones del canal (por ejemplo, el valor de SNR más alto) en un grupo de opciones más grande, incrementando de este modo el rendimiento de la tasa de transferencia del sistema.
- 10 Por otra parte, cuando apenas se satisfacen los requisitos de QoS instantánea (por ejemplo, el retardo por planificación máximo permitido), se reduce la longitud de la cola de DLC 23. Por lo tanto, sólo los paquetes procedentes de usuarios dentro de las clases de prioridad más alta pueden estar disponibles en la cola de la capa de DLC 221, de manera que el planificador oportunista 23 sólo puede seleccionar entre estos usuarios. Por lo tanto, se mejora el rendimiento del retardo de QoS.
- 15 Para la inclusión de cualquier esquema de transmisión en estándares comerciales que ejecutan aplicaciones en tiempo real, la QoS instantánea de los usuarios es un aspecto muy importante y puede estar caracterizada por varias métricas o indicadores basados en los objetivos de diseño. Así que la QoS puede expresarse en términos de velocidad de transmisión, que refleja la velocidad de transmisión mínima requerida por usuario, o en términos de retardo por planificación, que muestra el retardo por la planificación máximo permitido que puede tolerar un usuario. Esta propuesta
- 20 considera todos los conceptos de QoS anteriormente mencionados, donde el esquema de transmisión garantiza una velocidad de transmisión mínima permitida por usuario, que se presenta por una restricción de SNR mínima (SNR_{th}) por cada usuario dentro de un retardo de tiempo por planificación máximo permitido dado. En particular, esta propuesta considera o bien un requisito (preferentemente, el retardo por planificación máximo permitido), o dos requisitos (preferentemente, el retardo por planificación máximo permitido más la velocidad de transmisión mínima permitida) o tres
- 25 de ellos (preferentemente, el retardo por planificación máximo permitido más la velocidad de transmisión mínima permitida más una tasa de transferencia mínima garantizada).

30 Como ya se indicó, la figura 1 se refiere a una red inalámbrica, como una WLAN, WiMax, LTE o USTM-HSDPA, que proporciona diferentes aplicaciones de servicio en tiempo real. Por consiguiente, se requiere un esquema de transmisión apropiado (desde un punto de vista práctico). Para la satisfacción de demandas estrictas de QoS, se acepta una probabilidad predefinida de incumplimiento ξ_{out} en la QoS.

Por consiguiente, el ajuste dinámico del tamaño de la cola 221 muestra el compromiso entre las demandas de QoS instantánea de los usuarios y la tasa de transferencia del sistema, donde el mejor punto de funcionamiento depende de los requisitos del operador de la red. Para encontrar el mejor punto de funcionamiento, se maximiza la longitud M de la cola de DLC dinámica 221 (en la que M es el número de usuarios disponibles en la cola de DLC 221), sujeta a algunos

35 requisitos del sistema en cuanto a las demandas de QoS instantánea de los usuarios. Como ya se presentó, tomando en consideración la existencia de incumplimiento en la satisfacción de QoS, un procedimiento de optimización propuesto para el rendimiento del sistema puede establecerse como:

max M

$$\text{s.t.}_1 \text{ Prob}\{SNR_i < SNR_{th}\} \leq \xi_{rate} \quad \forall i \in M$$

40 $\text{s.t.}_2 \text{ Prob}\{D_{max} < K_i\} \leq \xi_{access} \quad \forall i \in M$

$$\text{s.t.}_3 \text{ Prob}\{T_i \geq T_{min}\} \geq 1 - \xi_{out} \quad \forall i \in M$$

donde SNR_{th} es el valor de SNR mínima requerida (refiriéndose "th" a un "umbral"), SNR_i es el valor de SNR instantánea proporcionado para un usuario i , donde la velocidad de transmisión mínima permitida está relacionada directamente con SNR_{th} a través de la relación bien conocida entre velocidad de transmisión y SNR (por ejemplo, velocidad de transmisión mínima permitida = $\log(1+SNR_{th})$) y ξ_{rate} es el incumplimiento de velocidad de transmisión permitido. Relacionado con los

45 requisitos de retardo de QoS, D_{max} es el retardo por planificación máximo permitido, K_i es el valor obtenido del retardo por planificación y ξ_{access} es el incumplimiento de retardo por planificación. Por otra parte, T_{min} es la tasa de transferencia mínima garantizada mientras que T_i es la tasa de transferencia obtenida y ξ_{out} es el incumplimiento total permitido (explicado más adelante).

50 Este esquema presenta el ajuste de la cola de DLC dinámica 221 junto con los conceptos de QoS (velocidad de transmisión mínima permitida, retardo por planificación máximo permitido y tasa de transferencia mínima garantizada), donde el operador puede elegir, entre las tres demandas de QoS, la más o las más apropiadas para cada escenario.

A continuación se analizan los conceptos considerados de incumplimiento presentados en las ecuaciones previas: el

incumplimiento de retardo por planificación (A) y el incumplimiento de velocidad de transmisión (B).

El incumplimiento de retardo por planificación se relaciona con el esquema de acceso contestando a la siguiente pregunta: ¿Cuándo se dará servicio al usuario i -ésimo? En la sección A se analiza el procedimiento de acceso del usuario al sistema y se calcula la expresión para su probabilidad de acceso. Si un usuario no obtiene acceso al canal dentro de su retardo por planificación máximo permitido, se declara que está en incumplimiento de retardo ξ_{access} .

La segunda fuente de incumplimiento llega a través de la velocidad de transmisión concedida y responde a la pregunta: Una vez que se selecciona al usuario i -ésimo para transmisión, ¿recibiría una velocidad de transmisión de datos inferior a sus requisitos? En la sección B se analiza la distribución de velocidad de transmisión para el usuario seleccionado y se obtiene la velocidad de transmisión mínima garantizada bajo un incumplimiento dado ξ_{rate} .

Por lo tanto, se proponen los dos tipos de incumplimiento para cumplir con el incumplimiento total ξ_{out} , descrito en la sección C.

A. Incumplimiento de retardo por planificación

En el planificador oportunista 23, como se realiza una monitorización continua de la calidad del canal de los usuarios para seleccionar el mejor en cada intervalo, entonces no se garantiza el acceso al medio inalámbrico. Por lo tanto, el estudio del acceso al medio en esquemas de tasa de transferencia máxima es un aspecto arduo y ofrece varios desafíos.

A continuación se define el retardo de acceso máximo (en intervalos de tiempo) hasta que se da servicio al usuario. Así, si un usuario activo en el sistema no obtiene acceso al canal dentro de su retardo por planificación máximo permitido, se declara que está en retardo de acceso, con una probabilidad de incumplimiento ξ_{access} dada por

$$\xi_{access} = 1 - V(K) \tag{2}$$

donde $V(K)$ es la probabilidad de que se requiera un máximo de K intervalos de tiempo para seleccionar un usuario " i " de un grupo de N usuarios i.i.d. $V(K)$ sigue una distribución geométrica como

$$V(K) = 1 - (1 - \bar{P}_{access})^K \tag{3}$$

En el esquema oportunista, cada uno de los N usuarios independientes intenta acceder al canal con $\bar{P}_{access} = 1/N$, por lo tanto, a partir de la ecuación previa, el número máximo de intervalos de tiempo K hasta que el usuario i -ésimo es seleccionado para transmisión, con una probabilidad de incumplimiento de retardo ξ_{access} , esta dado por

$$K = \frac{\log(1 - V)}{\log(1 - \bar{P}_{access})} = \frac{\log(\xi_{access})}{\log(1 - 1/N)} \tag{4}$$

donde se muestra el efecto de N .

B. Incumplimiento de velocidad de transmisión

Aun cuando se seleccione un usuario para transmisión, puede recibir una velocidad de transmisión que no satisface sus requisitos de SNR SNR_{th} . Como consecuencia, entra en un fallo de velocidad de transmisión y causa un incumplimiento a ese usuario. Por consiguiente, esta sección usa la distribución de la velocidad de transmisión de servicio para caracterizar el incumplimiento de velocidad de transmisión, bajo un ξ_{rate} predefinida. De nuevo, la velocidad de transmisión mínima permitida está directamente relacionada con la SNR_{th} a través de la relación velocidad de transmisión-SNR (por ejemplo, velocidad de transmisión mínima permitida = $\log(1 + SNR_{th})$).

Basado en la filosofía de tasa de transferencia máxima para dar servicio a los usuarios, el valor de SNR de servicio es la SNR máxima a lo largo de los usuarios activos en el sistema. Usando la función de distribución acumulativa (cdf) ("cumulative distribution function") de SNR de canales gaussianos complejos i.i.d.

$$F(x) = 1 - e^{-(x \cdot \sigma^2)} \tag{5}$$

y como la SNR de servicio es el máximo de los valores de SNR de todos los usuarios, entonces la cdf de SNR de servicio se establece como

$$FF(x) = (F(x))^N = [1 - e^{-(x \cdot \sigma^2)}]^N \tag{6}$$

Teniendo en cuenta la cdf de la velocidad de transmisión de servicio, la velocidad de transmisión mínima requerida SNR_{th} para cada usuario con un incumplimiento de velocidad de transmisión predefinido ξ_{rate} es

$$\xi_{rate} = \left[1 - e^{-(SNR_{th} \cdot \sigma^2)} \right]^N \quad (7)$$

Los valores de SNR_{th} y ξ_{rate} pueden calcularse para cumplir con los objetivos de cualquier sistema bajo el número de usuarios N . Vale la pena observar que el valor de SNR mínimo garantiza que el procedimiento de decodificación del usuario será exitoso. En ese caso se usa una función escalonada unitaria para el procedimiento de detección, que hace que la tasa exitosa de paquetes (PSR) esté relacionada con la SNR_{th} como

$$PSR = \begin{cases} 0 & \text{si } SNR \geq SNR_{th} \\ 1 & \text{si } SNR \leq SNR_{th} \end{cases}$$

donde se muestra la relación directa con ξ_{rate} . Con más manipulaciones, la SNR_{th} de (7) puede expresarse como

$$SNR_{th} = \frac{1}{\lambda \sigma^2} \log_2 \left(\frac{1}{1 - \sqrt[N]{\xi_{rate}}} \right) \quad (8)$$

donde se muestra el efecto de todos los parámetros implicados, con $\lambda = \log_2(e) = 1,4427$.

C. Incumplimiento total

Tal como se explicó previamente, el procedimiento de transmisión oportunista viene controlado por dos medidas de incumplimiento diferentes, pero el rendimiento total tiene que definirse mediante un único parámetro.

Las probabilidades de incumplimiento anteriormente mencionadas son totalmente independientes, ya que un acceso del usuario al canal ocurre cuando su SNR es el máximo de todos los demás usuarios, pero ser el usuario con la SNR más alta no garantiza que esta SNR sea más alta que un umbral dado SNR_{th} . Por lo tanto, el incumplimiento total ξ_{out} se define como

$$\xi_{out} = 1 - (1 - \xi_{access}) \cdot (1 - \xi_{rate}) \quad (9)$$

que es la medida global de incumplimiento.

A continuación se presenta un retardo por planificación máximo: el retardo por planificación máximo, teniendo un paquete de longitud W bits que corresponde al usuario i -ésimo y esperando la transmisión en el planificador 23, se define como el tiempo máximo requerido para hacer que el paquete sea recibido correctamente en su destino. Obsérvese que esta definición incluye el retardo resultante del procedimiento de planificación (es decir, la selección de tasa de transferencia máxima) junto con el retardo causado por la transmisión del canal (es decir, baja velocidad de transmisión de datos), proporcionando, por lo tanto, una expresión general para el retardo por planificación en esquemas oportunistas. Por lo tanto, el número máximo de intervalos de tiempo para seleccionar un usuario bajo un incumplimiento total ξ_{out} es igual a la formulación de K intervalos de acceso en (4), definiendo así el máximo retardo por planificación.

Se presenta un ejemplo numérico para evitar conclusiones engañosas para el lector: en un escenario con $N = 10$, $K = 25$, $\sigma^2 = 1$ y $SNR_{th} = 1,3$ para cada usuario, resulta que se obtienen $\xi_{access} = 7,2\%$ y $\xi_{rate} = 4,2\%$, por lo tanto a cada usuario se le garantiza una recepción correcta de su paquete dentro de un retardo por planificación máximo de 25 intervalos y con un incumplimiento total de $\xi_{out} = 11,0\%$.

A continuación, se presenta una tasa de transferencia garantizada: en la política de planificación de tasa de transferencia máxima sólo un único usuario tiene acceso a cada intervalo. Como no siempre se da servicio al usuario, entonces ese usuario recibe una tasa de transferencia cero a lo largo de varios intervalos de tiempo. Por lo tanto, se requiere una tasa de transferencia normalizada a lo largo del tiempo. Obsérvese que la definición de tasa de transferencia normalizada representa el tiempo de espera y, por consiguiente, la expresión de retardo por planificación correspondiente. Con una anchura de banda del sistema B_w y t_s como el intervalo de tiempo (suponiendo que coincide con el tiempo de coherencia del canal), la tasa de transferencia mínima garantizada normalizada definida en bits/intervalo se establece como

$$T = \frac{B_w t_s \log(1 - 1/N) \log_2 \left(1 + \frac{1}{\lambda \sigma^2} \log_2 \left(\frac{1}{1 - \sqrt[N]{\xi_{rate}}} \right) \right)}{\log(\xi_{access})} \quad (10)$$

obteniendo la tasa de transferencia con todos los parámetros de optimización implicados.

Simulaciones y resultados

Para evaluar el rendimiento de la cola dinámica de DLC 221 propuesta, se establece un escenario heterogéneo donde coexisten en el sistema usuarios con cuatro tipos de aplicaciones (C1, C2, C3, C4). Se dispone de un total de $N = 20$ usuarios (30-1, 30-2,..., 30-20) en el escenario con 5 usuarios para cada clase de tráfico de servicio C1, C2, C3 y C4. Las longitudes de los paquetes para las clases C1, C2, C3 y C4 son 100, 512, 1024 y 2312 bytes, respectivamente. La clase 1 tiene la prioridad más alta, mientras que la clase 4 es la clase de prioridad más baja. Se considera un sistema saturado, donde todos los usuarios 30-1, 30-2,..., 30-20 tienen al menos un paquete preparado para transmisión. En las simulaciones se supone una anchura de banda del sistema total de 20 MHz y un tiempo de servicio de intervalo de 1 ms. Cuando se selecciona un usuario para transmisión, se le conceden todos los recursos del sistema. Se considera un canal gaussiano i.i.d. complejo en interiores con $\sim CN(0, 1)$ entradas. Se emplea el planificador oportunista 23 para seleccionar el usuario con la mejor SNR recibida. Se emplea una escala de tiempo de 10^6 visualizaciones de canal para visualizar las variaciones continuas del canal.

En la figura 3a se presenta el porcentaje de incumplimiento en la satisfacción del retardo por planificación máximo permitido para usuarios de la Clase 1 (C1) (eje Y) frente a la longitud de la cola de DLC 221 (eje X). Se supone un retardo por planificación máximo permitido de 20 ms para los usuarios de la clase 1. Puede observarse en la figura 3a que cuando la longitud de la cola de DLC 221 es $M = 5$ (de manera que en la cola de DLC 221 sólo existen usuarios de la clase 1 (C1)), el retardo por planificación máximo permitido está garantizado para el 98% de los casos (es decir, 2% de incumplimiento). Por otra parte, la figura 3b muestra que, para incrementar la tasa de transferencia total del sistema (no la tasa de transferencia garantizada de la expresión (10), sino la tasa de transferencia total media en el sistema) se requiere una longitud más larga de la cola de DLC 221, de manera que más usuarios sean aceptados en el sistema. Esto significa que los usuarios de la clase 1 tienen menores posibilidades de obtener acceso al canal, lo que tiene un impacto directo sobre la entrega temporal de sus paquetes. Como consecuencia, se infringe con mayor probabilidad la restricción de retardo por planificación máximo permitido y el incumplimiento en los requisitos de retardo se incrementa con la longitud de la cola. Las figuras 3a-3b también muestran el retardo y el rendimiento de la tasa de transferencia para una longitud de cola de DLC fija $M = 20$, con mayor incumplimiento así como mejor comportamiento de la tasa de transferencia. La línea de puntos muestra un ejemplo de lo que el sistema puede proporcionar en cuanto a QoS, de manera que si la aplicación de la clase 1 requiere 20 ms de retardo por planificación máximo permitido y puede permitir el 10% de incumplimiento, el ejemplo muestra que pueden ser aceptados 9 usuarios (5 usuarios de la clase 1 (C1) y 4 usuarios de la clase 2 (C2)) en la cola dinámica, y estos 9 usuarios permiten al sistema ofrecer una tasa de transferencia media de 2,4 Mbps.

La figura 4 representa la tasa de transferencia mínima garantizada del sistema para cada usuario para un escenario que tiene una velocidad de transmisión mínima demandada de 15 Mbps con longitud de cola de DLC variable, así como un incumplimiento permitido variable ξ_{out} . Puede observarse que hay una longitud de cola de DLC óptima M , donde la tasa de transferencia garantizada tiene un valor máximo para cada incumplimiento considerado. Por lo tanto, el sistema puede optimizarse basándose en sus demandas y restricciones, para todas o para clases específicas de usuarios.

En resumen, la presente invención presenta un procedimiento de asignación eficiente de un canal inalámbrico de enlace descendente ajustando dinámicamente la longitud de la cola de control de enlace de datos (DLC). Entre los usuarios 30-1, 30-2,... 30-N con uno o más paquetes en la cola, se selecciona 23 para transmisión el usuario con las mejores condiciones del canal. Por lo tanto, la longitud de la cola define la tasa de transferencia máxima alcanzable del sistema. Por otra parte, los requisitos de QoS instantánea de aplicaciones sensibles al retardo se garantizan con longitudes cortas de cola de DLC (ajustadas dinámicamente). Aparece un compromiso entre la tasa de transferencia total del sistema y las demandas de QoS de los usuarios.

Se permite una longitud máxima M para obtener la mayor tasa de transferencia total del sistema, pero restringido a la satisfacción de la QoS de los usuarios. Se presentan varias medidas de QoS alternativas y sus formulaciones, de manera que un operador inalámbrico puede elegir entre ellas las más adecuadas para cada característica de escenario y demanda de QoS de los usuarios.

Obviamente, la invención no está limitada a las realizaciones específicas descritas en este documento, sino que también engloba cualquier variación que pueda ser considerada por cualquier persona experta en la materia (por ejemplo, en cuanto a la elección de componentes, configuración, etc.), dentro del alcance general de la invención según se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para asignar eficientemente un canal de enlace descendente desde un transmisor (1) hasta un usuario seleccionado de una pluralidad de usuarios (30-1, 30-2,... 30-N) en una red inalámbrica que proporciona diferentes aplicaciones de servicio a dichos usuarios (30-1, 30-2,... 30-N), que comprende las etapas de:

- en una cola de DLC (221) de dicho transmisor (1), clasificar (221) una pluralidad de M paquetes de la capa de aplicación que han de ser transmitidos a dicha pluralidad de usuarios (30-1, 30-2,... 30-N), basándose dicha clasificación en una demanda de calidad de servicio asociada a cada paquete de la capa de aplicación, estando a su vez dichas demandas de calidad de servicio asociadas a clases de aplicaciones respectivas (C1, C2, C3, C4), teniendo dicha cola de DLC (221) longitud M, siendo M un número natural, correspondiendo dichos M paquetes a P usuarios de dicha pluralidad de usuarios (30-1, 30-2,... 30-N), en la que $P \leq M$, estando configurados cada uno de dicha pluralidad de usuarios (30-1, 30-2,... 30-N) para ejecutar simultáneamente varias aplicaciones teniendo diferentes clases (C1, C2, C3, C4).

caracterizado por las etapas de:

- cambiar dinámicamente dicha longitud M de dicha cola de DLC (221) en función de los diferentes valores instantáneos de las demandas de calidad de servicio de las diferentes aplicaciones de servicio a las que se refieren dichos paquetes de la capa de aplicación, ajustando así el punto de funcionamiento de la red; y

- en un planificador (23) de dicho transmisor (1), asignar un canal al usuario que tenga mejores condiciones del canal de dicho grupo de P usuarios.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dichas demandas de calidad de servicio son función de al menos uno de lo siguiente: un retardo por planificación máximo permitido, una velocidad de transmisión mínima permitida y una tasa de transferencia mínima garantizada.

3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que dichas demandas de calidad de servicio se calculan teniendo en cuenta un valor de incumplimiento predefinido.

4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, en el que dichas demandas de calidad de servicio son función de un retardo por planificación máximo permitido.

5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, en el que dichas demandas de calidad de servicio son función de un retardo por planificación máximo permitido y una velocidad de transmisión mínima permitida.

6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, en el que dichas demandas de calidad de servicio son función de un retardo por planificación máximo permitido, una velocidad de transmisión mínima permitida y una tasa de transferencia mínima garantizada.

7. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que dicho valor de M se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\max M$$

$$\text{s.t.}_1 \text{Pr ob}\{SNR_i < SNR_{th}\} \leq \xi_{rate} \forall i \in M$$

$$\text{s.t.}_2 \text{Pr ob}\{D_{max} < K_i\} \leq \xi_{access} \forall i \in M$$

$$\text{s.t.}_3 \text{Pr ob}\{T_i \geq T_{min}\} \geq 1 - \xi_{out} \forall i \in M$$

donde SNR_{th} es un valor de SNR mínima requerida, SNR_i es el valor de SNR instantánea proporcionado para un usuario i, ξ_{rate} es un incumplimiento de velocidad de transmisión permitido, D_{max} es un retardo por planificación máximo permitido, K_i es el valor obtenido del retardo por planificación, ξ_{access} es un incumplimiento de retardo por planificación, T_{min} es una tasa de transferencia mínima garantizada, T_i es una tasa de transferencia obtenida, ξ_{out} es un incumplimiento total permitido y dicha velocidad de transmisión mínima permitida está relacionada directamente con SNR_{th} a través de una relación velocidad de transmisión-SNR.

8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dichas mejores condiciones del canal se evalúan a partir de un valor medido de la relación señal/ruido para cada usuario.

9. Un transmisor (1) que comprende medios adaptados para llevar a cabo las etapas del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

10. Una estación base que comprende al menos un transmisor (1) según la reivindicación 9.
11. Un sistema de comunicaciones inalámbricas que comprende al menos una estación base según la reivindicación 10.
- 5 12. Un programa informático que comprende medios de código de programa informático adaptados para realizar las etapas del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador, un procesador de señal digital, una matriz de puertas programable in situ, un circuito integrado específico de aplicación, un microprocesador, un microcontrolador, o cualquier otra forma de hardware programable.

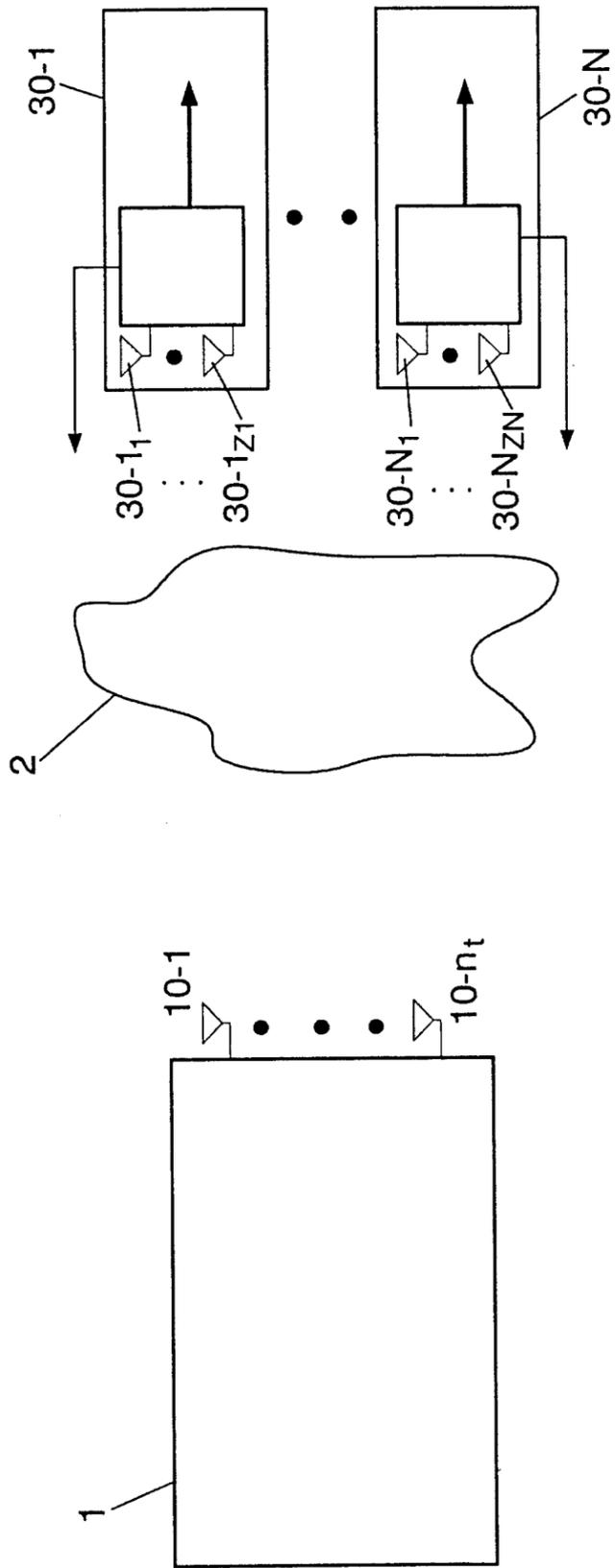


FIG. 1a

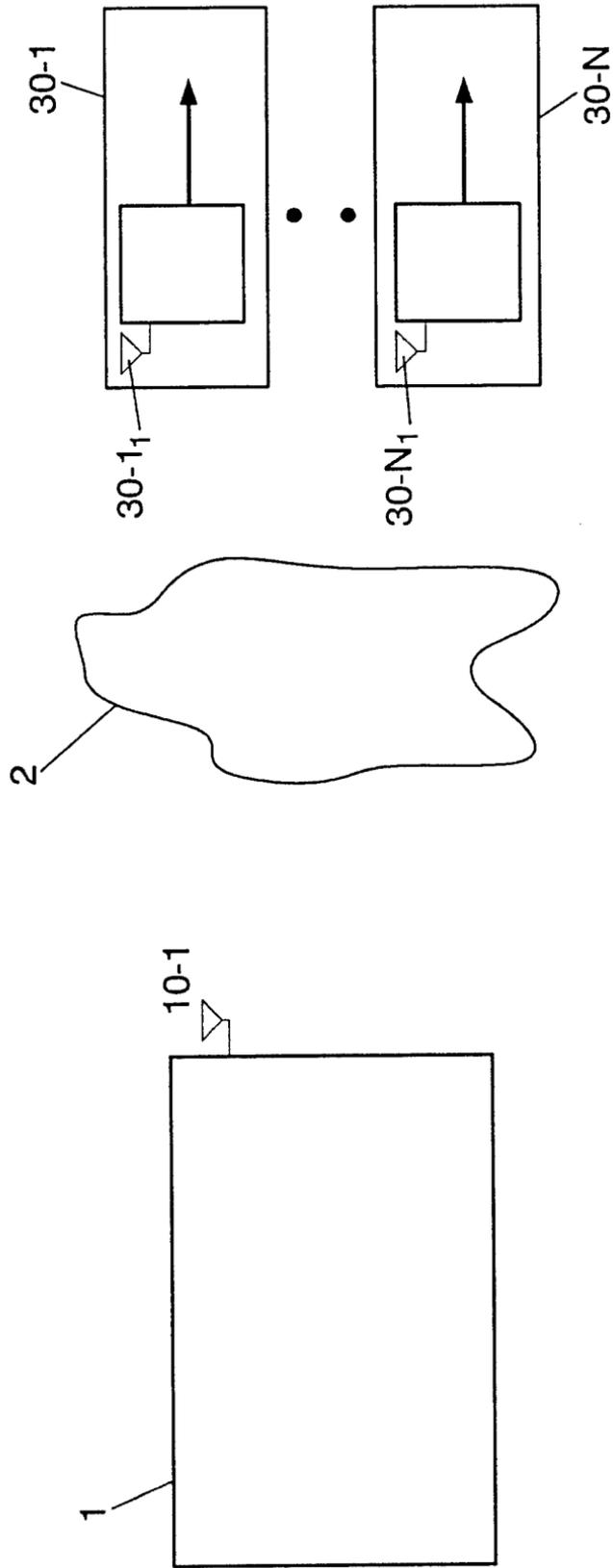


FIG. 1b

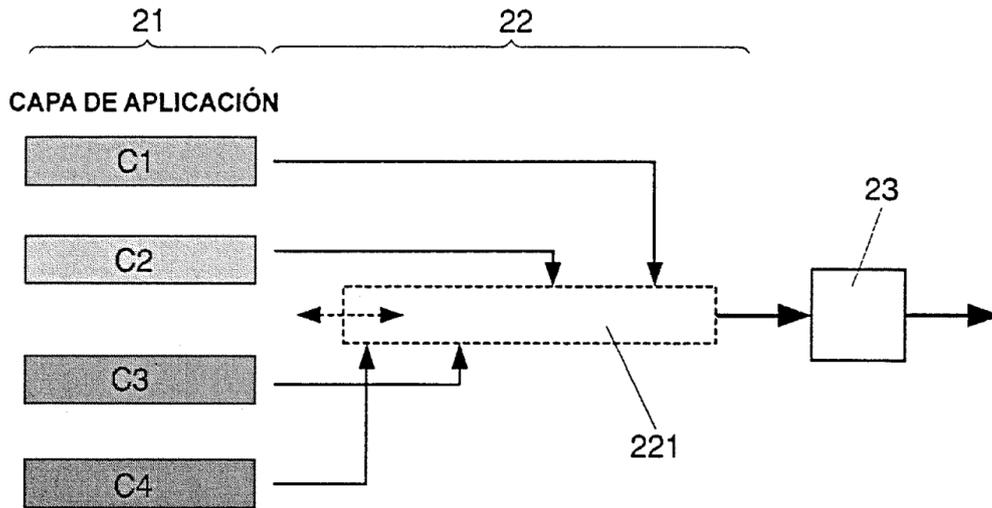
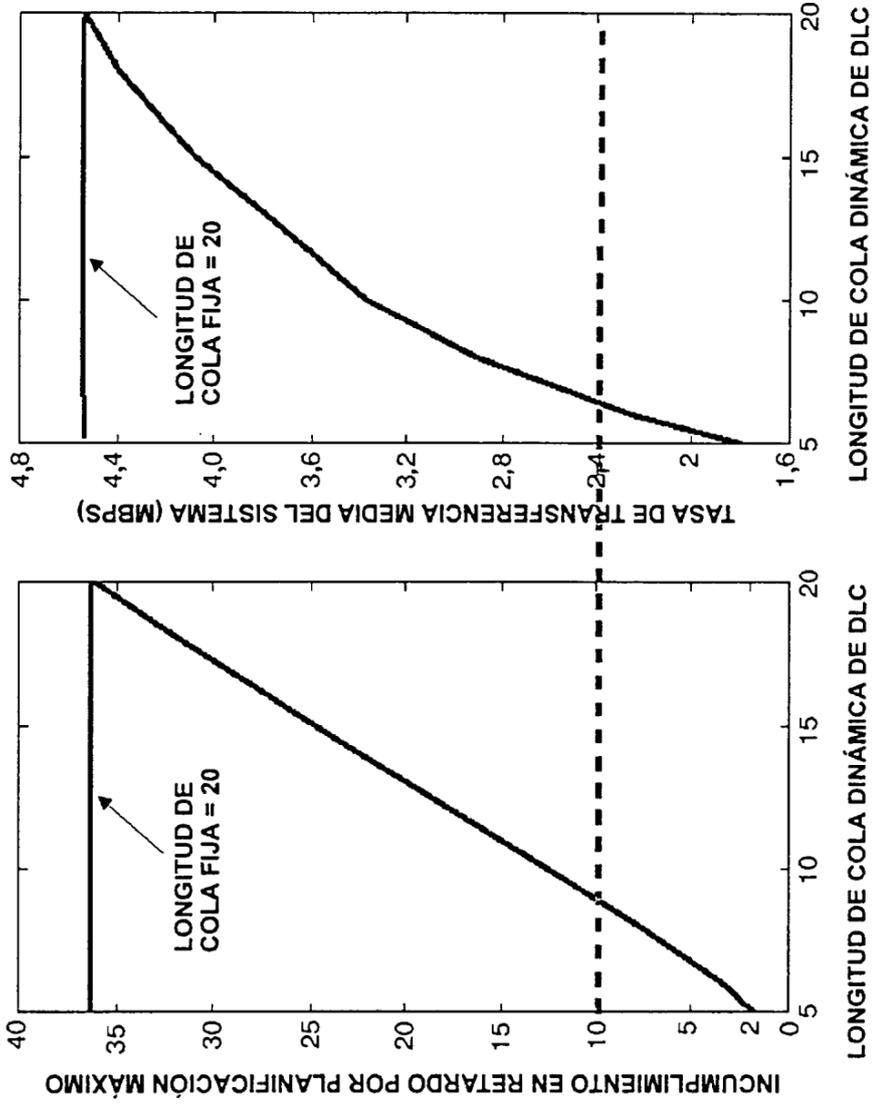


FIG. 2



(a) **FIG. 3** (b)

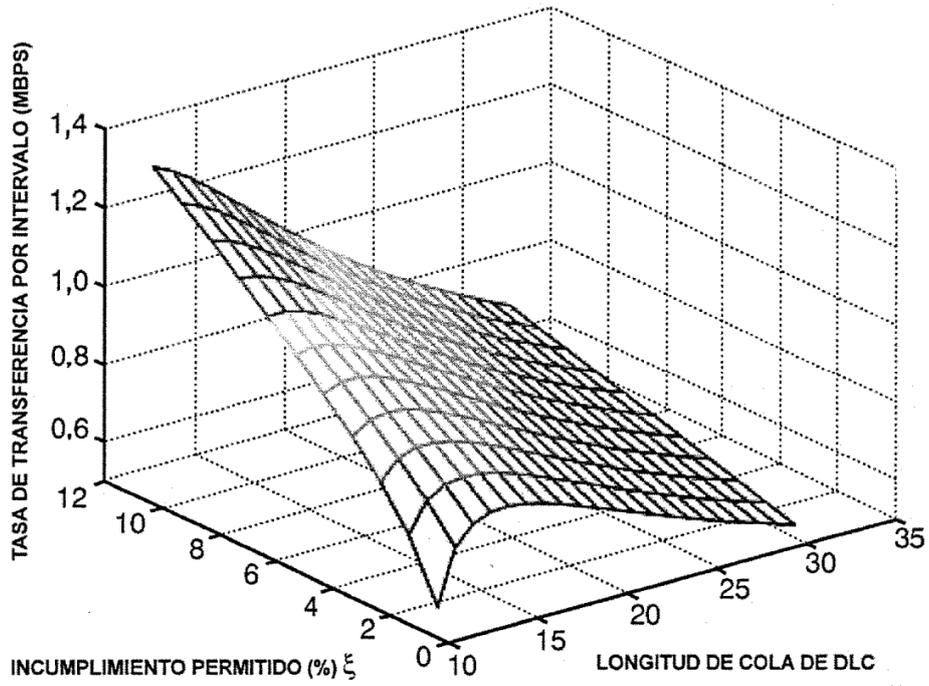


FIG. 4