

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 019**

51 Int. Cl.:

H04W 28/22 (2009.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.04.2007 E 07007596 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2015 EP 1981212**

54 Título: **Método y dispositivo de comunicación en el modo de conectividad múltiple para un control dinámico de las tasas de transmisión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.09.2015

73 Titular/es:

**DEUTSCHE TELEKOM AG (100.0%)
FRIEDRICH-EBERT-ALLEE 140
53113 BONN, DE**

72 Inventor/es:

**ALPCAN, TANSU, DR. y
SINGH, JATINDER PAL, DR.**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 546 019 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y dispositivo de comunicación en el modo de conectividad múltiple para un control dinámico de las tasas de transmisión

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un dispositivo de comunicación que tiene acceso a una pluralidad de redes de acceso y a un método para el control dinámico de las tasas de transmisión de dichos dispositivos de comunicación. Además, la invención se refiere a un sistema de comunicaciones que comprende una pluralidad de dichos dispositivos de comunicación.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 Las redes contemporáneas son heterogéneas en sus atributos tales como la infraestructura de soporte, los protocolos y las tasas de transmisión de datos que ofrecen. La multitud y la variedad de tecnologías de gestión de redes inalámbricas y cableadas existentes y emergentes siguen siendo la fuerza impulsora hacia la convergencia de redes. Es frecuente actualmente tener dispositivos electrónicos con múltiples capacidades de gestión de redes. Los dispositivos informáticos personales, tales como ordenadores portátiles, PDAs (asistentes digitales personales) o teléfonos inteligentes, suelen estar provistos de varios sistemas de acceso que varían desde tipos diferentes de redes de área local inalámbricas (WLAN) según IEEE 802.11 a dispositivos de Ethernet, GPRS y UMTS.

En los dispositivos de usuarios finales, una diversidad de aplicaciones surge con requisitos de ancho de banda diferentes para acceso multimedia, para actividades de colaboración y de juegos. En un escenario operativo hipotético, a modo de ejemplo, un usuario en una configuración corporativa participa en una llamada de videoconferencia a través de su dispositivo que tiene, a la vez, conectividad de Ethernet y de red WLAN, p.e. sobre la base de la norma IEEE 802.11g. Aunque esté comprometido en los procedimientos de conferencias, el usuario procede a la carga de contenidos en un servidor distante para los participantes que tienen acceso y al mismo tiempo necesita recuperar algunos ficheros desde el servidor.

En el documento US 2006/0015636 A1, a modo de ejemplo, se describen dispositivos denominados de conectividad múltiple (multi-homing) que tienen múltiples interfaces de redes para transmitir datos. En el documento US 2006/0015636 A1 se describe también un método para seleccionar una de dichas múltiples interfaces de red para una aplicación en el dispositivo de multi-homing, en particular dentro del contexto de dispositivos móviles en donde cambia frecuentemente la disponibilidad de la red, dependiendo de criterios de selección, tales como, a modo de ejemplo, magnitud de los datos, prioridad, velocidad de transmisión o coste. En el documento US 2006/0193295 A1 se describe un aparato que permite a un terminal móvil comunicarse a través de múltiples conexiones de red heterogéneas. El terminal móvil puede distribuir segmentos de tráfico a través de un conjunto de redes heterogéneas, en donde el control de tasa de transmisión es similar al bien conocido TCP. También en el documento titulado "Un estudio sobre el protocolo de control de transmisión de múltiples rutas sobre la base de las tasas de transmisión (R-M/TCP) utilizando el algoritmo de planificación de paquetes", de K. Rojviboonchai et al, IEICE Trans. Inf. & Syst. Vol. E89-D, nº 1, enero 2006, una variante de múltiples rutas sobre la base de la tasa de transmisión del algoritmo TCP conocido se describe en este documento en donde se intenta estimar el ancho de banda disponible y la longitud de la cola de espera de las rutas utilizadas con el fin de utilizar completamente los recursos de ancho de banda.

Es un objetivo de la presente invención dar a conocer un método nuevo y mejorado para controlar la transmisión de datos de un dispositivo de comunicación de tipo en multi-homing, es decir, un dispositivo que tiene acceso a múltiples redes de acceso diferentes. Otro objetivo de la invención es utilizar, de forma eficiente, múltiples redes por una pluralidad de dispositivos de comunicación de tipo en multi-homing o de conectividad múltiple.

SUMARIO DE LA INVENCION

La solución inventiva del objetivo se consigue mediante cada uno de los contenidos de las respectivas reivindicaciones independientes adjuntas, formas de realización preferida y/o ventajosa y reajustes de mejora son la materia estipulada en las respectivas reivindicaciones subordinadas adjuntas.

El método inventivo para el control de la tasa de transmisión dinámica de un dispositivo de comunicación, que es conectable a al menos dos redes de acceso diferentes, comprende las etapas de establecer una conexión de datos entre el dispositivo de comunicación y un nodo de destino, el enrutamiento a través de cada una de dichas redes de acceso diferentes de un flujo de datos separado asociado con dicha conexión de datos, en donde la tasa de transmisión de cada flujo de datos es ajustable por separado, la estimación para cada red de acceso del ancho de banda disponible para la transmisión de datos, el cálculo para cada red de acceso de un valor de control que depende del ancho de banda disponible estimado de la respectiva red de acceso y el ajuste para cada una de dichas redes de acceso diferentes de la tasa de transmisión para el respectivo flujo de datos dependiendo del valor de control respectivo.

Ajustando dinámicamente las tasas de transmisión de los flujos de datos que son guiados a través de las diferentes redes de acceso dependiendo de los anchos de banda disponibles estimados de las respectivas redes de acceso, el método permite una utilización eficiente de la capacidad de transmisión de datos de las redes de acceso. El método es especialmente ventajoso si la capacidad de transmisión de datos de al menos una de dichas redes de acceso diferentes varía con el tiempo. Debido a los efectos de desvanecimiento operativo que suele ser el caso para las redes de acceso inalámbricas, pero debido al tráfico de fondo puede ser también el caso para las redes de acceso cableadas. Las diferentes redes de acceso pueden comprender, a modo de ejemplo, redes basadas en Ethernet, WLAN; GPRS, UMTS, DSL y/o Bluetooth, pero cualquier otra tecnología de acceso con capacidad de transmisión de datos variable puede utilizarse también a este respecto.

El establecimiento de dicha conexión de datos puede iniciarse, a modo de ejemplo, mediante una aplicación que se ejecute en el dispositivo de comunicación, en donde la aplicación realiza una demanda de ancho de banda para un sistema informático denominado *middleware* del dispositivo de comunicación que gestiona, de forma dinámica, la asignación de tasas de transmisión de datos para cada una de las redes de acceso. El nodo de destino puede ser, a modo de ejemplo, directamente alcanzable a través de las redes de acceso o como alternativa, mediante una red base a la que están conectadas las configuradas, en donde dicha red base puede, a modo de ejemplo, ser una red LAN (red de área local) a nivel de empresa o la red Internet.

Para ajustar dinámicamente las tasas de transmisión de los flujos de datos a través de las redes de acceso diferentes con ventaja, las etapas de estimación para cada red de acceso del ancho de banda disponible para la transmisión de datos, el cálculo para cada red de acceso de un valor de control dependiente del ancho de banda disponible estimado de la respectiva red de acceso y el ajuste para cada una de dichas redes de acceso diferentes de la tasa de transmisión para el respectivo flujo de datos dependiendo del valor de control respectivo se realizan repetidamente en momentos predefinidos, en donde con ventaja especial se establece, por la presente invención, un control de la retroacción informativa para ajustar la tasa de transmisión para cada una de dichas redes de acceso diferentes.

Para el control de la retroacción informativa se pueden utilizar algoritmos de control de retroacción informativa diferentes, tales como a modo de ejemplo, el control Gaussiano cuadrático lineal (LQG) o un algoritmo de incremento aditivo/decremento multiplicativo (AIMD). Sin embargo, los inventores encontraron que la utilización de un algoritmo de control óptimo H^∞ es más ventajoso, tal como se demostrará más adelante. En consecuencia, dicho control de retroacción informativa es preferentemente un control óptimo H^∞ adaptado para minimizar una función de coste predefinida, en donde el valor de control se calcula por medio de un controlador H^∞ .

Una visión general del control óptimo de H^∞ puede encontrarse en la obra de T. Basar y P. Bernhard "Control óptimo de H^∞ y problemas de diseño *minimax* relacionados: un método de juego dinámico", 2ª edición, Boston, MA: Birkhauser. 1995.

La estimación del ancho de banda disponible para la transmisión de datos de las redes de acceso normalmente puede realizarse solamente con una exactitud limitada, que da lugar a errores de estimación. Una utilización perfectamente eficiente de la capacidad de transmisión de datos de las redes de acceso, por lo tanto, no suele ser posible. Además, los ajustes de la tasa de transmisión de datos se mantienen preferentemente lo más pequeños posibles. En consecuencia, el control de retroacción informativa se adapta preferentemente para maximizar, de forma simultánea, la utilización de la capacidad de transmisión de datos de la respectiva red de acceso y minimizar las fluctuaciones en la tasa de transmisión del respectivo flujo de datos resultante de los ajustes. Como descubrieron los inventores, éste es especialmente el caso de cuando se utiliza el control óptimo H^∞ .

En una forma de realización preferida del método, el valor de control se calcula dependiendo de una preferencia predefinida para al menos una de dichas redes de acceso diferentes, dando lugar a una más alta tasa de transmisión de datos para la al menos una red de acceso preferida. Dicha preferencia se representa, de forma ventajosa, por una matriz debido a la representación matemática del algoritmo de control óptimo H^∞ .

La preferencia se suele definir dependiendo de algunos requisitos de la aplicación que se ejecuta en el dispositivo de comunicación y que realiza la demanda de ancho de banda acordada. Dichos requisitos pueden ser, a modo de ejemplo, requisitos con respecto a un tiempo de retardo de la red de acceso. Puesto que las características de las redes de acceso, tales como, a modo de ejemplo, el tiempo de retardo, pueden variar también con el tiempo, el método comprende ventajosamente las etapas de medir el momento predefinido las características de redes predeterminadas de al menos una de dichas redes de acceso diferentes y actualizar dicha preferencia predefinida dependiendo de las características de redes medidas.

Las características de redes predeterminadas, a modo de ejemplo, comprenden la tasa binaria disponible (ABR) y/o un tiempo de retardo de al menos una de dichas redes de acceso diferentes. En una red de acceso basada en IP, un tiempo de retardo típico es el retardo de desplazamiento de un paquete IP.

De este modo, se crean diversos flujos de tráfico por el dispositivo que controla dinámicamente las redes a su

disposición. A continuación, el dispositivo enruta los flujos a través de estas redes y los reasigna dinámicamente a diferentes redes sobre la base de las características de redes variables tales como la tasa binaria disponible (ABR) y el retardo. Aunque la distribución de flujos de tráfico entre diferentes redes puede permitir una mejor utilización de la red que el uso de red única en un momento determinado, la variación en las características de las redes tales como ABR y el retardo constituyen el problema importante del control de flujo y su asignación. Sin embargo, mediante el método descrito se proporciona un sistema de control de retroacción informativa equitativo y operativamente robusto.

El control de retroacción informativa anteriormente descrito, que comprende las etapas de establecer una conexión de datos entre un dispositivo de comunicación y un nodo de destino, en donde a través de cada una de al menos dos redes de acceso diferentes se enruta un flujo de datos separado asociado con dicha conexión de datos y repetidamente para cada red de acceso se estima el ancho de banda disponible para la transmisión de datos, el cálculo de un valor de control dependiente del ancho de banda disponible estimado y el ajuste de la tasa de transmisión para el respectivo flujo de datos dependiendo del valor de control respectivo, se realiza preferentemente, por separado y de forma independiente, para una pluralidad de dispositivos de comunicación que acceden simultáneamente a dichas al menos dos redes de acceso diferentes.

El diseño del control de retroacción informativa, en particular utilizando el control óptimo H^∞ , se adapta preferentemente para proporcionar una distribución equitativa del ancho de banda para la transmisión de datos entre dicha pluralidad de dispositivos de comunicación y/o para maximizar la utilización de capacidad global de dichas redes de acceso diferentes por dicha pluralidad de dispositivos de comunicación y/o para minimizar los ajustes a las tasas de transmisión.

Una definición, a modo de ejemplo, de una distribución equitativa del ancho de banda para la transmisión de datos entre la pluralidad de dispositivos de comunicación comprende que, cuando surge una congestión de tráfico, ninguna tasa de transmisión de un flujo de datos puede aumentarse sin disminuir la tasa de transmisión de otro flujo de datos, cuya tasa de transmisión es ya más pequeña. Esta es la definición conocida de distribución equitativa máxima-mínima. Sin embargo, el método descrito no está limitado a esta definición de equidad, sino que puede también comprender ventajosamente cualquier otro criterio de equidad, tal como a modo de ejemplo, una equidad proporcional. El criterio más simple para la equidad sería proporcionar anchos de banda prácticamente iguales para la transmisión de datos a cada uno de la pluralidad de dispositivos de comunicación en un entorno congestionado, en donde un entorno congestionado se produce si el ancho de banda global demandado por la pluralidad de dispositivos de comunicación excede la capacidad de transmisión de datos de las redes de acceso.

Un dispositivo de comunicación, según la idea inventiva, adaptado para establecer una conexión de datos a un nodo de destino, en donde flujos de datos separados asociados con dicha conexión de datos se enrutan a través de al menos dos redes de acceso diferentes, comprende al menos dos interfaces de red cada una asociada con una respectiva de dichas redes de acceso diferentes, un medio de estimación del ancho de banda para determinar un valor estimado del ancho de banda disponible para la transmisión de datos para cada una de dichas redes de acceso diferentes, un medio de cálculo para calcular un valor de control para cada una de dichas redes de acceso diferentes dependiendo de un ancho de banda disponible estimado de la respectiva red de acceso que se proporciona por dicho medio de estimación de ancho de banda y para cada de dichos medios de interfaces de red para ajustar la tasa de transmisión de un flujo de datos enrutado a través de la respectiva interfaz utilizando un valor de control respectivo proporcionado por dicho medio de cálculo. La conexión de datos se suele establecer en respuesta a una demanda de una aplicación que se ejecuta en el dispositivo de comunicación.

El medio de estimación de ancho de banda, el medio de cálculo y el medio para ajustar la tasa de transmisión se dispone preferentemente en un sistema informático *middleware* y puede comprender componentes de hardware y/o de software.

Las interfaces de red del dispositivo de comunicación, a modo de ejemplo, están adaptadas para acceder a una red de acceso que está basada en Ethernet, WLAN, GPRS, UMTS, DSL y/o Bluetooth. Sin embargo, la invención no está limitada a estos tipos de redes de acceso, sino que también cualquier otra red de acceso inalámbrica o cableada, incluso futura, queda dentro del alcance de protección de la invención y por lo tanto, también un dispositivo de comunicación provisto de una respectiva interfaz de red. Además, aunque el objetivo de la invención es el de dispositivos de comunicación que tengan acceso a diferentes redes de acceso mediante diferentes interfaces de red, el método de la idea inventiva puede aplicarse también a dispositivos de comunicación que estén provistos de múltiples interfaces de redes diferentes para acceder a la misma red de acceso, en donde las interfaces de redes diferentes pueden comprender componentes de hardware y/o de software.

Con el fin de proporcionar un control de retroacción informativa, el medio de estimación del ancho de banda preferentemente está adaptado para determinar un valor estimado del ancho de banda disponible para cada una de dichas redes de acceso diferentes repetidamente en momentos predefinidos. En consecuencia, el medio de cálculo operativamente ventajoso está provisto de una unidad de control de retroacción informativa adaptada para establecer un control de retroacción informativa para ajustar la tasa de transmisión para cada una de dichas redes de acceso diferentes.

Según se describió con anterioridad, los inventores encontraron que la utilización del control óptimo H^∞ es más preferible. Por lo tanto, la unidad de control de retroacción informativa se adapta preferentemente para calcular un controlador H^∞ basado en un modelo de control óptimo H^∞ para minimizar una función de coste predefinida.

La unidad de control de retroacción informativa se adapta preferentemente para establecer un control de retroacción informativa para cada una de dichas redes de acceso diferentes lo que maximiza simultáneamente la utilización de la capacidad de transmisión de datos de la respectiva red de acceso y minimiza las fluctuaciones en la tasa de transmisión del respectivo flujo de datos que resulta de los ajustes, puesto que normalmente los valores estimados del ancho de banda disponible proporcionados por el medio de estimación del ancho de banda solamente tienen una exactitud limitada.

El análisis y diseño de H^∞ permite el acoplamiento entre diferentes dispositivos de comunicación para hacer más relajado el tratamiento de la dinámica para cada dispositivo como independiente de los demás y para, no obstante, conseguir una asignación de tasas equitativa y operativamente robusta para los dispositivos y una utilización eficiente de las redes de acceso.

En consecuencia, la unidad de control de retroacción informativa con características ventajosas está adaptada para ajustar las tasas de transmisión para cada una de dichas redes de acceso diferentes de tal modo que, cuando dispositivo acceda a dicha al menos dos redes de acceso diferentes como uno de entre una pluralidad de dispositivos de comunicación similares, que acceden simultáneamente a dichas redes de acceso diferentes, una distribución equitativa del ancho de banda para la transmisión de datos se proporciona entre dicha pluralidad de dispositivos de comunicación y/o la utilización de capacidad global de dichas redes de acceso diferentes por dicha pluralidad de dispositivos de comunicación se maximiza de este modo y/o se minimiza los ajustes para las tasas de transmisión realizadas por las unidades de control de retroacción informativa de la pluralidad de dispositivos de comunicación.

Puesto que las diferentes aplicaciones ejecutables en el dispositivo de comunicación pueden tener preferencias diferentes con respecto a algunas características de las redes de acceso, tales como, a modo de ejemplo, un retardo de la red, el medio de cálculo está adaptado preferentemente para calcular un valor de control dependiente de una preferencia predefinida para al menos una de dichas redes de acceso diferentes en donde dicha preferencia predefinida con ventaja operativa se proporciona mediante una representación matricial memorizada en una unidad de memoria del dispositivo.

Puesto que las características de redes pueden variar también con el tiempo, el dispositivo de comunicación comprende ventajosamente medios para medir, en momentos predefinidos, características de redes predeterminadas de al menos una de dichas redes de acceso diferentes, en donde dicho dispositivo de comunicación está adaptado para actualizar dicha preferencia predefinida dependiendo de las características de redes medidas. Realizaciones, a modo de ejemplo, de las características de redes pertinentes comprenden la tasa binaria disponible y/o un tiempo de retardo de al menos una de dichas redes de acceso diferentes.

Además, la invención abarca un sistema de comunicaciones que comprende al menos dos redes de acceso diferentes y una pluralidad de dispositivos de comunicación según se describió con anterioridad, simultáneamente conectables a dichas redes de acceso diferentes. Dependiendo de la aplicación, dichas al menos dos redes de acceso diferentes, también con características ventajosas, pueden conectarse a una red base.

La invención da a conocer un método y sistema de control de tasas nuevo y operativamente robusto para el acceso de red heterogéneo por dispositivos con capacidades de conectividad múltiple (*multihoming*). Con esta finalidad, se propone una formulación de control óptimo de H^∞ para la asignación de tasas a dispositivos en múltiples redes de acceso con características heterogéneas variables en el tiempo. En dicha configuración operativa, el problema de la utilización eficiente de múltiples redes de acceso, inalámbricas y/o cableadas, por dispositivos mediante un control óptimo y operativamente robusto de las tasas de tráfico con una carga mínima de comunicaciones es objeto de consideración. Se propone una funcionalidad de sistema informático *middleware* de dispositivos de comunicación que supervisa las características de las redes y consigue una asignación de tasas equitativa y operativamente robusta para los dispositivos de comunicación.

Además, se establece una utilización eficiente de las redes de acceso mediante un análisis de equilibrio en el caso estático. Un análisis de H^∞ y su diseño permiten que el acoplamiento entre diferentes dispositivos sea de mayor relajación tratando la dinámica para cada dispositivo como independiente de los demás.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Se ilustra en

La Figura 1 una vista esquemática de una realización, a modo de ejemplo, de un dispositivo de comunicación que tiene acceso a tres redes de acceso diferentes,

La Figura 2 es una vista esquemática de componentes a modo de ejemplo, del dispositivo de comunicación ilustrado en la Figura 1,

5 La Figura 3 es una vista esquemática de una forma de realización, a modo de ejemplo, de un sistema de comunicaciones que comprende una pluralidad de dispositivos de comunicación que comparten simultáneamente tres redes de acceso diferentes,

10 La Figura 4 ilustra una tasa de flujo agregada y una capacidad disponible en una primera red de acceso bajo el control óptimo H^∞ ,

La Figura 5 ilustra una tasa de flujo agregada y una capacidad disponible en una segunda red de acceso bajo el control óptimo H^∞ ,

15 La Figura 6 ilustra una tasa de flujo agregada y una capacidad disponible en una tercera red de acceso bajo el control óptimo H^∞ ,

La Figura 7 ilustra las tasas de transmisión de dos flujos de datos representativos en dicha primera red de acceso bajo el control óptimo H^∞ ,

20 La Figura 8 ilustra la tasa de transmisión de dos flujos de datos representativos en dicha segunda red de acceso bajo el control óptimo H^∞ ,

La Figura 9 ilustra tasas de transmisión de dos flujos de datos representativos en dicha tercera red de acceso bajo el control óptimo H^∞ ,

25 La Figura 10 es una tasa de flujo agregada y una capacidad disponible en dicha primera red de acceso bajo el control AIMD,

30 La Figura 11 es una tasa de flujo agregada y una capacidad disponible en dicha primera red de acceso bajo el control LQG,

La Figura 12 ilustra tasas de transmisión de flujos de datos individuales con puntos iniciales aleatorios en dicha primera red de acceso bajo el control óptimo H^∞ ,

35 La Figura 13 ilustra tasas de transmisión en dicha primera red de acceso con un número variable de dispositivos de comunicación activos, y

La Figura 14 ilustra una tasa de flujo agregada y una capacidad disponible en dicha primera red de acceso bajo el control óptimo H^∞ y con un número variable de dispositivos de comunicación activos.

40 La Figura 1 ilustra una vista esquemática de una realización, a modo de ejemplo, de un dispositivo de comunicación 100 que tiene acceso a tres redes de acceso diferentes 200a, 200b y 200c. Accediendo a las redes de acceso, se puede establecer una conexión de datos con un nodo de destino 300. En la forma de realización ilustrada, las redes de acceso comprenden una red Ethernet 200a, una red Bluetooth 200b y una red WLAN 200c.

45 La Figura 2 ilustra la arquitectura del sistema del dispositivo de comunicación 100, a modo de ejemplo, ilustrado en la Figura 1, que accede a múltiples redes 104 que, en la realización ejemplo ilustrada, incluyen una red LAN (Ethernet) 200a, una red Bluetooth 200b y una red Wi-Fi (802,11x) 200c. El dispositivo de comunicación 100 está provisto de las respectivas interfaces de redes diferentes 104a, 104b y 104c para acceder a las redes de acceso diferentes. Las aplicaciones 102 en el dispositivo 100 realizan demandas de ancho de banda al sistema informático *middleware* 103 que garantiza que el dispositivo obtenga una cantidad equitativa de ancho de banda de cada red. El sistema informático *middleware* 103 tiene en cuenta las preferencias de aplicación para redes individuales, a modo de ejemplo, debido a requisitos de retardos operativos (véase ecuaciones (3) y (4)).

50 La herramienta de medición de red 103a mide continuamente el ancho de banda disponible de cada red en 104. Estas magnitudes se representan por el vector ω según se describe en la sección de "Modelo de red". El módulo 103a pasa ω al subsistema del modelo de red interno 103b que le utiliza como una entidad para la ecuación (1) (véase apartado "Control de flujo operativamente robusto"). La salida del subsistema de modelo de red interno 103b indicada por x_d junto con la función de coste en las ecuaciones (3) y (4) constituyen las entradas para el subsistema de control de tasa operativamente robusto óptimo de H-infinito 103c que calcula la salida de control u_d así como la asignación de tasas actualizada para cada red según se indica por la ecuación (2).

55 La Figura 3 ilustra un sistema de comunicaciones 500, a modo de ejemplo, que comprende múltiples dispositivos de comunicación 101-1 a 100-N, que son esencialmente idénticos al dispositivo de comunicación 100, que comparten las múltiples redes 200a, 200b y 200c. Conviene señalar que los dispositivos no comparten ninguna información explícita entre sí y toman decisiones de asignación de tasas independientes. No obstante, el método de control

5 óptimo H-infinito desarrollado da lugar a un sistema de utilización compartida de tasas de tipo equitativo y operativamente robusto entre dichos dispositivos según se demuestra en las simulaciones descritas más adelante. En la forma de realización ilustrada, las redes de acceso 200a, 200b y 200c están todas ellas conectadas a una red base 400, lo que permite el establecimiento de conexiones de datos entre los dispositivos de comunicación 100-1 a 100-N y un nodo de destino que tiene acceso a dicha red base 400.

Modelo de red

10 En esta sección se presenta un modelo analítico del entorno de redes de acceso heterogéneas. Un conjunto de redes de acceso $I = \{1, 2, \dots, I\}$ simultáneamente disponibles para múltiples dispositivos es objeto de consideración. El conjunto de dichos dispositivos que comparten estas redes se definirá como $D = \{1, 2, \dots, D\}$. La asignación y control de flujos que tienen origen en estos dispositivos sobre estas redes de acceso constituyen el problema de asignación de recursos subyacente que es uno de los objetivos a resolver por la presente invención. La tasa de flujo no negativa asigna un dispositivo $d \in D$ a cada red disponible $i \in I$ que será $r_d := [r_d^{(1)}, r_d^{(2)}, \dots, r_d^{(I)}]$.

15 En consecuencia, la tasa de flujo total en la red i es $R^{(i)} = \sum_{d=1}^D r_d^{(i)}$. Una propiedad importante de las redes de acceso aquí investigadas es la alta variabilidad de la capacidad de red $C^{(i)}(t)$, en donde t indica el tiempo. El ancho de banda disponible $B^{(i)}$ en una red se proporciona entonces por $B^{(i)}(t) := C^{(i)}(t) - \sum_{d=1}^D r_d^{(i)}(t)$. Cada dispositivo puede estimar, mediante varias herramientas de medición en línea, la magnitud $w^{(i)} := \phi(B^{(i)}(t))$, en donde la función $\phi(\cdot)$ es aproximadamente proporcional a su argumento, esto es, el ancho de banda disponible $B^{(i)}$. A continuación, se introduce e investiga una formulación de sistema lineal y un controlador H^∞ que optimiza la utilización de la red.

20 Control de flujo operativamente robusto

25 La mayoría de las redes de acceso disponibles para un dispositivo en un momento dado son inalámbricas. Las características de una red (inalámbrica) $i \in I$ y por lo tanto, su ancho de banda disponible $B(i)$ fluctúa de forma aleatoria debido a los efectos de desvanecimiento operativo en el caso de las redes inalámbricas así como el tráfico de base. En este caso, no se intenta crear un modelo de esta magnitud sino una función de ella $\omega^{(i)}(B^{(i)})$ se toma simplemente como una entidad para los dispositivos. No se realiza ningún supuesto sobre la naturaleza de esta función que captura las variaciones aleatorias en un ancho de banda disponible debido al estado del canal y otros factores.

30 A continuación, se define un sistema desde la perspectiva de un dispositivo $d \in D$ que mantiene un registro del ancho de banda disponible de una red de acceso única. El estado del sistema $x_d^{(i)}$ refleja desde la perspectiva del dispositivo d aproximadamente la disponibilidad de ancho de banda en la red i . Con el fin de simplificar el análisis en esta sección, el enfoque está en el caso de red única y el supraíndice i se elimina por comodidad notacional. Entonces, la ecuación del sistema para el dispositivo d es

$$\dot{x}_d = a x_d + b u_d + w, \quad (1)$$

40 en donde u_d representa la acción de control del dispositivo. Los parámetros $a < 0$ y $b < 0$ ajustan el horizonte operativo de la memoria., cuanto más pequeño el valor del parámetro a tanto mayor es la memoria y la efectividad "prevista" de las acciones de control, respectivamente sobre el estado del sistema x_d . El dispositivo d basa sus acciones de control en su estado operativo que no solamente toma como entrada el ancho de banda disponible actual sino también acumula el ancho de banda anterior en alguna medida. También es posible interpretar este sistema como un filtro de paso bajo con entrada w y salida x .

45 Se definirá un sistema de actualización de tasas que es aproximadamente proporcional a las acciones de control:

$$\dot{r}_d = -\phi r_d + u_d, \quad (2)$$

50 en donde $\phi > 0$ es suficientemente pequeño. Aunque este sistema de actualización de tasas parece desconectado del sistema en la ecuación (1), éste no es el caso como se demostrará en las secciones siguientes. Como resultado de ser w una función del ancho de banda disponible B , que, a su vez, es una función de las tasas de usuarios agregadas, los sistemas descritos por las ecuaciones (1) y (2) están conectados mediante un bucle de realimentación operativa. Conviene señalar, además, que se recurre aquí a un denominado "sistema de sondeo de ancho de banda" en un sentido similar a la característica de incremento aditivo – decremento multiplicativo (AIMD) del protocolo de control de transferencia (TCP) bien conocido en esta técnica. Por otro lado, los principales parámetros del sistema aquí descrito se deducen de un problema de optimización que se definirá más adelante.

60 Ahora la cuestión de cómo calcular la acción de control de tasas u_d de un dispositivo es el problema a resolver. Para ser capaz de hacerlo, se formulan primero los objetivos sobre la base de criterios de utilización del ancho de banda completo. Las siguientes observaciones se realizan sobre el sistema descrito por las ecuaciones (1) y (2): en primer lugar, la entrada w es cero si todos los dispositivos utilizan completamente el ancho de banda disponible en la red de acceso. En segundo lugar, el sistema es estable, esto es, el estado operativo converge a cero a no ser que w y u_d

sean no cero. En tercer lugar, el cambio de tasas es una función de las acciones de control u_d . Por último, las acciones de control u_d tienen un efecto sobre el estado operativo x_d . De este modo, los objetivos del controlador óptimo pueden formularse como minimizando ω , el estado x y las acciones de control u o sus cuadrados. Estos objetivos garantizan que la entrada o “perturbación” para el sistema sea rechazada, esto es, se proporcione una utilización de capacidad máxima, al mismo tiempo que se impiden fluctuaciones excesivas de las tasas que dan lugar a inestabilidades y fluctuaciones operativas.
Control óptimo H^∞

Con el fin de conseguir los objetivos anteriormente definidos sin realizar explícitamente ningún supuesto sobre ω , se utiliza la teoría de control óptimo H^∞ . Proporciona un potente marco de trabajo que permite un análisis del caso más desfavorable de los problemas de atenuación de perturbaciones. El análisis H^∞ permite que se ignore el acoplamiento entre dispositivos diferentes. Además, las dinámicas para cada dispositivo se tratan como independientes de las demás y se impulsan por perturbaciones desconocidas. Examinando la perturbación, en este caso, el ancho de banda disponible, como un oponente a una maximización inteligente en un juego de suma cero dinámico que se realiza con conocimiento de la acción de control del denominado minimizador, el sistema es objeto de evaluación bajo las condiciones más desfavorables posibles en términos de la utilización de la capacidad. Entonces, se determina la acción de control que minimizará los costes o conseguirá los objetivos definidos bajo estas circunstancias más desfavorables.

El sistema descrito puede clasificarse como de tiempo continuo con mediciones de estados perfectas debido a que el estado x_d es una variable interna del dispositivo d . Se realiza un análisis de control óptimo H^∞ y su diseño teniendo en cuenta lo que antecede. En primer lugar, se introducirá la salida controlada:

$$z(t) := [hx_d(t) \quad gu_d(t)]^T, \quad (3)$$

en donde g y h son parámetros positivos. El coste de un dispositivo que captura los objetivos definidos y para la finalidad del análisis H^∞ es

$$L_d(x, u, w) = \frac{\|z_d\|}{\|w\|}, \quad (4)$$

en donde $\|z_d\|^2 = \int_0^\infty |z|^2 dt$.

Aunque se trata de una relación, se referirá a L_d como el coste (dispositivo) en el resto del análisis. Captura los cambios proporcionales en z_d debido a cambios en ω . Si $\|\omega\|$ es de gran magnitud, el L_d de coste debe ser bajo aun cuando sea también grande la magnitud de $\|z_d\|$. Un valor de $\|z_d\|$ grande indica que el estado y el control tienen valores altos que reflejan y reaccionan ante la situación, respectivamente. Sin embargo, no deben desarrollarse sin límites, lo que se garantiza por un bajo coste, L_d . Para el resto del análisis, el subíndice d se eliminará para facilidad de notación.

La teoría del control óptimo 2014 garantiza que se cumplirá un factor de rendimiento. Este factor es también conocido como la norma γ de H^∞ y puede considerarse como el valor más desfavorable posible para el coste L . Se expresa a continuación por

$$\gamma^* := \inf_u \sup_w L(u, w), \quad (5)$$

que es el más bajo valor posible para el parámetro γ . También puede interpretarse como el nivel de rendimiento óptimo en este contexto de H^∞ . De forma de interés, se supone que el ancho de banda disponible es “controlado” por un interviniente de maximización que actúa de forma subordinada en esta formulación conociendo el control aplicado por el dispositivo o interviniente minimizador. Esta formulación así como el orden de realización garantiza que, en realidad, se analiza el escenario operativo en el caso más desfavorable.

Con el fin de resolver el problema para el controlador óptimo $\mu(x)$, se define un juego diferencial correspondiente, que se parametriza por γ ,

$$J_\gamma(u, w) = \|z\|^2 - \gamma^2 \|w\|^2. \quad (6)$$

El interviniente maximizador (Murphy) intenta maximizar esta función de coste al mismo tiempo que se minimiza el objetivo de un dispositivo. La acción de control óptima $u = \mu_\gamma$ puede determinarse a partir de esta formulación de

juego diferencial para cualquier $\gamma > \gamma^*$.

Este controlador se expresa en términos de una solución pertinente, σ_γ de una ecuación de Riccati algebraica de juegos relacionados (GARE).

5

$$2a\sigma - \left(\frac{b^2}{g^2} - \frac{1}{\gamma^2} \right) \sigma^2 + h^2 = 0 \quad (7)$$

10

Según la teoría general [12], la solución pertinente de GARE es la "mínima" entre sus múltiples soluciones definidas no negativas. Sin embargo, en este caso, puesto que GARE es escalar, y el sistema es estable en bucle abierto (es decir, $a < 0$), el GARE (que es una ecuación cuadrática) admite una solución positiva única para todos los parámetros $\gamma > \gamma^*$ y el valor de γ^* puede calcularse explícitamente en términos de los demás parámetros. La resolución para las raíces de (7) proporciona:

15

$$\sigma_\gamma = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 - \lambda h^2}}{\lambda}$$

en donde

$$\lambda := \frac{1}{\gamma^2} - \frac{b^2}{g^2}.$$

20

El parámetro λ podría ser positivo y negativo, dependiendo del valor de γ , pero para γ en valor a γ^* será positiva. Además, γ^* es el valor más pequeño de γ para el que GARE tiene una solución real. De este modo, se tiene

$$\gamma^* = \left[\sqrt{\frac{a^2}{h^2} + \frac{b^2}{g^2}} \right]^{-1}$$

25

Por último, un controlador que garantiza un rendimiento dado ligado a $\gamma > \gamma^*$ es:

$$\mu_\gamma(x) = - \left(\frac{b}{g^2} \sigma_\gamma \right) x, \quad (8)$$

30

Lo que antecede es un controlador de retroacción informativa lineal que opera sobre el estado del sistema del dispositivo x , que puede calcularse fuera de línea utilizando solamente el modelo del sistema cuadrático lineal y para el sistema y parámetros de coste dados.

Análisis de equilibrio para capacidad estática

35

El controlador de tasas óptimo H^∞ que ha sido derivado en el apartado anterior tiene la forma general $u = \theta x$, en donde θ es una constante positiva. Un análisis de equilibrio se realiza en el sistema descrito por las ecuaciones (1) y (2) bajo este controlador de retroacción informativa lineal para una red única de capacidad C fija y accesible por D dispositivos. Ignorando el ruido existente en el sistema, el supuesto de simplificación se realiza a partir de

40

$w := C - \sum_{i=1}^D r_i$ y se supone $d=1$, entonces,

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= a x_i + b \theta x_i + C - \sum_{k=1}^D r_k \\ \dot{r}_i &= -\phi r_i + \theta x_i, \quad i = 1, \dots, D. \end{aligned}$$

45

En el equilibrio, si existe, tenemos $\dot{x}_i = \dot{r}_i = 0 \forall i$. La resolución para los valores de equilibrio de x_i y de r_i para todos los valores de i es fácil de obtener

$$r_i = \frac{\theta \left(C - \sum_{j \neq i} r_j \right)}{\theta - \phi(a + b\theta)}$$

Conviene señalar que como $\phi \rightarrow 0$ tenemos $\sum_i r_i \rightarrow C$. Por consiguiente, el controlador óptimo H^∞ garantiza una utilización máxima de la red cuando la capacidad C es fija y no existe ningún ruido como ϕ que se aproxime a ser nulo.

Formulación del controlador alternativa

Habiendo establecido y analizado el controlador óptimo H^∞ para el sistema en cuestión, se describen sus variaciones y otras formulaciones. Una formulación posible es el problema gaussiano cuadrático lineal (LQG) bien conocido en donde la entrada ω es modelizada como un ruido gaussiano. Aunque este supuesto probablemente no resuelva el problema en cuestión, se utiliza LQG como un caso de comparación. Puede obtenerse aquí simplemente como el límite del problema de H^∞ como $\gamma \rightarrow \infty$. Como el $\|z\|^2$ se utiliza como el valor previsto de $\int_0^\infty |z|^2 dt$ que se indica de nuevo por $\|z\|^2$ mediante un ligero abuso de notación.

Como una alternativa, se define un controlador AIMD simple como otro sistema de comparación:

$$\dot{r}_d = \begin{cases} \alpha & , \text{ si } w > 0 \\ -\beta r & , \text{ si } w < 0 \end{cases} \quad (9)$$

en donde α y β son parámetros positivos.

Realización a modo de ejemplo ilustrativo

El controlador óptimo H^∞ se ilustra con una realización a modo de ejemplo. Los parámetros del coste y del sistema se eligen simplemente como $\alpha = -1$, $b = -1$, $g = 1$, $h = 1$. Entonces $\gamma^* = \sqrt{2}/2 \approx 0.707$. Si $\gamma = \gamma^*$ se elige, entonces la solución positiva única del GARE es $\bar{\sigma}_{\gamma^*} = 1$ que da lugar al controlador de retroacción informativa simple $\mu_{\gamma^*}(x) = x$.

Este resultado es objeto de comparación analítica con la formulación de LQG en donde $\gamma \rightarrow \infty$. Entonces, el GARE, $\sigma^2 + 2\sigma - 1 = 0$ simplemente proporciona la solución positiva única $\bar{\sigma}_\gamma \approx \sqrt{2} - 1$, que da lugar a $\tilde{\mu}_\gamma(x) \approx (\sqrt{2} - 1)x$. Se observa que, a pesar de la misma estructura del coste, el controlador H^∞ es más "agresivo" con el fin de asegurar un límite superior sobre el coste L haciendo caso omiso del valor de ω . Por otro lado, el controlador de LQG tiene una más baja ganancia de retroacción informativa posiblemente debido al supuesto de ruido gaussiano inherente en ω .

Control óptimo H^∞ para redes múltiples

En la sección anterior, se ha dado a conocer el análisis y diseño del controlador para una red de acceso única compartida por múltiples dispositivos para aumentar la legibilidad y concentrarse en los conceptos básicos manteniendo simple la notación. En este caso, la formulación de control óptimo H^∞ se proporciona para el caso general de múltiples redes de acceso para un dispositivo único $d \in D$ y el subíndice d se elimina de nuevo para facilidad de notación.

Se definirá $x := [x^{(i)}]$, $r := [r^{(i)}]$, y $u := [u^{(i)}]$ para todo $i \in I$. A continuación, la contrapartida del sistema descrito por las ecuaciones (1) y (2) se proporciona por

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A x + B u + D w \\ \dot{r} &= -\Phi r + u, \end{aligned} \quad (10)$$

en donde $w := [\omega^{(i)}] \forall i$. En este caso, las matrices A , B y ϕ se obtienen simplemente multiplicando la matriz de identidad por a , b y ϕ , respectivamente.

La contrapartida de la salida controlada en (3) es

$$z(t) := Hx(t) + Gu(t), \quad (11)$$

en donde se supone que $G^T G$ es definida positiva y que ningún coste se establece sobre el producto de acciones de control y establece: $H^T G = 0$. La matriz H representa un coste en la variación del estado cero, esto es, utilización de capacidad completa. Se definirá además $Q := H^T H$

5 A continuación se define el coste

$$L(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{w}) = \frac{\|\mathbf{z}\|}{\|\mathbf{w}\|}, \quad (12)$$

10 en donde $\|\mathbf{z}\|^2 := \int_0^\infty |\mathbf{z}(t)|^2 dt$ y el juego diferencial correspondiente parametrizado por γ

$$J_\gamma(\mathbf{u}, \mathbf{w}) = \|\mathbf{z}\|^2 - \gamma^2 \|\mathbf{w}\|^2 \quad (13)$$

como en las secciones anteriores.

15 La expresión de GARE correspondiente

$$A^T Z + Z A - Z(B(G^T G)^{-1} B^T - \gamma^{-2} D D^T) Z + Q = 0, \quad (14)$$

20 admite una solución definida no negativa mínima única \bar{Z}_γ que existe si (A, B) es estabilizable y (A, H) detectable. De este modo, se obtiene el controlador de retroacción informativa lineal óptimo H^∞ para el caso de red múltiple:

$$\mu_\gamma(\mathbf{x}) = -(G^T G)^{-1} B^T \bar{Z}_\gamma \mathbf{x}. \quad (15)$$

Simulaciones

25 Los inventores realizaron pruebas de medición para recoger trazas informativas del ancho de banda disponible en varias redes WLANs y Ethernet. Mediante simulaciones, el sistema de control óptimo H^∞ que se utiliza preferentemente por la invención se compara con los sistemas de AIMD y LQG. A continuación, la eficiencia, el carácter equitativo y la robustez operativa del controlador de tasas óptimo H^∞ se demuestra mediante simulaciones
30 que utilizan las características de redes reales medidas a escala mundial.

El controlador óptimo H^∞ se simula en un escenario operativo en donde 20 dispositivos comparten tres interfaces de redes diferentes con anchos de banda disponibles variables obtenidos a partir de las mediciones reales a escala mundial. Los parámetros son $a = -1$, $b = -1$, $g = 1$ y se eligen para ser los mismos en las tres redes resultantes en G
35 para ser matriz de identidad y A y B ser matrices de identidad negativas. Para los 15 últimos dispositivos, la matriz Q se elige como una matriz de identidad, mientras que para los 5 primeros dispositivos es

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

40 lo que indica una preferencia para la red 2 debido a, a modo de ejemplo, las características de retardo favorables y la naturaleza de las aplicaciones que se ejecutan en estos dispositivos. De este modo, los controladores u_1 y u_2 para los 5 primeros y los 15 últimos dispositivos, respectivamente, son

$$u_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 3.9 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x^{(1)} \\ x^{(2)} \\ x^{(3)} \end{bmatrix},$$

45

$$u_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x^{(1)} \\ x^{(2)} \\ x^{(3)} \end{bmatrix}.$$

Los valores γ^* correspondientes se calculan como 0.895 y 0.707, respectivamente.

Las tasas de flujo agregado resultantes y la capacidad de cada red se ilustran en las Figuras 4, 5 y 6. La utilización de capacidad media en las redes son 88.2 %, 89.2 % y 89.9 %, respectivamente. Los flujos individuales correspondientes de dispositivos en cada red se ilustran en las Figuras 7, 8 y 9. Como estaba previsto, los 5 dispositivos con una preferencia para la red 2 obtienen una más alta participación del ancho de banda allí contenido.

A continuación, se compara el controlador óptimo H^∞ con el sistema AIMD con parámetros $\alpha = 10$ y $\beta = 0.75$ para 20 dispositivos simétricos en la red 1. Los resultados se ilustran en la Figura 10. Se observa que la utilización de capacidad media bajo el controlador AIMD es solamente del 74.6 % y el controlador óptimo H^∞ realiza AIMD en este aspecto. Además, las tasas de flujo fluctúan menos bajo el sistema H^∞ a pesar de una elección cuidadosa de los parámetros AIMD.

Como una segunda comparación, se simula el controlador de LQG dentro del mismo entorno. Según se ilustra en la Figura 11, el controlador LQG funciona mejor que el AIMD, pero es más desfavorable que el controlador óptimo H^∞ con una utilización de capacidad media del 85.6 %.

Se observa que la tasa de flujo agregado no sigue la capacidad tan próximamente como era el caso con el control óptimo H^∞ . Es también importante señalar que el sistema de LQG no proporciona una garantía de rendimiento mínimo en el coste L mientras que lo asegura el control H^∞ .

Posteriormente, se investiga que las propiedades de distribución equitativa de nuestro método simulando 20 dispositivos con tasas de flujo iniciales aleatorias en la red 1. Se observa en la Figura 12 que dentro de un corto periodo de tiempo, cada flujo converge hacia una utilización compartida equitativa del ancho de banda o de la capacidad disponible. La simulación anterior da lugar a lo ilustrado en las Figuras 7, 8 y 9 que muestran también que los dispositivos que obtienen más ancho de banda en la red 2 obtienen menos en las otras dos redes lo que indica, además, la distribución equitativa del método descrito.

Por último, se estudia la robustez operativa del controlador óptimo H^∞ con respecto a las variaciones en el número de dispositivos. En esta simulación, cuyos resultados se ilustran en las Figuras 13 y 14, el número de dispositivos que acceden a la red se aumenta bruscamente desde 20 a 40 en un intervalo temporal $t = 100$ y se desactivan de nuevo en $t = 200$. Se observa en las Figuras 13 y 14 que el algoritmo descrito responde satisfactoriamente a estos cambios con una alta velocidad de convergencia.

La invención da a conocer un método y un sistema de control de flujo, que son operativamente robustos, basados en la teoría de control óptimo H^∞ para la finalidad de utilización eficiente de múltiples redes heterogéneas y una asignación de ancho de banda equitativa para dispositivos que acceden a ellas. Las mediciones del ancho de banda y del retardo operativo de diferentes tipos de redes en una configuración en el mundo real tienen fluctuaciones aleatorias indicadas de estas magnitudes y justificaron la necesidad de un sistema de control de tasas operativamente más robusto. El sistema ha sido modelizado desde una perspectiva del dispositivo y derivado un sistema de control de tasas de información mínimo que utiliza acciones de control óptimas obtenidas mediante el análisis de H^∞ y su diseño. Reformulando el problema de control de tasas como una teoría de control H^∞ de rechazo de perturbaciones se utiliza sin necesidad de realizar ningún supuesto restrictivo sobre la naturaleza aleatoria de las características de las redes.

Una utilización eficiente de la red de acceso bajo el algoritmo descrito ha sido establecida mediante un análisis de equilibrio en el caso estático. Además, un sistema de control de LQG (como una variación del sistema H^∞) así como un algoritmo de AIMD simple han sido considerados para fines de comparación. Las propiedades de eficiencia, distribución equitativa y robustez operativa del controlador de tasa óptimo H^∞ aquí descritas han sido demostradas mediante simulaciones utilizando las características de redes medidas a escala mundial real.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de control dinámico de la tasa de transmisión de un dispositivo de composición (100), que es conectable a por lo menos dos redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) que comprende las etapas de
- 10 a) establecer una conexión de datos entre el dispositivo de comunicación (100) y un nodo de destino (300),
- b) enrutar a través de cada una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) un flujo de datos separado asociado con dicha conexión de datos, en donde la tasa de transmisión de cada flujo de datos es ajustable por separado,
- 15 c) estimar para cada red de acceso (200a, 200b, 200c) el ancho de banda disponible para la transmisión de datos,
- d) calcular para cada red de acceso (200a, 200b, 200c) un valor de control dependiente del ancho de banda disponible estimado de la red de acceso respectiva (200a, 200b, 200c) y
- 20 e) ajustar para cada una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c), la tasa de transmisión para el respectivo flujo de datos dependiendo del valor de control respectivo, en donde
- 25 las etapas c) a e) se realizan repetidamente en tiempos predefinidos, en donde un control de retroacción informativa para ajustar la tasa de transmisión para cada una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) se establece realizando repetidamente las etapas c) a e), en donde dicho control de retroacción informativa es un control óptimo H^{∞} adaptado para minimizar una función de coste predefinida y dicho valor de control se determina por medio de un controlador H^{∞} .
- 30 2. El método según la reivindicación 1, en donde la etapa de estimar el ancho de banda disponible para la transmisión de datos de la respectiva red de acceso (200a, 200b, 200c) se realiza con una exactitud limitada y en donde dicho control de retroacción informativa está adaptado para simultáneamente
- maximizar la utilización de la capacidad de transmisión de datos de la respectiva red de acceso y
 - minimizar las fluctuaciones en la tasa de transmisión del flujo de datos respectivo resultante de los ajustes.
- 35 3. El método según cualquiera de la reivindicaciones precedentes, en donde en la etapa d) dicho valor de control se calcula dependiendo de una preferencia predefinida para al menos una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c).
- 40 4. El método según la reivindicación 3, en donde dicha preferencia se representa por una matriz.
5. El método según la reivindicación 3 o 4, que comprende las etapas de
- medir, en tiempos predefinidos, las características de redes predeterminadas de al menos una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c), y
 - actualizar dicha preferencia predefinida dependiendo de las características de redes medidas.
- 45 6. El método según la reivindicación 5, en donde las características de redes predeterminadas comprenden la tasa binaria disponible y/o un tiempo de retardo de al menos una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c).
- 50 7. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la capacidad de transmisión de datos de al menos una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) varía con el tiempo.
8. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde al menos una de dichas redes de acceso (200a, 200b, 200c) está basada en Ethernet, WLAN, GPRS, UMTS, DSL o Bluetooth.
- 55 9. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde las etapas a) a e) se realizan por separado y de forma independiente para una pluralidad de dispositivos de comunicación (100-1 – 100-N) accediendo simultáneamente a dichas al menos dos redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) y
- 60 realizando repetidamente las etapas c) a e) se establece un control de retroacción informativa por separado para cada uno de dicha pluralidad de dispositivos de comunicación (100-1 – 100-N), en donde dicho control de retroacción informativa está adaptado
- 65 - para proporcionar una distribución equitativa del ancho de banda para la transmisión de datos entre dicha pluralidad de dispositivos de comunicación (100-1 – 100-N) y/o

- para maximizar la utilización de capacidad global de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) por dicha pluralidad de dispositivos de comunicación (100-1 – 100-N) y/o
- 5 - para minimizar los ajustes a las tasas de transmisión.
- 10.** Un dispositivo de comunicación (100) adaptado para establecer una conexión de datos a un nodo de destino (300), en donde flujos de datos separados asociados con dicha conexión de datos se enrutan a través de al menos dos redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c), comprendiendo dicho dispositivo
- 10 - al menos dos interfaces de red (104a, 104b, 104c) estando cada una asociada con una respectiva de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c),
- 15 - un medio de estimación de ancho de banda (103a) para determinar un valor estimado del ancho de banda disponible para la transmisión de datos para cada una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c)
- medios de cálculo (103b, 103c) para calcular un valor de control para cada una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) dependiendo de un ancho de banda disponible estimado de la respectiva red de acceso (200a, 200b, 200c) proporcionado por dicho medio de estimación de ancho de banda (103a) y
- 20 - para cada una de dichas interfaces de red (104a, 104b, 104c), un medio (103c) para ajustar la tasa de transmisión de un flujo de datos enrutado a través de la respectiva interfaz (104a, 104b, 104c) utilizando un respectivo valor de control proporcionado por dichos medios de cálculo (103b, 103c), en donde dichos medios de cálculo (103b, 103c) se proporcionan como una unidad de control de retroacción informativa adaptada para
- 25 establecer un control de retroacción informativa para ajustar la tasa de transmisión para cada una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c), en donde dicha unidad de control de retroacción informativa está adaptada para calcular un controlador H^∞ sobre la base de un modelo de control óptimo H^∞ para minimizar una función de coste predefinida.
- 30 **11.** El dispositivo de comunicación (100) según la reivindicación 10, en donde dicho medio de estimación de ancho de banda (103a) está adaptado para determinar un valor estimado del ancho de banda disponible para cada una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) repetidamente en tiempos predefinidos.
- 35 **12.** El dispositivo de comunicación (100) según la reivindicación 10 o la reivindicación 11, en donde dicho medio de estimación del ancho de banda (103a) proporciona valores estimados del ancho de banda disponible solamente con una exactitud limitada y en donde dicha unidad de control de retroacción informativa está adaptada para establecer un control de retroacción informativa para cada una de dichas redes de acceso diferentes que simultáneamente
- 40 - maximiza la utilización de la capacidad de transmisión de datos de la respectiva red de acceso y
- minimiza las fluctuaciones en la tasa de transmisión del respectivo flujo de datos resultante de los ajustes.
- 45 **13.** El dispositivo de comunicación (100) según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en donde dicha unidad de control de retroacción informativa está adaptada para ajustar las tasas de transmisión para cada una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) de tal modo que,
- 50 cuando dicho dispositivo (100) acceda a dichas al menos dos redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) como uno de entre una pluralidad de dispositivos de comunicación similares (100-1 -100-N) que accede simultáneamente a dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c),
- 55 - una distribución equitativa del ancho de banda para la transmisión de datos se proporciona entre dicha pluralidad de dispositivos de comunicación (100-1 – 100-N) y/o
- utilización de capacidad global de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) por dicha pluralidad de dispositivos de comunicación (100-1 – 100-N) se maximiza y/o
- ajustes para la tasa de transmisión realizados por las unidades de control de retroacción informativa de la pluralidad de dispositivos de comunicación (100- – 100-N) se minimizan.
- 60 **14.** El dispositivo de comunicación (100) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dichos medios de cálculo (103b, 103c) están adaptados para calcular un valor de control dependiente de una preferencia predefinida para al menos una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c).
- 65 **15.** El dispositivo de comunicación (100) según la reivindicación 14, en donde dicha preferencia predefinida se proporciona por una representación matricial memorizada en una unidad de memorización del dispositivo (100).

- 5
16. El dispositivo de comunicación (100) según la reivindicación 14 o 15, que comprende un medio (103a) para medir en tiempos predefinidos las características de redes predeterminadas de al menos una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c), en donde dicho dispositivo de comunicación (100) está adaptado para actualizar dicha preferencia predefinida dependiendo de las características de redes medidas.
- 10
17. El dispositivo de comunicación (100) según la reivindicación 16, en donde las características de redes predeterminadas comprenden la tasa binaria disponible y/o un tiempo de retardo de al menos una de dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c).
- 15
18. El dispositivo de comunicación (100) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde al menos una de dichas interfaces de red (104a, 104b, 104c) está adaptada para acceder a una red de acceso (200a, 200b, 200c) que está basada en Ethernet, WLAN, GPRS, UMTS, DSL o Bluetooth.
- 20
19. Un sistema de comunicaciones (500) que comprende
- al menos dos redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c),
 - una pluralidad de dispositivos de comunicación (100-1 – 100-N) según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 18, simultáneamente conectables a dichas redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c).
20. El sistema de comunicaciones (500) según la reivindicación 19, en donde dichas al menos dos redes de acceso diferentes (200a, 200b, 200c) están conectadas a una red base (400).

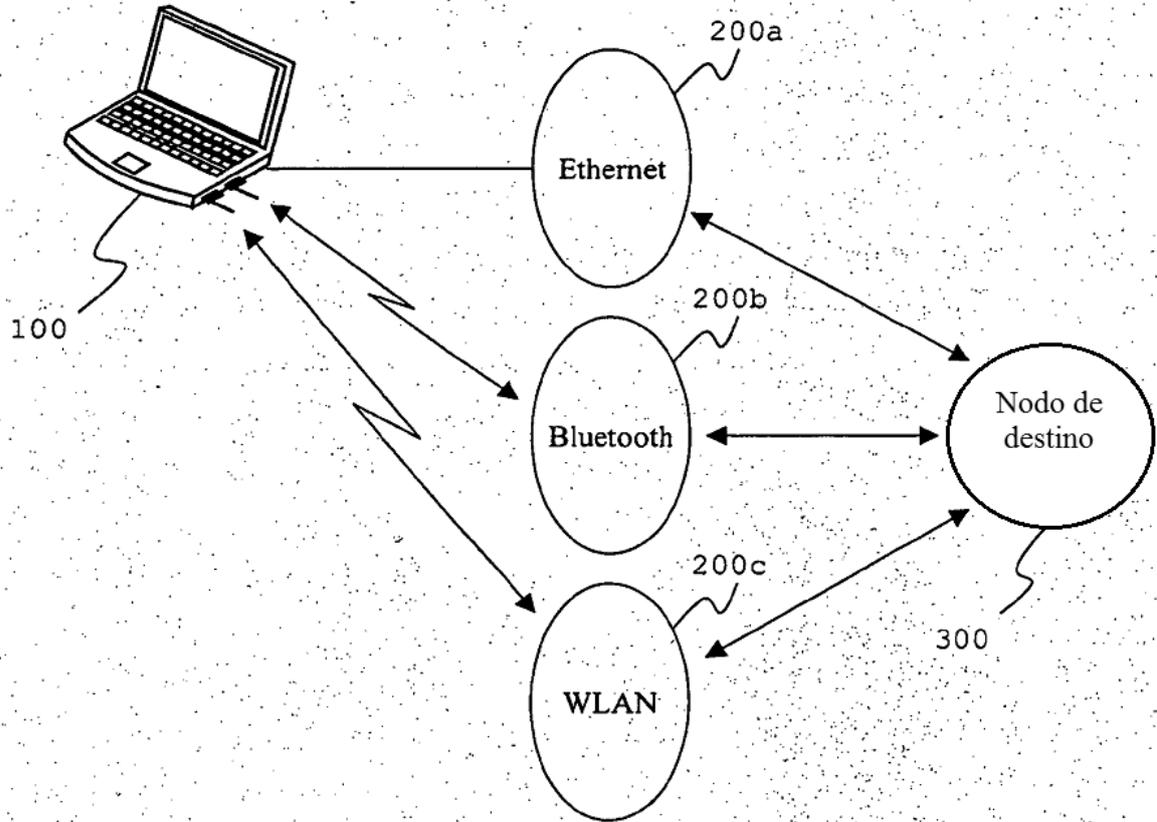


Fig. 1

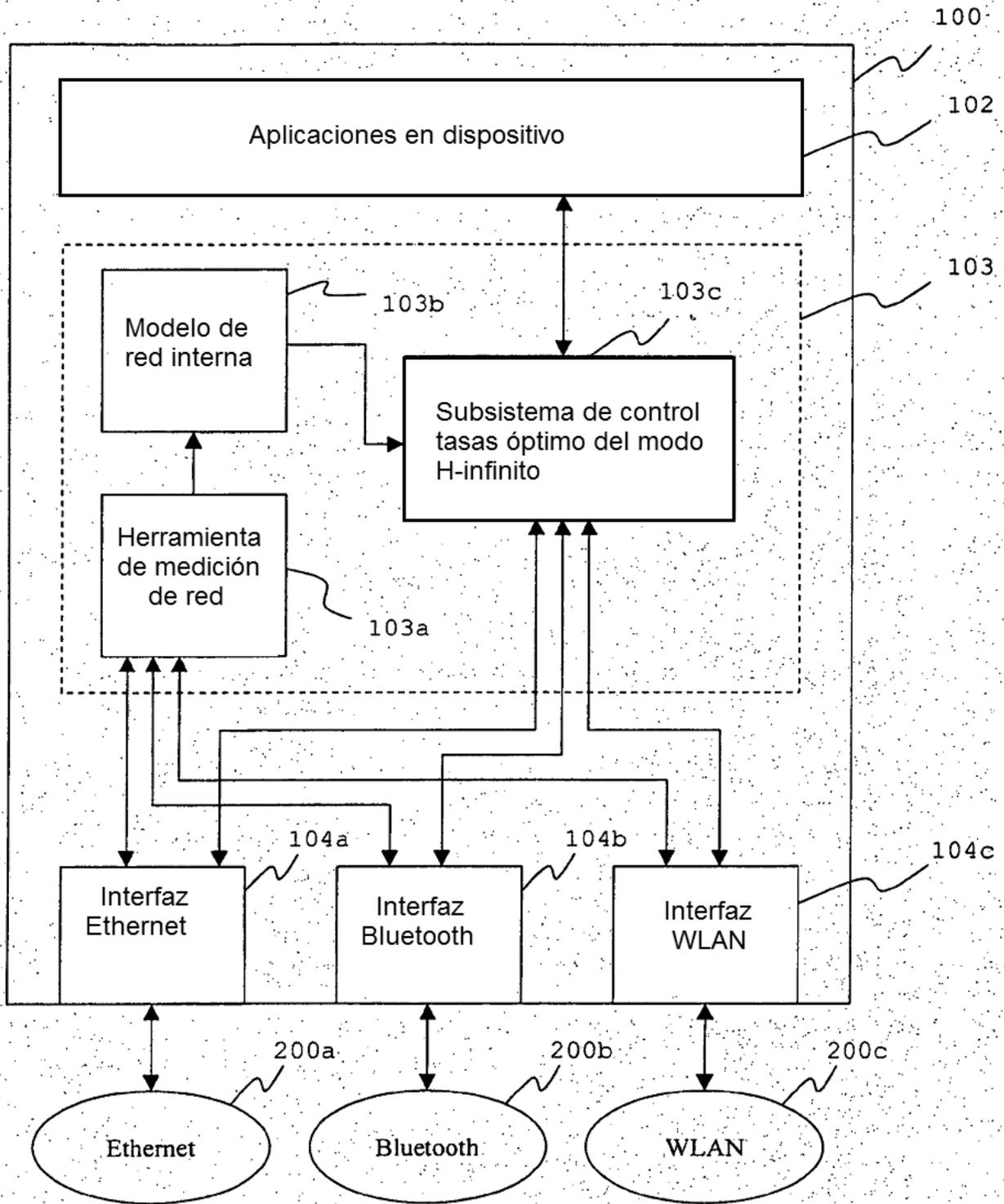


Fig. 2

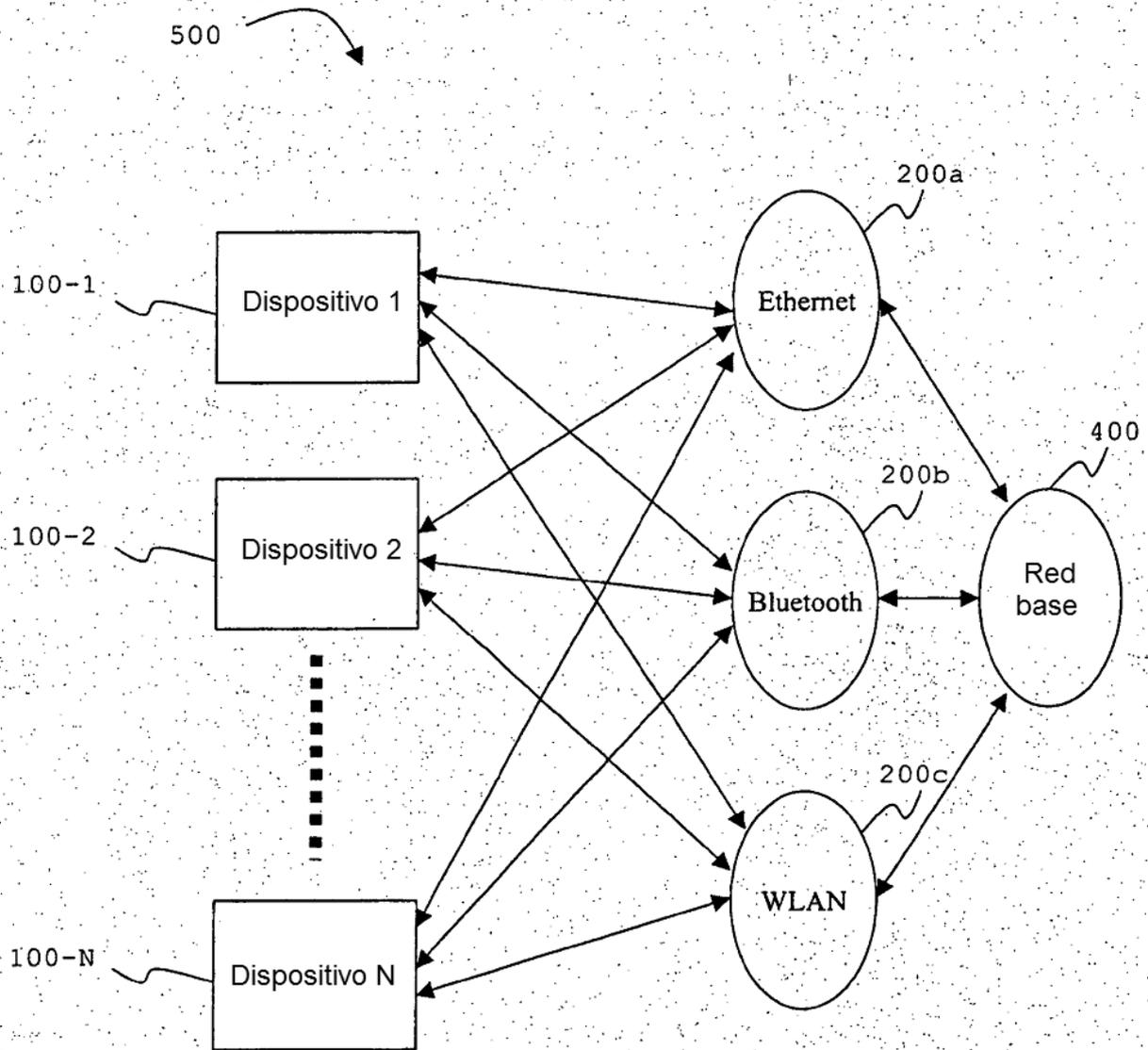


Fig. 3

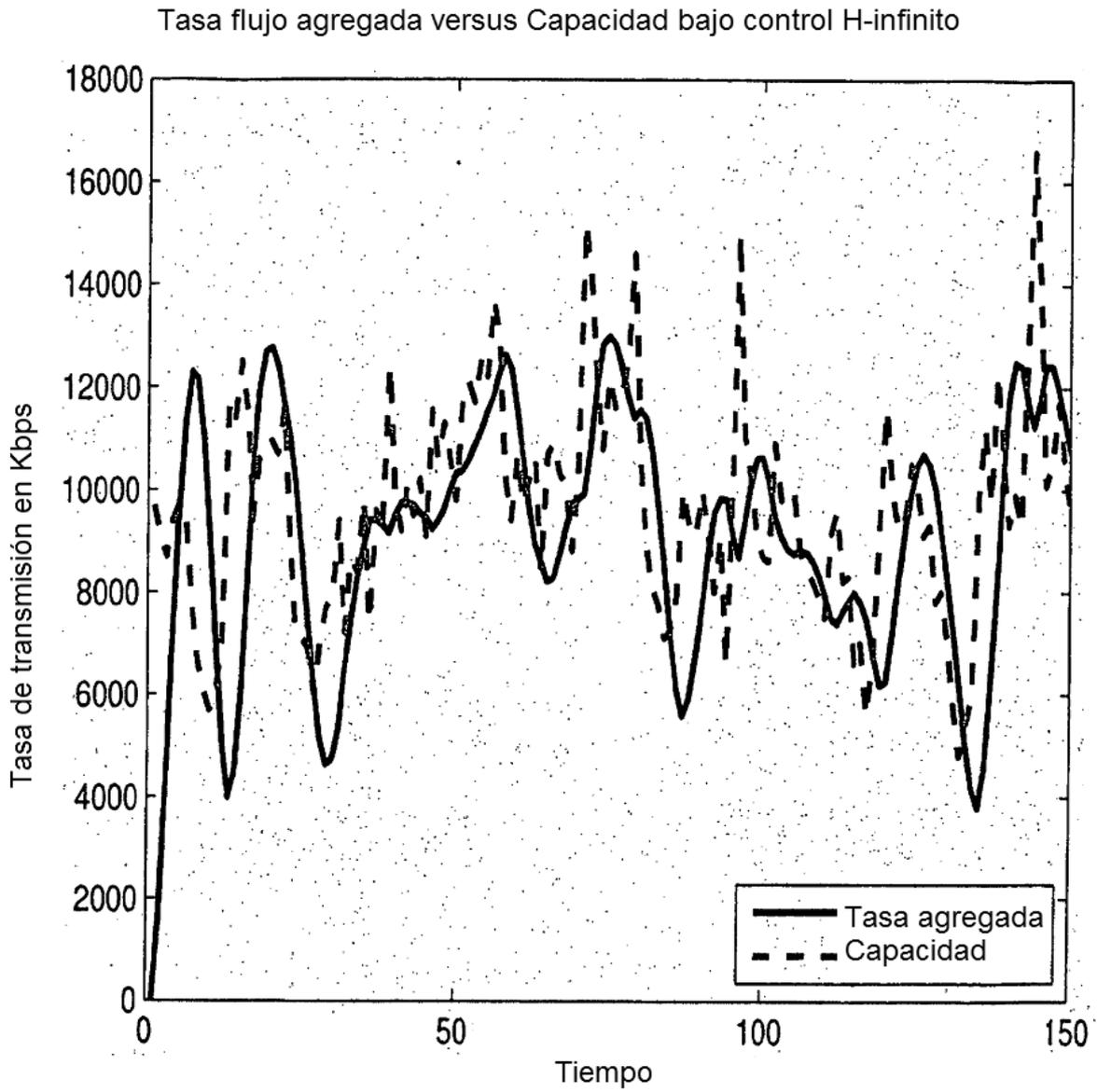


Fig. 4

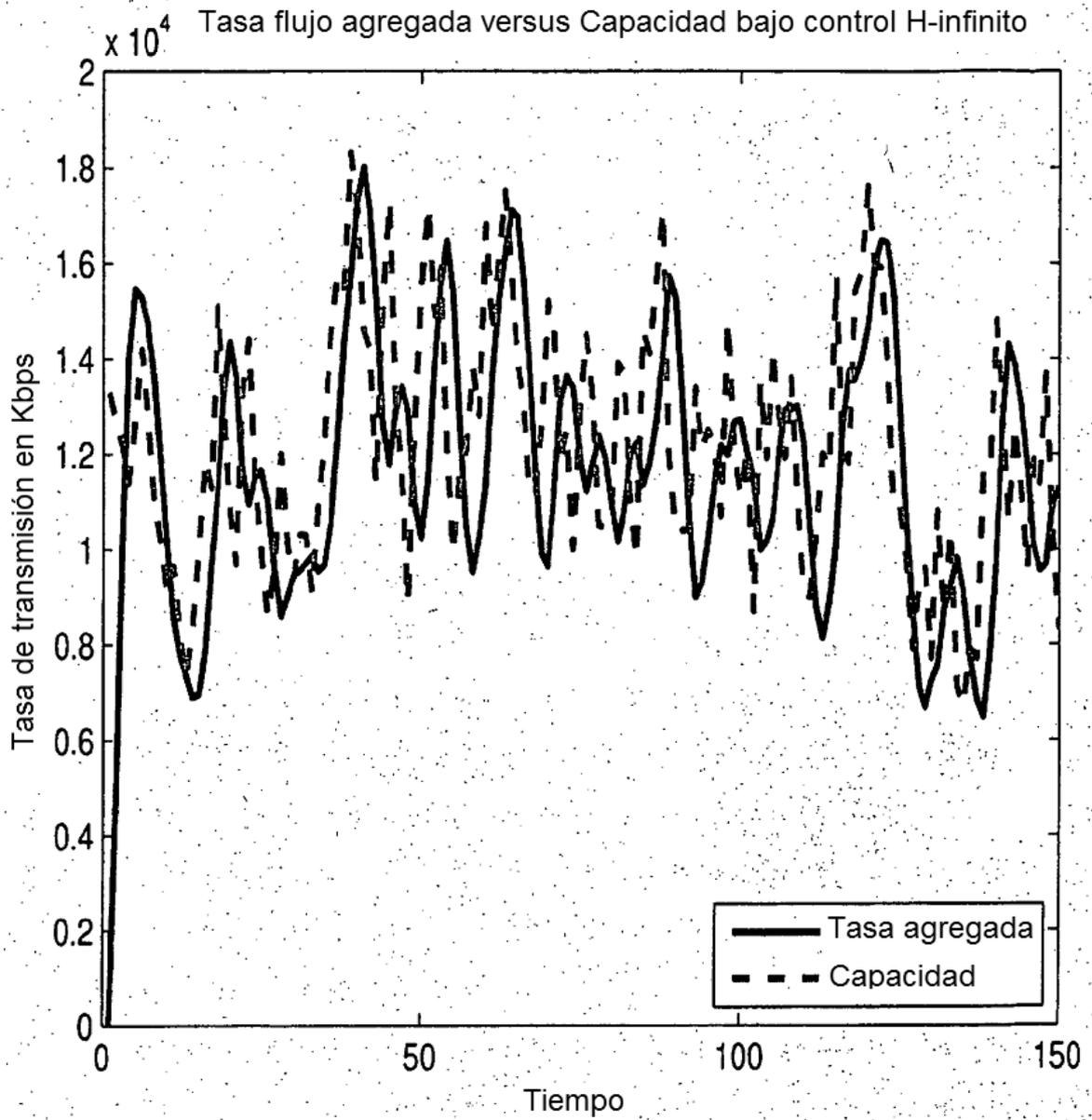


Fig. 5

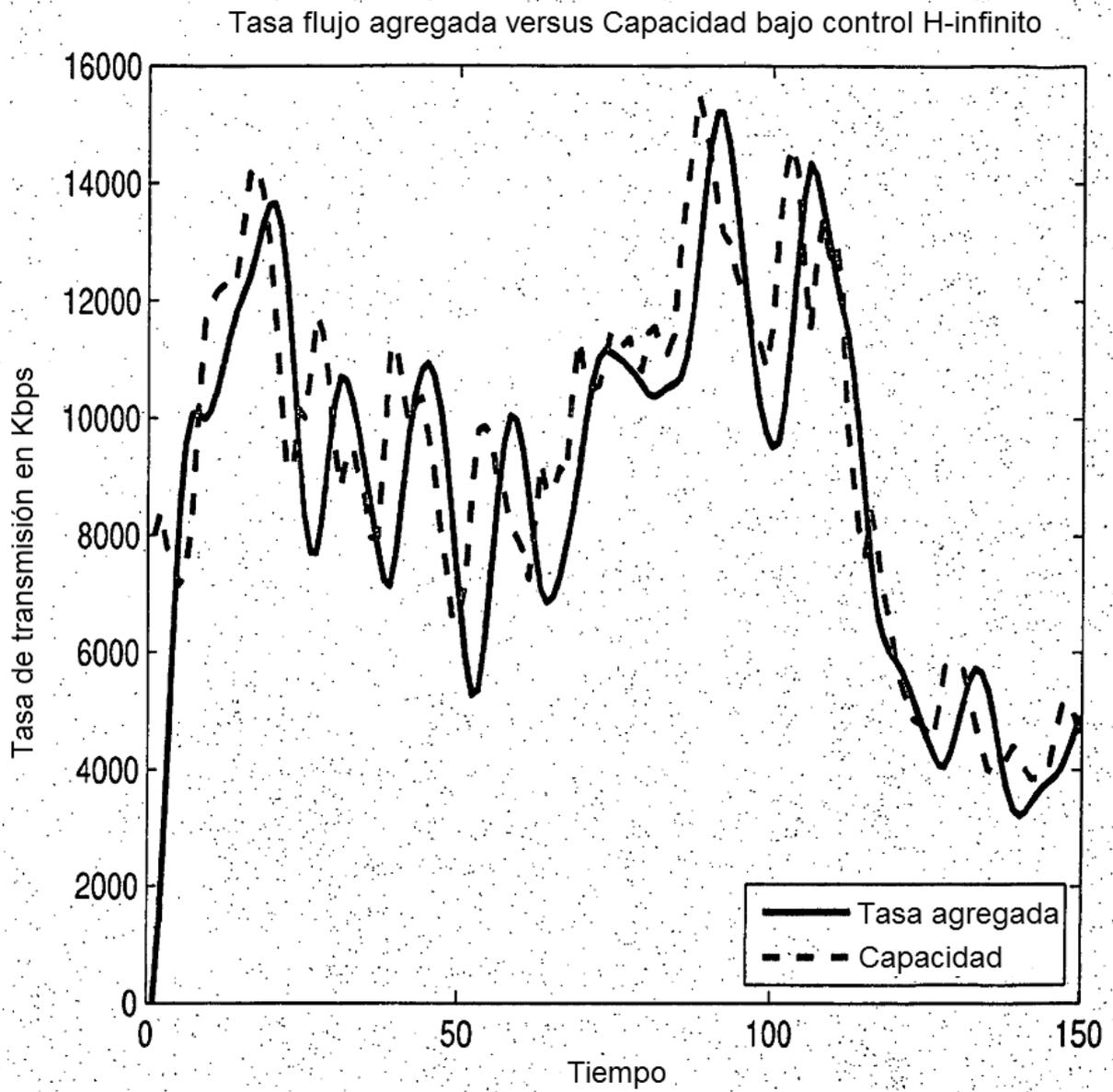


Fig. 6

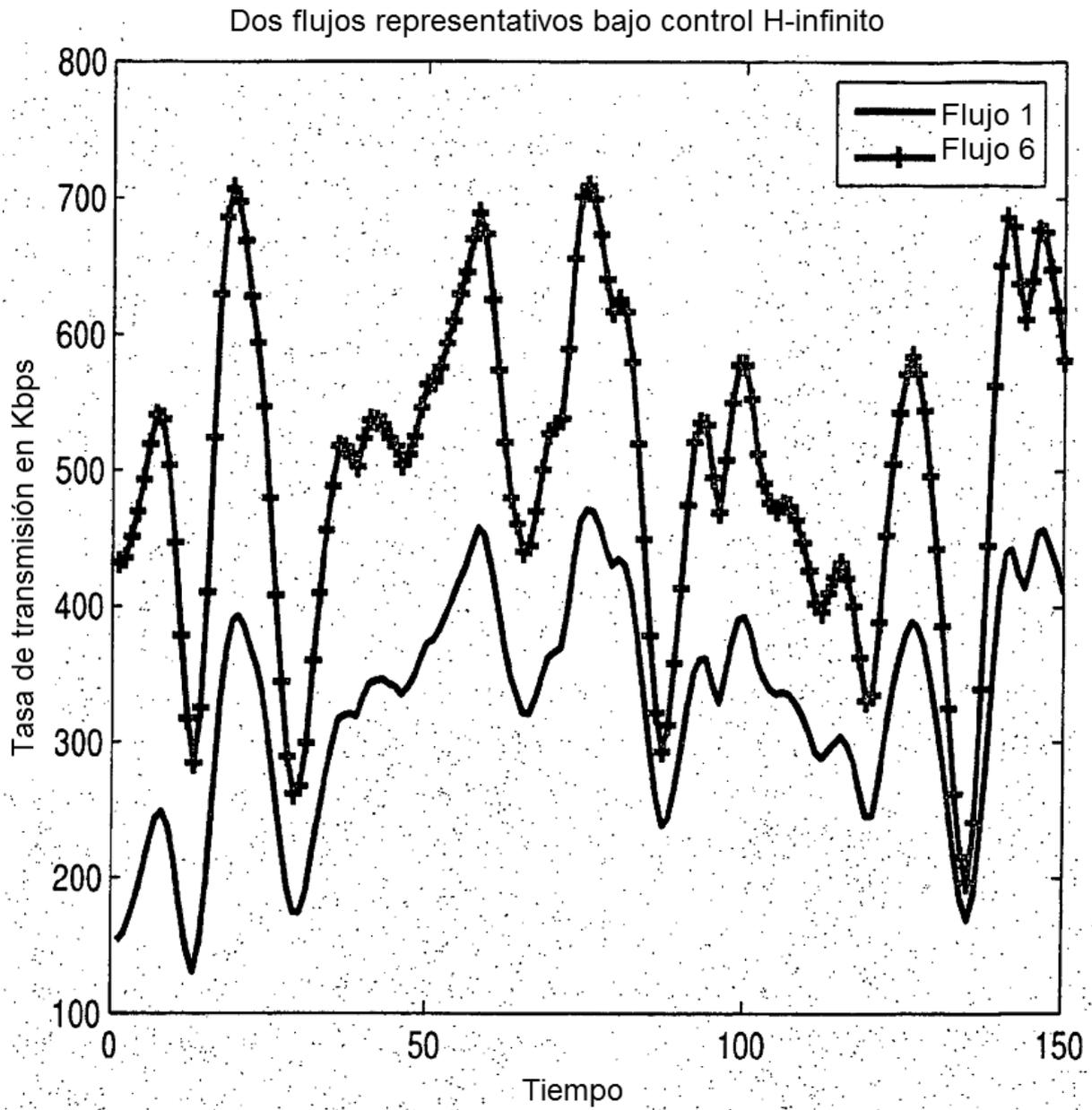


Fig. 7

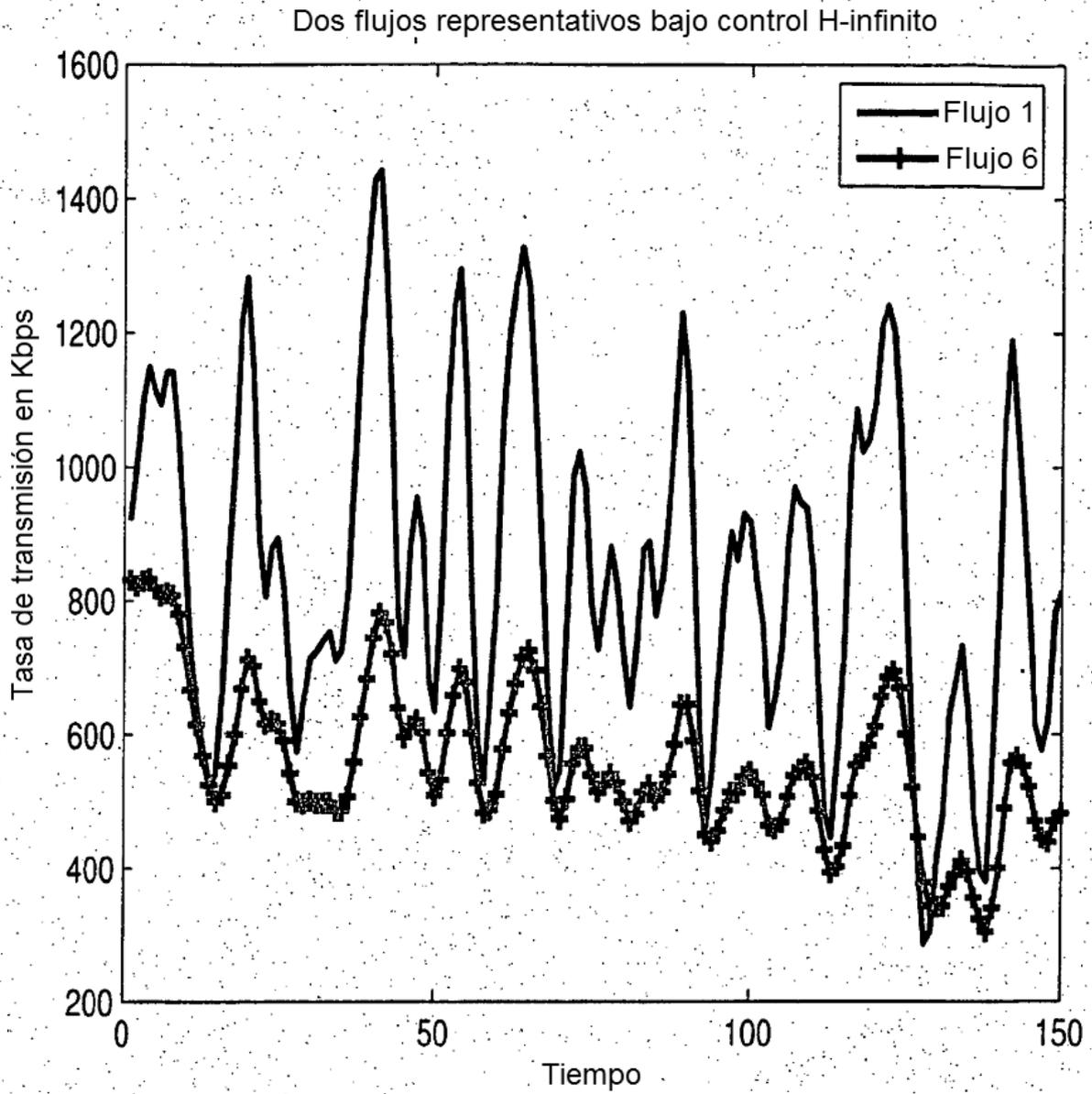


Fig. 8

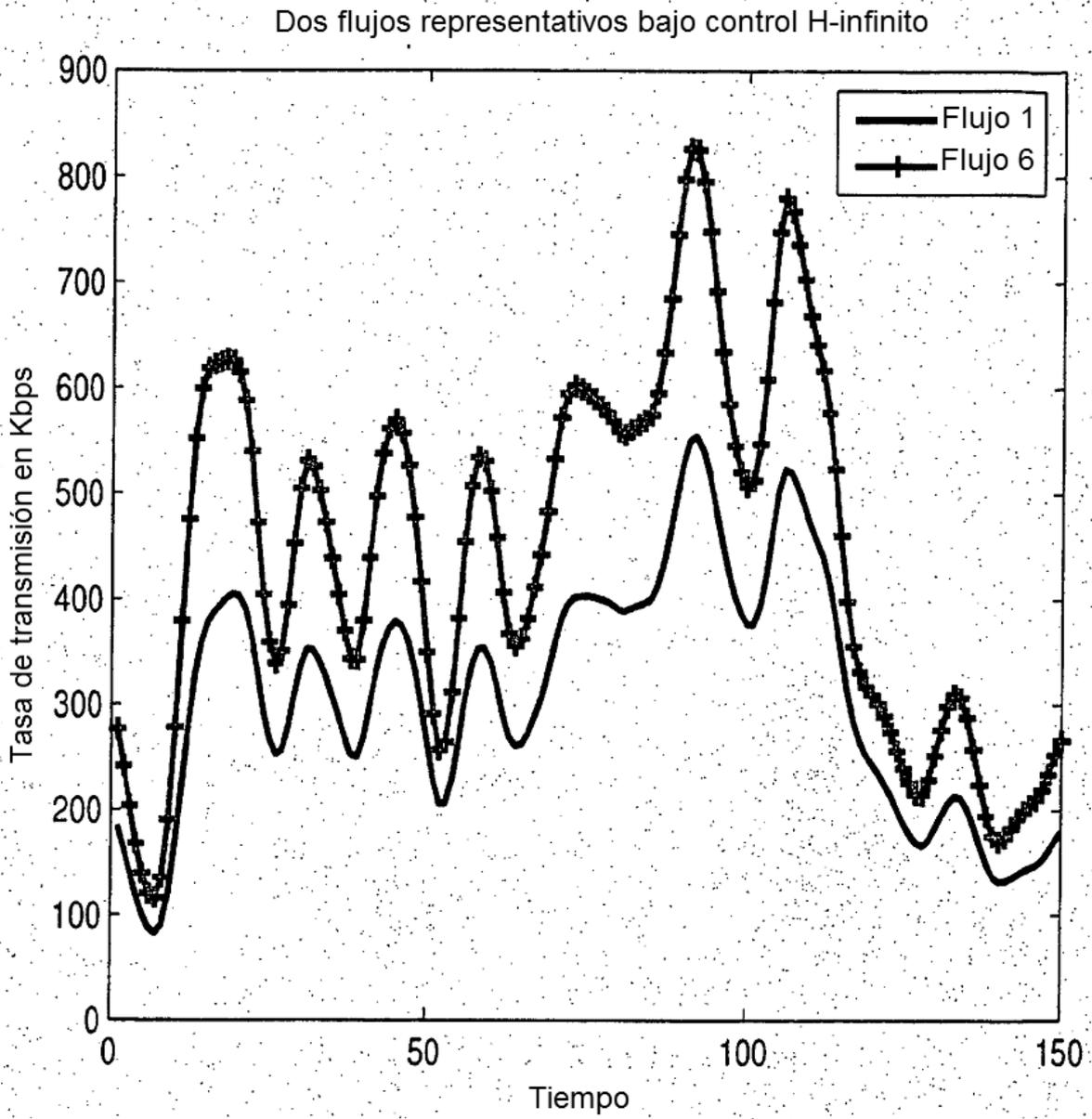


Fig. 9

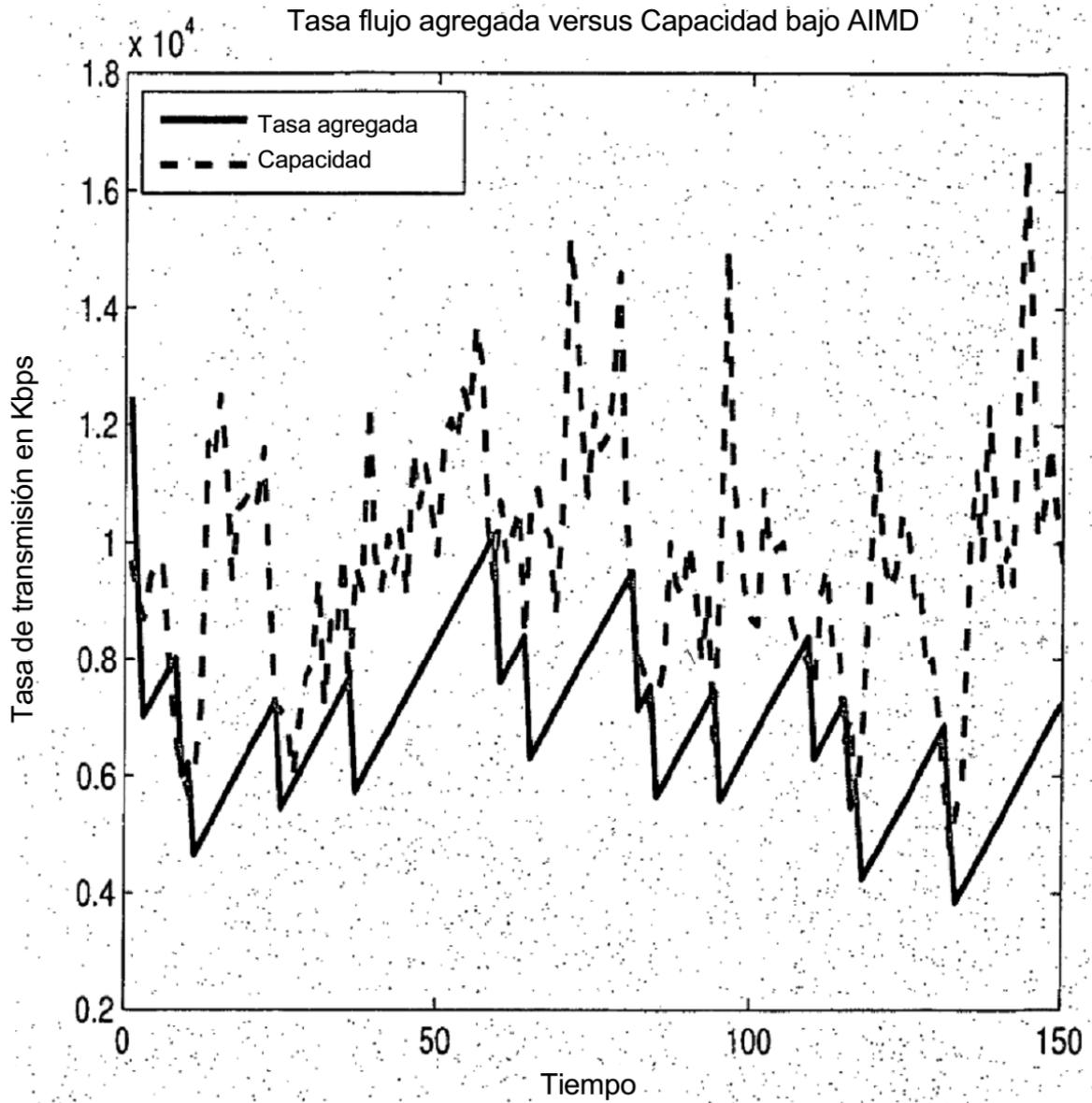


Fig. 10

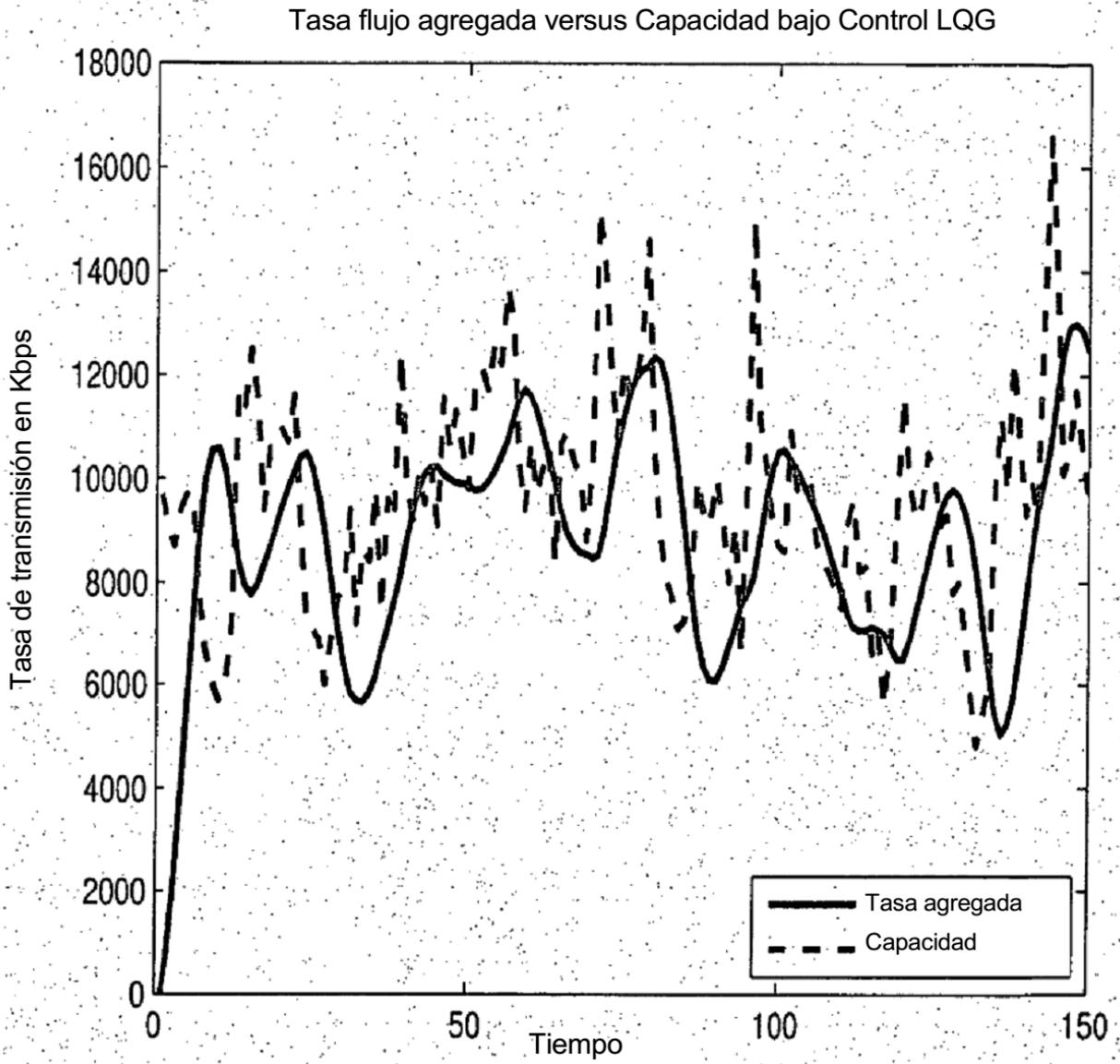


Fig. 11

Flujos individuales bajo Control H-infinito

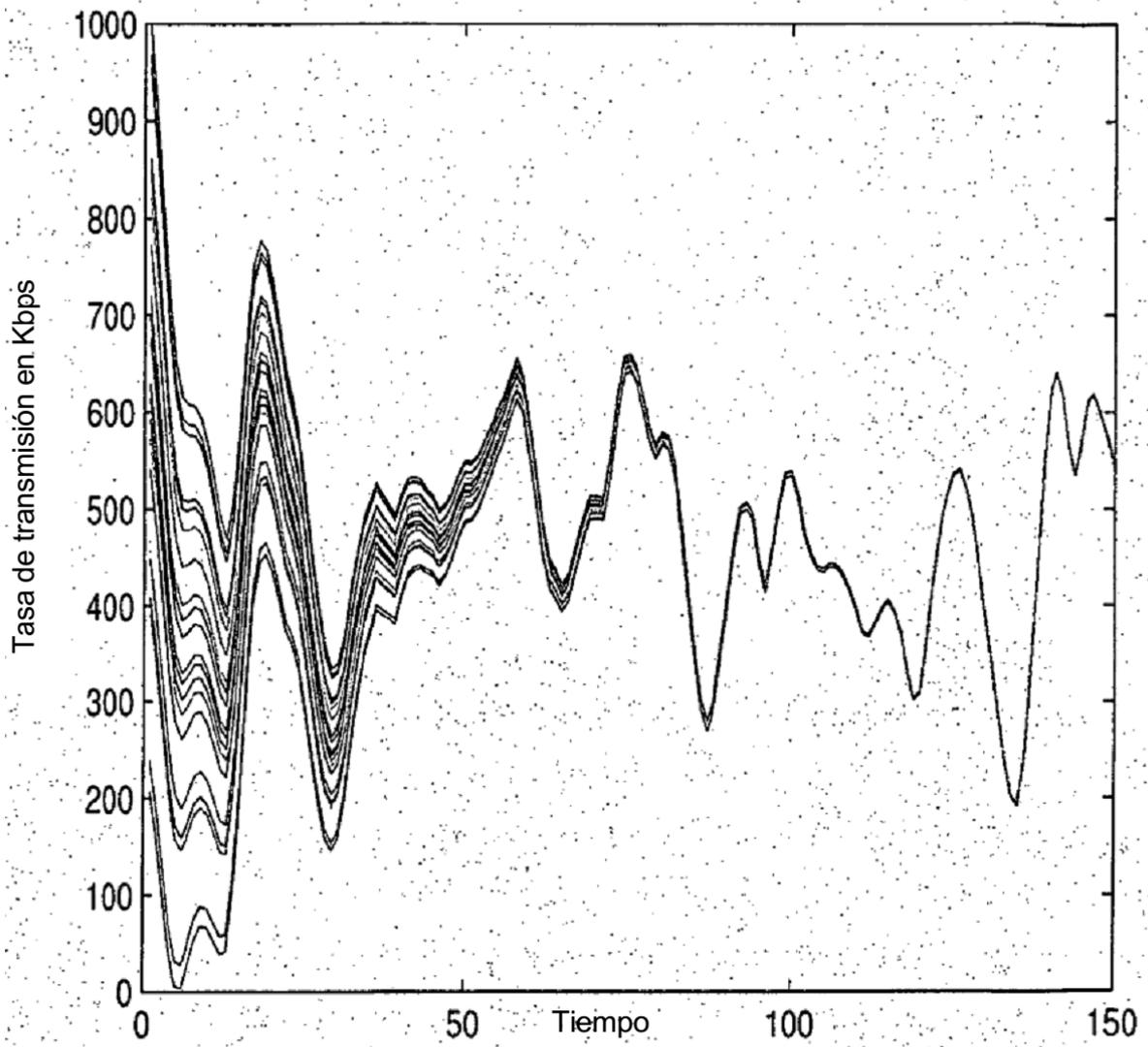


Fig. 12

Flujos individuales bajo Control H-infinito

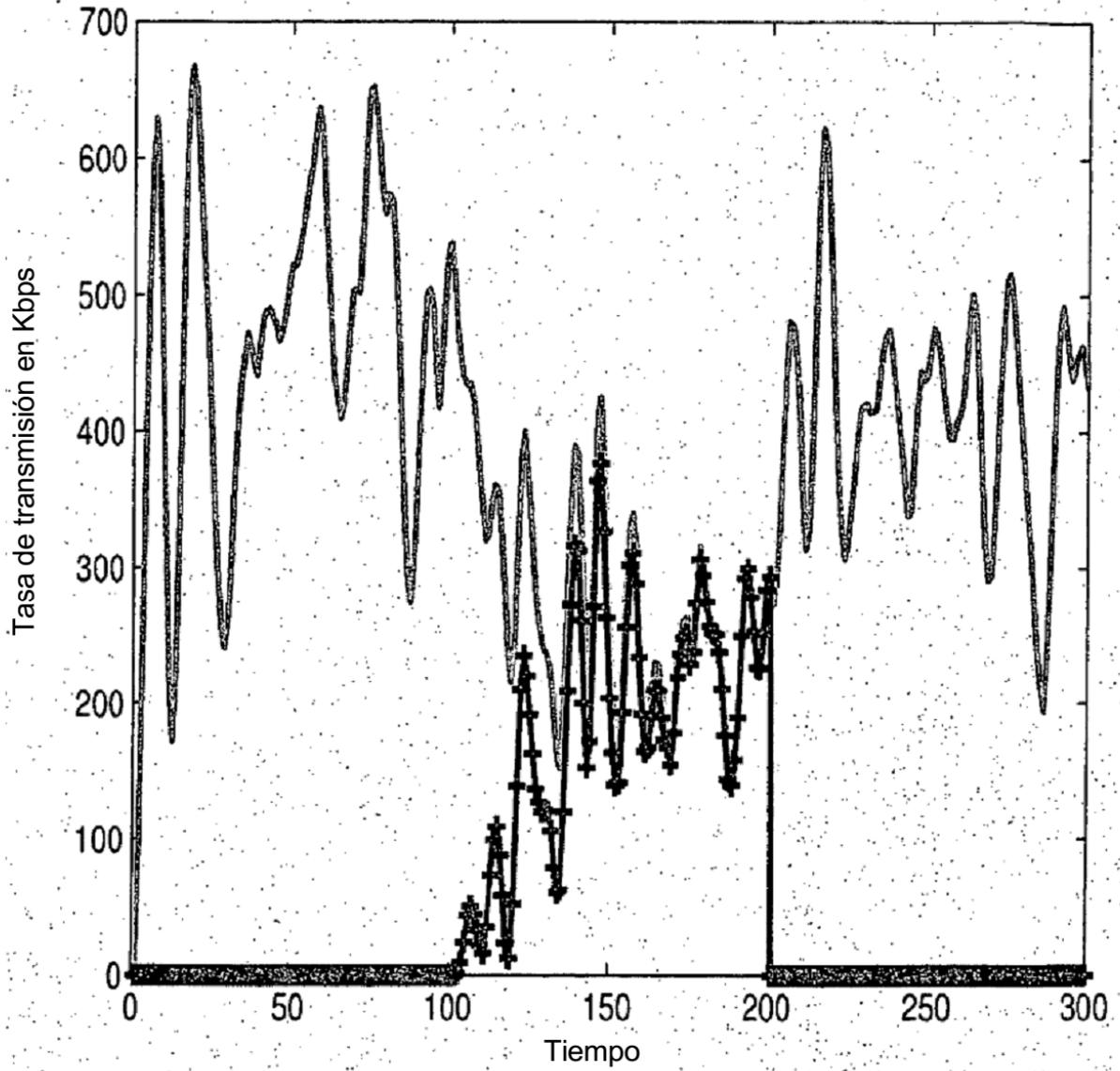


Fig. 13

Tasa flujo agregada versus Capacidad bajo Control H-infinito

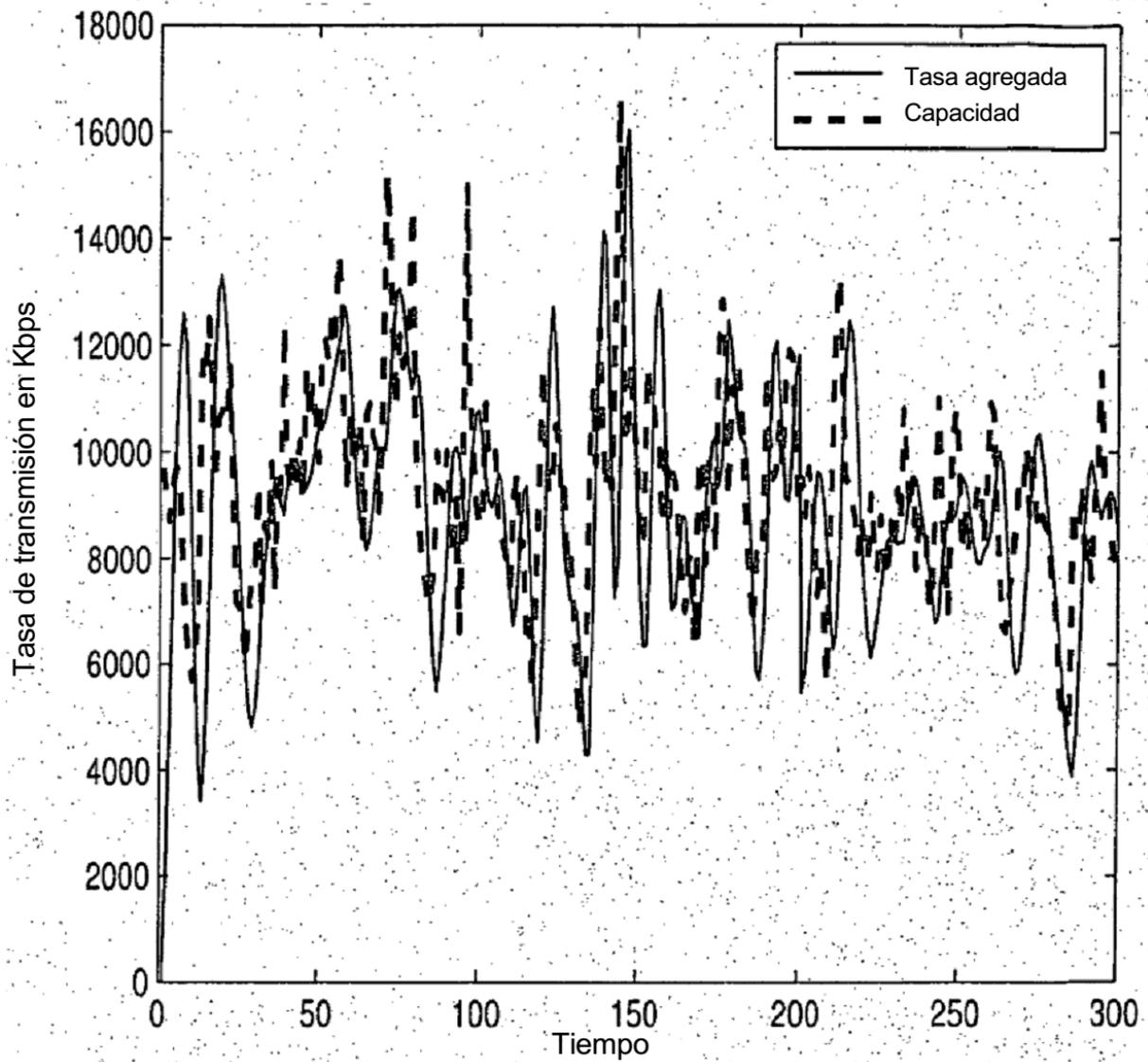


Fig. 14