

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 879 381**

51 Int. Cl.:

H04B 7/204 (2006.01)

H04B 7/185 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.06.2016 PCT/EP2016/063358**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.12.2017 WO17211430**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.06.2016 E 16728321 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.04.2021 EP 3469737**

54 Título: **Técnicas flexibles resistentes a interferencias para asignación de recursos de carga útil en satélites de banda ancha**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.11.2021

73 Titular/es:

**EUROPEAN SPACE AGENCY (100.0%)
8-10 rue Mario Nikis
75738 Paris Cedex 15, FR**

72 Inventor/es:

**GINESI, ALBERTO;
ARAPOGLOU, PANTELIS-DANIEL y
RE, EMILIANO**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 879 381 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

Técnicas flexibles resistentes a interferencias para asignación de recursos de carga útil en satélites de banda ancha

5 Campo técnico

Esta solicitud se refiere a métodos y aparatos para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces emitidos por un satélite, como por ejemplo un satélite de banda ancha. La solicitud se refiere particularmente a tales métodos y aparatos que permiten reducir la discrepancia entre una capacidad disponible para transmisión de datos y una demanda de capacidad para transmisión de datos en los haces del grupo de haces.

10

Antecedentes

La capacidad de asignar de manera flexible recursos de carga útil de satélites en el área de cobertura del servicio es cada vez más importante para los satélites de banda ancha de próxima generación que emplean varios haces puntuales. De hecho, los sistemas de banda ancha anteriores y actuales han demostrado que los grandes satélites de alto rendimiento (HTS) de haces múltiples suelen llenar la capacidad de algunos haces muy rápidamente, mientras que otros haces permanecen (casi) vacíos durante una parte relativamente larga del tiempo de vida del satélite. La consecuencia en general es una utilización ineficiente de los recursos del satélite y, en particular, puede ser una pérdida de los ingresos del operador del satélite debido al número de clientes perdidos dentro de los puntos calientes (correspondientes a los haces llenos) y el derroche de recursos sobre los puntos (casi) vacíos.

20

El rendimiento de un sistema HTS de banda ancha (así como el rendimiento por haz) puede caracterizarse por la demanda de capacidad (capacidad solicitada), la capacidad ofrecida (capacidad disponible), la capacidad utilizable, la capacidad no utilizada y la demanda de capacidad no satisfecha. La demanda de capacidad es la capacidad que solicitan los usuarios en el área de cobertura del sistema HTS de banda ancha (o el haz en cuestión). La demanda de capacidad es típicamente geográficamente no uniforme y variable en el tiempo. La capacidad del sistema ofrecida representa la capacidad máxima del sistema (o del haz en cuestión), considerando una demanda de capacidad infinita por ubicación. La capacidad utilizable del sistema es la capacidad que realmente se vende teniendo en cuenta la demanda de capacidad real por ubicación. La capacidad del sistema no utilizada es la diferencia entre la capacidad ofrecida y la capacidad utilizable. Por último, la demanda de capacidad no satisfecha es la diferencia entre la demanda de capacidad y la capacidad ofrecida.

25

30

Estas definiciones se explican esquemáticamente en la figura 1, que ilustra un ejemplo de un sistema hipotético con tres haces. Para el primer haz (haz 1), la capacidad ofrecida (capacidad disponible) 110 excede la capacidad utilizable 112 en una cantidad 114 de capacidad no utilizada. De manera similar, para el segundo haz (haz 2), la capacidad ofrecida (capacidad disponible) 120 excede la capacidad utilizable 122 en una cantidad 124 de capacidad no utilizada. Por otra parte, para el tercer haz (haz 3), la demanda de capacidad 130 excede la capacidad disponible 132 en una cantidad 143 de capacidad no satisfecha.

35

40

El objetivo principal de la flexibilidad es minimizar la capacidad no utilizada y la capacidad no satisfecha. La introducción de la flexibilidad ayuda a un operador de satélites a gestionar los riesgos derivados de los cambios imprevistos, como el contexto regulatorio, el contexto competitivo, el contexto socioeconómico. La flexibilidad se refiere a la capacidad de cambiar la configuración del sistema durante la vida operativa del satélite. El resto de este documento se referirá a la flexibilidad en el enlace directo de sistemas de satélite, como por ejemplo los sistemas HTS. El enlace directo consiste en el enlace ascendente entre una estación terrestre de pasarela y el satélite, y el enlace descendente entre el satélite y los terminales de usuario. Normalmente, el rendimiento del enlace directo es el aspecto más importante para determinar los ingresos del operador de satélite.

45

50

Recientemente se han emprendido varias iniciativas para soportar la flexibilidad a nivel de equipo de carga útil. El satélite Hylas y el programa Quantum más reciente, así como el satélite VIASAT-2, son solo algunos ejemplos. Sin embargo, estas iniciativas no logran reducir la brecha entre la capacidad solicitada y la ofrecida por debajo de un nivel determinado.

55

Por tanto, existe la necesidad de métodos y aparatos mejorados para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces emitidos por un satélite. Existe además una necesidad de tales métodos y aparatos que permitan reducir una discrepancia entre una capacidad disponible y una demanda de capacidad para los haces del grupo de haces, es decir, reducir la capacidad no satisfecha y no utilizada. Además, existe la necesidad de tales métodos y aparatos que no afecten adversamente a la calidad de la señal a nivel de usuario.

60

65

El documento de patente US 6 055 431 A describe un método adaptativo que controla el funcionamiento de sistemas de antenas de haz múltiple utilizados en transpondedores de satélites de comunicaciones. En particular, el método dado a conocer controla de forma adaptativa las asignaciones de área de cobertura, asignaciones de frecuencia, asignaciones de nivel de potencia transmitida y asignaciones de asignación de componentes de estos transpondedores de antena de haz múltiple en respuesta a las demandas existentes y variables en el tiempo de recursos de satélite. El método también controla y gestiona de forma adaptativa el funcionamiento de los transpondedores de satélite para optimizar la capacidad global del satélite de comunicaciones.

Compendio

En vista de parte o la totalidad de estas necesidades, el presente documento propone un método para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces (haces de transmisión) emitidos por un satélite y un aparato para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces emitidos por un satélite, que tienen las características de las respectivas reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes se refieren a realizaciones preferidas.

La descripción se refiere a un método para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces (grupo de haces) emitidos por un satélite. Los haces pueden ser haces puntuales. Cada haz tiene un área de cobertura asociada. El método incluye ajustar una asignación de un recurso de canal (recurso de carga útil) redistribuyendo partes del recurso de canal entre los haces en el grupo de haces de acuerdo con las respectivas demandas de capacidad para las áreas de cobertura de los haces en el grupo. Las demandas de capacidad pueden ser demandas de capacidad para transmisión de datos, es decir, solicitud de tráfico combinado para terminales de usuario en el área de cobertura respectiva. Además, las demandas de capacidad pueden cambiar con el tiempo (es decir, pueden variar en el tiempo) y pueden ser diferentes de las demandas de capacidad reales/proyectadas en el momento del despliegue del satélite. Las demandas de capacidad pueden ser geográficamente no uniformes. Ajustar el recurso de canal se puede dinámicamente y, en particular, se puede realizar después del despliegue del satélite. El método incluye además obtener (por ejemplo, recibir o calcular), para cada una de las áreas de cobertura, una indicación de la calidad de la señal desde un terminal en el área de cobertura respectiva para la asignación ajustada del recurso de canal. Las indicaciones de la calidad de la señal pueden ser indicativas de un grado de interferencia (diafonía) entre señales de haces de áreas de cobertura adyacentes, por ejemplo, puede ser información del estado del canal. El método incluye además aplicar una técnica de mitigación de interferencia cocanal al grupo de haces de acuerdo con las indicaciones obtenidas (por ejemplo, recibidas o calculadas) de la calidad de la señal. La aplicación de la técnica de mitigación de interferencia cocanal se puede realizar en una pasarela (concentrador) que transmite señales al satélite. En general, la técnica de mitigación de interferencia cocanal puede ser una técnica para mitigar la interferencia cocanal entre las señales transmitidas en los haces. La técnica de mitigación de interferencia cocanal puede ser una técnica centralizada, como por ejemplo la precodificación, o una técnica descentralizada, como por ejemplo la detección de usuarios múltiples (MUD). Por consiguiente, la aplicación de la técnica de mitigación de interferencia cocanal puede implicar realizar precodificación en el grupo de haces de acuerdo con las indicaciones obtenidas (por ejemplo, recibidas) de la calidad de la señal, o realizar una técnica MUD de acuerdo con estimaciones de la calidad de la señal, por ejemplo obtenidas (por ejemplo, calculadas) en los terminales. La precodificación puede estar relacionada con, o implicar la aplicación de procesamiento de señales en el lado del transmisor (por ejemplo, en la pasarela) para mitigar la generación de interferencia a través de los haces. Por ejemplo, la precodificación puede implicar la aplicación de una combinación lineal respectiva de señales que se transmitirán a cada uno de los haces (por ejemplo, a los correspondientes alimentadores de haces). Por tanto, las señales a transmitir pueden ponderarse mediante un conjunto de coeficientes (coeficientes de ponderación) que forman una matriz de precodificación.

Configurado así, el método propuesto da a conocer un algoritmo de asignación de recursos de satélite de banda ancha que permite asignar de manera flexible una capacidad de enlace directo que se adecúa estrechamente a la capacidad de haz solicitada, a los diferentes haces dentro de la cobertura. Esto se consigue sin deteriorar la calidad de la señal en el lado del terminal de usuario. En particular, ajustar la asignación del recurso de canal (recurso de carga útil) a los haces en el grupo de haces servido por la pasarela permite adecuar estrechamente la capacidad ofrecida en cada haz a la demanda de capacidad en el haz respectivo. Por otra parte, la mitigación de interferencia cocanal que se aplica a los haces en el grupo de haces elimina (o reduce significativamente) la interferencia cocanal dentro del sistema entre los haces en el grupo de haces. Por tanto, el método propuesto consigue los efectos antes mencionados combinando ventajosamente la asignación flexible y dinámica del recurso de canal y la mitigación de interferencia cocanal. Las soluciones conocidas muestran una brecha significativamente mayor entre la capacidad solicitada y la ofrecida.

En los ejemplos, el ajuste de la asignación del recurso de canal se puede realizar de modo que después de redistribuir las partes del recurso de canal, al menos una parte del recurso de canal se asigne a más de un haz en el grupo de haces.

En virtud de la mitigación de interferencia cocanal, como la precodificación, por ejemplo, se pueden asignar partes del recurso de canal a múltiples haces (por ejemplo, los haces en el grupo de haces pueden iluminarse simultáneamente o pueden transmitirse en la misma subbanda de frecuencia). Por lo tanto, los recursos del satélite se pueden utilizar de manera más eficiente y se puede reducir significativamente un desajuste entre la capacidad ofrecida (capacidad disponible) para la transmisión de datos en cada haz y la demanda de capacidad. Por consiguiente, la capacidad no utilizada o no satisfecha de cada haz se puede reducir significativamente.

El recurso de canal se subdivide en una pluralidad de unidades de tamaño idéntico.

En los ejemplos, el recurso de canal puede ser una trama de tiempo que incluye una pluralidad de intervalos de tiempo y se repite periódicamente en el tiempo. Dicho de otra manera, el recurso de canal puede ser un recurso de tiempo y las unidades idénticas pueden ser intervalos de tiempo. Ajustar la asignación del recurso de canal puede

implicar asignar un número respectivo de intervalos de tiempo por trama de tiempo a cada uno de los haces en el grupo de haces. En este caso, se puede decir que ajustar la asignación del recurso de canal corresponde a saltos de haces, es decir, a un esquema de asignación flexible de tiempo.

5 En los ejemplos, el recurso de canal puede ser una banda de frecuencia que incluye una pluralidad de subbandas de frecuencia. Dicho de otra manera, el recurso de canal puede ser un recurso de frecuencia y las unidades idénticas pueden ser subbandas de frecuencia. Ajustar la asignación del recurso de canal puede implicar asignar un número respectivo de subbandas de frecuencia de la banda de frecuencia a cada uno de los haces del grupo de haces. En este caso, se puede decir que ajustar la asignación del recurso de canal corresponde a la reutilización de frecuencia (irregular), es decir, a un esquema de asignación flexible de ancho de banda.

En los ejemplos, se puede ajustar tanto la asignación del recurso de tiempo como el recurso de frecuencia a los haces en el grupo de haces.

15 En los ejemplos, la mitigación de la interferencia cocanal (por ejemplo, precodificación o MUD) se puede realizar a través de pares o tripletes de haces en el grupo de haces. Se entiende que un triplete de haces representa un grupo de tres haces. Por lo tanto, la carga computacional requerida para realizar mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, precodificación o MUD) se puede reducir, aprovechando el hecho de que los haces fuera del grupo de haces causan mucha menos interferencia (gracias a una mayor distancia geográfica o debido a el uso de polarización ortogonal).

En ejemplos, el método puede incluir además la aplicación de la técnica de mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, realizar precodificación o MUD) en el grupo de haces de acuerdo con un esquema de mitigación de interferencia cocanal almacenado previamente (por ejemplo, un esquema de precodificación o esquema MUD) hasta que se hayan obtenido (por ejemplo, recibido o calculado) las indicaciones de la calidad de la señal. Por lo tanto, el método propuesto puede mitigar el impacto de la interferencia cocanal dentro del sistema casi instantáneamente después del ajuste de la asignación del recurso de canal.

30 En los ejemplos, el método puede incluir además determinar si ha cambiado una demanda de capacidad para al menos una de las áreas de cobertura. Esta determinación se puede realizar periódicamente, por ejemplo una vez cada pocas horas. El cambio de demanda de capacidad puede definirse con respecto a un conjunto de demandas de capacidad para las que se había realizado el ajuste anterior. El método puede incluir además, si se determina que la demanda de capacidad para la al menos una de las áreas de cobertura ha cambiado, ajustar la asignación del recurso de canal. Esto permite reaccionar de manera flexible a demandas de capacidad cambiantes en una o más haces en el grupo de haces, reduciendo así el tiempo promedio de capacidad no satisfecha y capacidad no utilizada. En virtud de la mitigación de la interferencia cocanal, esta reacción flexible a situaciones de demanda de capacidad cambiante no tiene como resultado un deterioro de la calidad de la señal a nivel de usuario. El método incluye además, para cada haz del grupo de haces, determinar, como un primer número, un número de unidades del recurso de canal para su asignación a cada uno de los haces del grupo de haces en función de la demanda de capacidad para el área de cobertura de cada uno de los haces del grupo de haces.

El número de unidades puede ser proporcional a la respectiva demanda de capacidad. Como se indicó anteriormente, al menos una unidad puede asignarse a más de un haz.

45 El satélite incluye uno o más grupos adicionales de haces. Los uno o más grupos adicionales de haces son servidos por pasarelas que son diferentes de la pasarela que sirve al grupo de haces. El método incluye además, para cada haz en el grupo de haces, determinar, como un segundo número, un número de haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura de cada uno de los haces en el grupo de haces. El ajuste de la asignación del recurso de canal se lleva a cabo por haces en orden descendente de los segundos números asociados de los haces, comenzando con el haz que tiene el segundo número más alto. Cada haz se asigna completamente con el primer respectivo número de unidades del recurso de canal hasta que se procesa el siguiente haz. El ajuste de la asignación del recurso de canal implica, para cada uno de los haces del grupo de haces, asignar primero aquellas unidades del recurso de canal a cada uno de los haces del grupo de haces que aún no están asignados a ninguno de los haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura de cada uno de los haces en el grupo de haces.

60 El ajuste de la asignación del recurso de canal puede implicar además, si no existe tal unidad del recurso de canal, asignar una unidad del recurso de canal al haz respectivo que ya está asignado a cualquiera de los haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura del respectivo haz.

65 Configurado así, el método propuesto puede minimizar la interferencia cocanal entre haces para los que no se puede aplicar la técnica de mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, precodificación o MUD), en particular a haces en diferentes grupos de haces servidos por diferentes pasarelas que pueden desconocerse mutuamente.

En ejemplos, el método puede incluir además, para cada haz del grupo de haces, determinar una diferencia entre la demanda de capacidad y la capacidad disponible proporcionada por cada uno de los haces del grupo de haces.

El método puede incluir además determinar un cambio en la potencia de transmisión para cada uno de los haces en el grupo de haces con el fin de reducir dicha diferencia. El cambio (cantidad de cambio) en la potencia de transmisión puede corresponder a un incremento o disminución en la potencia de transmisión. Por ejemplo, el cambio en la potencia de transmisión se puede determinar siguiendo el límite de Shannon, por ejemplo según el límite de Shannon. En este caso, la potencia total (potencia total) de las potencias de transmisión de todos los haces del grupo de haces (o al menos de los respectivos subgrupos de haces del grupo de haces) puede mantenerse constante. Esto puede implicar normalizar los cambios determinados en la potencia de transmisión sobre la base de un cambio total en la potencia de transmisión calculado a partir de los cambios individuales determinados en la potencia de transmisión. El método puede incluir además ajustar la potencia de transmisión de cada uno de los haces en el grupo de haces sobre la base del cambio determinado en la potencia de transmisión.

En virtud de la técnica de mitigación de interferencia cocanal que se aplica mediante el método propuesto, un aumento/disminución de la potencia de transmisión para un haz dado puede traducirse en una mejora/disminución real del rendimiento. Por lo tanto, cualquier discrepancia restante entre la capacidad ofrecida (capacidad disponible) y la demanda de capacidad que persista después de ajustar la asignación del recurso de canal puede reducirse aún más.

En ejemplos, el método puede incluir además ajustar un patrón de polarización para aquellos haces en el grupo de haces o los uno o más grupos adicionales de haces, cuya área de cobertura es adyacente a un área de cobertura que pertenece a un haz en uno diferente del grupo de haces o los uno o más grupos adicionales de haces. El ajuste del patrón de polarización puede realizarse de manera que se maximicen las distancias entre áreas de cobertura de haces con la misma polarización en diferentes haces del grupo de haces y en los uno o más grupos adicionales de haces. Maximizar las distancias puede implicar maximizar una distancia media o cualquier otra función (coste) de las distancias. Por lo tanto, la interferencia cocanal entre haces en diferentes grupos de haces que son servidos por diferentes pasarelas se puede reducir aún más, aunque la técnica de mitigación de interferencia cocanal no se pueda aplicar a esos haces.

La descripción se refiere a un aparato dispuesto en, o implementado por una estación terrestre para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces (grupo de haces) emitidos por un satélite. Los haces pueden ser haces puntuales. Cada haz tiene un área de cobertura asociada. El aparato incluye un controlador adaptado para ajustar una asignación de un recurso de canal (recurso de carga útil) redistribuyendo partes del recurso de canal entre los haces en el grupo de haces de acuerdo con respectivas demandas de capacidad para las áreas de cobertura de los haces en el grupo. Las demandas de capacidad pueden ser demandas de capacidad para transmisión de datos, es decir, solicitud de tráfico o solicitud de tráfico combinado para terminales de usuario en el área de cobertura respectiva. Además, las demandas de capacidad pueden cambiar con el tiempo (es decir, pueden variar en el tiempo) y pueden ser diferentes de las demandas de capacidad reales/proyectadas en el momento del despliegue del satélite. Las demandas de capacidad pueden ser geográficamente no uniformes. Ajustar el recurso de canal se puede realizar dinámicamente y, en particular, se puede realizar después del despliegue del satélite. El aparato incluye además un receptor adaptado para recibir, para cada una de las áreas de cobertura, una indicación de la calidad de la señal desde un terminal en el área de cobertura respectiva para la asignación ajustada del recurso de canal. Las indicaciones de la calidad de la señal pueden ser indicativas de un grado de interferencia (diafonía) entre señales de haces de áreas de cobertura adyacentes, por ejemplo, puede ser información del estado del canal. El controlador está adaptado además para aplicar una técnica de mitigación de interferencia cocanal al grupo de haces de acuerdo con las indicaciones de la calidad de la señal recibida por el receptor. La aplicación de la técnica de mitigación de interferencia cocanal se puede realizar en una pasarela (concentrador) que transmite señales al satélite. En general, la técnica de mitigación de interferencia cocanal puede ser una técnica para mitigar la interferencia cocanal entre las señales transmitidas en los haces. La técnica de mitigación de interferencia cocanal puede ser una técnica centralizada, como por ejemplo precodificación, o una técnica descentralizada, como por ejemplo detección de usuarios múltiples (MUD). Por consiguiente, el controlador puede adaptarse además para realizar precodificación a través del grupo de haces de acuerdo con las indicaciones recibidas de la calidad de la señal, o para iniciar la realización de una técnica MUD de acuerdo con las indicaciones recibidas de la calidad de la señal. La precodificación puede relacionarse o implicar la aplicación de procesamiento de señales en el lado del transmisor (por ejemplo, en la pasarela) para mitigar la generación de interferencia a través de los haces. Por ejemplo, la precodificación puede implicar la aplicación de una combinación lineal respectiva de señales que se transmitirán a cada uno de los haces (por ejemplo, a los correspondientes alimentadores de haces). Por tanto, las señales a transmitir pueden ponderarse mediante un conjunto de coeficientes (coeficientes de ponderación) que forman una matriz de precodificación.

En ejemplos, el controlador puede adaptarse para ajustar la asignación del recurso de canal de tal manera que después de redistribuir las partes del recurso de canal, al menos una parte del recurso de canal se asigne a más de un haz en el grupo de haces. Es decir, el controlador puede adaptarse para asignar al menos una parte del recurso de canal a más de un haz en el grupo de haces.

El recurso de canal se subdivide en una pluralidad de unidades de tamaño idéntico.

5 En los ejemplos, el recurso de canal puede ser una trama de tiempo que incluye una pluralidad de intervalos de tiempo y se repite periódicamente en el tiempo. Dicho de otra manera, el recurso de canal puede ser un recurso de tiempo y las unidades idénticas pueden ser intervalos de tiempo. Ajustar la asignación del recurso de canal puede implicar asignar un número respectivo de intervalos de tiempo por trama de tiempo a cada uno de los haces en el grupo de haces. En este caso, se puede decir que ajustar la asignación del recurso de canal corresponde al saltos de haces, es decir, a un esquema de asignación flexible de tiempo.

10 En los ejemplos, el recurso de canal puede ser una banda de frecuencia que incluye una pluralidad de subbandas de frecuencia. Dicho de otra manera, el recurso de canal puede ser un recurso de frecuencia y las unidades idénticas pueden ser subbandas de frecuencia. Ajustar la asignación del recurso de canal puede implicar la asignación de un número respectivo de subbandas de frecuencia de la banda de frecuencia a cada uno de los haces del grupo de haces. En este caso, se puede decir que ajustar la asignación del recurso de canal corresponde a la reutilización de frecuencia (irregular), es decir, a un esquema de asignación flexible de ancho de banda.

En los ejemplos, se puede ajustar tanto la asignación del recurso de tiempo como el recurso de frecuencia a los haces en el grupo de haces.

20 En los ejemplos, el controlador puede estar adaptado para realizar la mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, precodificación o MUD) a través de pares o tripletes de haces en el grupo de haces. Se entiende que un triplete de haces representa un grupo de tres haces. En las realizaciones, el controlador puede adaptarse para aplicar la técnica de mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, realizar precodificación o MUD) a través del grupo de haces de acuerdo con un esquema de mitigación de interferencia cocanal almacenado previamente (por ejemplo, un esquema de precodificación o esquema MUD) hasta que se hayan obtenido (por ejemplo, recibido o calculado) las indicaciones de la calidad de la señal.

30 En los ejemplos, el controlador puede adaptarse adicionalmente para determinar si ha cambiado una demanda de capacidad para al menos una de las áreas de cobertura. El controlador puede estar adaptado para realizar esta determinación periódicamente, por ejemplo una vez cada pocas horas. El cambio de demanda de capacidad puede definirse con respecto a un conjunto de demandas de capacidad para las que se había realizado el ajuste anterior. El controlador puede adaptarse además para, si se determina que la demanda de capacidad para la al menos una de las áreas de cobertura ha cambiado, ajustar la asignación del recurso de canal.

35 El controlador está además adaptado para, para cada haz del grupo de haces, determinar, como un primer número, un número de unidades del recurso de canal para asignación a cada uno de los haces del grupo de haces en función de la demanda de capacidad para el área de cobertura de cada uno de los haces del grupo de haces. El número de unidades puede ser proporcional a la respectiva demanda de capacidad. Como se indicó anteriormente, al menos una unidad puede asignarse a más de un haz.

40 El satélite comprende uno o más grupos adicionales de haces servidos por pasarelas que son diferentes de una pasarela que sirve al grupo de haces. El controlador está además adaptado para, para cada haz en el grupo de haces, determinar, como un segundo número, un número de haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura de cada uno de los haces del grupo de haces. El controlador está adaptado además para ajustar la asignación del recurso de canal por haces, en orden descendente de los segundos números asociados de los haces, comenzando con el haz que tiene el segundo número más alto. El controlador está adaptado para asignar completamente cada haz con el primer respectivo número de unidades del recurso de canal hasta que se procese el siguiente haz. El controlador está además adaptado para, para cada uno de los haces en el grupo de haces, primero asignar aquellas unidades del recurso de canal a cada uno de los haces en el grupo de haces que aún no están asignados a ninguno de los haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura de cada uno de los haces en el grupo de haces. El controlador puede estar adaptado para asignar, si no existe tal unidad del recurso de canal, una unidad del recurso de canal al haz respectivo que ya está asignada a cualquiera de los haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura del respectivo haz.

60 En los ejemplos, el controlador puede adaptarse además para, para cada haz del grupo de haces, determinar una diferencia entre la demanda de capacidad y la capacidad disponible proporcionada por cada uno de los haces del grupo de haces. El controlador puede adaptarse además para determinar un cambio en la potencia de transmisión para cada uno de los haces en el grupo de haces con el fin de reducir dicha diferencia. El cambio (cantidad de cambio) en la potencia de transmisión puede corresponder a un incremento o disminución en la potencia de transmisión. Por ejemplo, el controlador puede adaptarse para determinar el cambio en la potencia de transmisión para cumplir con el límite de Shannon. En este caso, la potencia total (potencia total) de las potencias de transmisión de todos los haces del grupo de haces (o al menos de los respectivos subgrupos de haces del grupo de haces) puede mantenerse constante. Con este fin, el controlador puede adaptarse para normalizar los cambios determinados en la potencia de transmisión sobre la base de un cambio total en la potencia de transmisión calculado

a partir de los cambios individuales determinados en la potencia de transmisión. El controlador puede adaptarse además para ajustar la potencia de transmisión de cada uno de los haces en el grupo de haces sobre la base del cambio determinado en la potencia de transmisión.

5 En particular, el aparato se puede utilizar para llevar a cabo cualquiera de los métodos descritos anteriormente, y los métodos se pueden aplicar a cualquiera de los aparatos descritos anteriormente, por ejemplo, como métodos de funcionamiento de estos aparatos.

10 Además, se apreciará que las etapas del método y las características del aparato pueden intercambiarse de muchas formas. En particular, los detalles del método dado a conocer pueden implementarse como un aparato adaptado para ejecutar algunas o todas las etapas del método, y viceversa, como apreciará el experto en la materia. En particular, se entiende que los métodos según la descripción se refieren a métodos de funcionamiento del aparato según los ejemplos anteriores y variaciones de los mismos, y que las afirmaciones respectivas realizadas con respecto al aparato aplican igualmente a los métodos correspondientes, y viceversa.

15 Breve descripción de los dibujos
Las realizaciones de la descripción se explican a continuación de manera ejemplar haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que

20 La figura 1 ilustra esquemáticamente un ejemplo de capacidades disponibles y demandas de capacidad para una serie de haces de transmisión emitidos por un satélite,
la figura 2 ilustra esquemáticamente un ejemplo para asignar un recurso de frecuencia a una serie de haces de transmisión emitidos por un satélite,
25 la figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra esquemáticamente un ejemplo de un método para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces de transmisión emitidos por un satélite según realizaciones de la descripción,
la figura 4 ilustra esquemáticamente un ejemplo de precodificación de acuerdo con las realizaciones de la descripción,
la figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra esquemáticamente un ejemplo de detalles de una etapa en el
30 diagrama de flujo de la figura 3 según los ejemplos de la descripción,
la figura 6 ilustra esquemáticamente un ejemplo de interferencia cocanal (diafonía) entre haces de transmisión en grupos de haces que son emitidos por un satélite y servidos por diferentes GW,
la figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra esquemáticamente otro ejemplo de detalles de una etapa en el diagrama de flujo de la figura 3 según realizaciones de la descripción,
35 la figura 8A y la figura 8B ilustran esquemáticamente un ejemplo de interferencia cocanal (diafonía) entre haces de transmisión en grupos de haces que son emitidos por un satélite y servidos por diferentes GW, con y sin ajuste de patrones de polarización según las realizaciones de la descripción,
la figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra esquemáticamente etapas adicionales del ejemplo de un método para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces de transmisión emitidos por un
40 satélite, según realizaciones de la descripción,
la figura 10 es un diagrama de bloques que ilustra esquemáticamente un ejemplo de una carga útil de enlace directo para implementar el método de controlar la transmisión de señales en un grupo de haces de transmisión emitidos por un satélite, según las realizaciones de la descripción, y
la figura 11, la figura 12, la figura 13, y la figura 14 ilustran un escenario simulado que implementa el método
45 de controlar la transmisión de señales en un grupo de haces de transmisión emitidos por un satélite según realizaciones de la descripción.

Descripción detallada

50 A continuación, se describirán realizaciones ejemplares de la descripción haciendo referencia a las figuras adjuntas. Los elementos idénticos en las figuras pueden estar indicados mediante números de referencia idénticos, y puede haberse omitido la descripción repetida de los mismos.

55 En términos generales, la presente descripción se refiere a un algoritmo de asignación de recursos de satélite (por ejemplo, satélite de banda ancha) que permite asignar de manera flexible una capacidad de enlace directo a los diferentes haces dentro de la cobertura, que se adecúa estrechamente a la capacidad de haz solicitada (demanda de capacidad). Este algoritmo de asignación de recursos se puede utilizar para que los satélites (por ejemplo, satélites de banda ancha) sigan mejor la distribución de la demanda de capacidad de cobertura a lo largo del tiempo.

60 Hay varias técnicas disponibles para soportar flexibilidad. Suponiendo que no haya flexibilidad en la cobertura (es decir, asumiendo áreas de cobertura fijas por haz), se pueden aplicar las siguientes técnicas: asignación flexible de potencia, asignación flexible de ancho de banda y asignación flexible de tiempo (saltos de haces). Estas técnicas se describirán a continuación.

65 La técnica de asignación flexible de ancho de banda y la técnica de asignación flexible de tiempo que se describirán a continuación se refieren a la asignación flexible de un recurso de canal (recurso de carga útil). Este recurso de canal puede subdividirse en una pluralidad de unidades, por ejemplo unidades de idéntico tamaño. El recurso de

canal puede ser un recurso de tiempo (por ejemplo, una trama de tiempo) o un recurso de frecuencia (por ejemplo, una banda de frecuencia). En este caso, se puede decir que los casos en los que el recurso de canal es el recurso de tiempo o el recurso de frecuencia son duales entre sí. La trama de tiempo puede incluir una pluralidad de intervalos de tiempo y repetirse periódicamente en el tiempo. Los intervalos de tiempo pueden corresponder a las unidades antes mencionadas. De manera correspondiente, la banda de frecuencia puede incluir una pluralidad de subbandas de frecuencia. Además, las subbandas de frecuencia pueden corresponder a las unidades mencionadas anteriormente. La asignación flexible del recurso de canal para el caso de que el recurso de canal sea el recurso de tiempo corresponde a la asignación flexible de tiempo (saltos de haces), mientras que la asignación flexible del recurso de canal para el caso de que el recurso de canal sea el recurso de frecuencia corresponde a la asignación flexible de frecuencia (reutilización de frecuencia irregular).

Asignación flexible de potencia

Para adaptarse mejor a la demanda de capacidad en cada haz, un enfoque posible es distribuir la cantidad total de potencia de carga útil de manera desigual entre los diferentes haces. Se asignaría menor potencia a los haces con menor demanda de capacidad, mientras que se otorgaría mayor potencia a los haces correspondientes a puntos calientes. Esta técnica se puede implementar mediante la tecnología FlexTWTA donde la potencia saturada de un amplificador de tubo de onda progresiva (TWTA) se ajusta de acuerdo con la demanda de capacidad de los haces servidos por las portadoras amplificadas. En el caso de un amplificador de alta potencia (HPA) que sirve a dos haces (que es una configuración típica), esta técnica se puede aplicar si los dos haces tienen una demanda de capacidad similar. Alternativamente, si los dos haces tienen una demanda de capacidad diferente, la transferencia de potencia de un haz al otro puede realizarse suprimiendo parte o todas las portadoras que sirven al haz de baja demanda. Otro posible enfoque para realizar una asignación flexible de potencia, en lugar de FlexTWTA, utiliza amplificadores multipuerto (MPA).

Los inconvenientes de la asignación flexible de potencia son que cualquier variación de potencia tiene intrínsecamente un impacto limitado en la capacidad de haz ofrecida debido tanto al comportamiento de retorno decreciente inherente de la función de Shannon (eficiencia espectral frente a potencia) como a la presencia de interferencia cocanal residual dentro del sistema. Otros inconvenientes están relacionados con el costo relativamente alto de los componentes FlexTWTA y MPA.

Asignación flexible de ancho de banda (reutilización de frecuencia irregular)

Esta técnica implica sintonizar la cantidad de banda (banda de frecuencia) que se asigna a un haz dado de acuerdo con la demanda de capacidad relativa. Básicamente, parte de la cantidad de ancho de banda que se asigna a los haces de baja demanda se transfiere a los haces de alta demanda. Esto se puede conseguir, por ejemplo, dividiendo de manera desigual el ancho de banda del usuario asignado a los dos haces servidos por el mismo TWTA (que es una configuración típica para una red de cuatro colores) y enrutando de manera flexible las dos partes de los anchos de banda a diferentes alimentaciones de antena. Aquí, el ancho de banda total asignable (banda de frecuencia) sirve como ejemplo del recurso de canal, como se indicó anteriormente. Se pueden transferir partes o unidades del recurso de canal (por ejemplo, subbandas de frecuencia) entre haces de baja demanda y haces de alta demanda.

El inconveniente de este enfoque es que, en general, se generará interferencia cocanal adicional dentro del sistema debido a la posible superposición de las bandas asignadas a dos haces copolares adyacentes. Esto se ilustra gráficamente en la figura 2. En el ejemplo de la figura 2, tres haces copolares de puntos calientes 210, 220, 230 están ubicados geográficamente próximos entre sí (es decir, sus áreas de cobertura están ubicadas geográficamente próximas entre sí). Aunque se pueden concebir algunas contramedidas para limitar parcialmente el impacto de la alta interferencia cocanal en parte del ancho de banda del usuario (por ejemplo, mediante una asignación cautelosa de usuarios a la parte de la banda altamente interferida), el resultado de esta interferencia adicional limita la eficacia de dicha técnica, especialmente cuando se consideran determinadas distribuciones de demanda de tráfico. En el ejemplo de la figura 2, un ancho de banda total 250 está disponible para transmisión. Una primera parte 212 del ancho de banda total 250 se asigna al primer haz 210, una segunda parte 222 del ancho de banda total 250 se asigna al segundo haz 220, y una tercera parte 232 del ancho de banda total 250 se asigna al tercer haz 230. En particular, la primera a la tercera partes 212, 222, 232 se superponen entre sí, es decir, incluyen uno o más rangos de frecuencia (mutuamente) comunes. El primer haz 210 sufre interferencia cocanal de uno o ambos de los otros haces en una primera parte de interferencia 216, el segundo haz 220 sufre interferencia cocanal de uno o ambos de los otros haces en una segunda parte de interferencia 226, y el tercer haz 230 sufre interferencia cocanal de uno o ambos de los otros haces en una tercera parte de interferencia 236, que es disjunta en el presente ejemplo. Por otra parte, en las partes 214, 224, 234 libres de interferencias primera a tercera, los haces 210, 220, 230 primero a tercero, respectivamente, no sufren interferencia cocanal.

Asignación flexible de tiempo (saltos de haces)

Esta técnica es exactamente dual con respecto a la técnica de asignación flexible de ancho de banda, es decir, se puede explicar reemplazando el tiempo por la frecuencia. De hecho, esta solución se puede implementar a través del llamado esquema de salto de haces, por el cual diferentes haces cocanal (por ejemplo, diferentes haces cocanal servidos por el mismo HPA) obtienen partes asignadas (por ejemplo, formadas por uno o más intervalos de tiempo de duración fija) de una trama de tiempo que se repite periódicamente. Aquí, la trama de tiempo sirve como ejemplo del recurso de canal, como se indicó anteriormente, y los intervalos de tiempo sirven como ejemplo de partes (o

5 unidades) del recurso de canal. Modulando la duración de las partes asignadas de la trama de tiempo (es decir, modulando el número de intervalos de tiempo o unidades que forman partes respectivas), se pueden alcanzar diferentes valores de capacidad ofrecida en diferentes haces. Para una distribución de demanda de capacidad desigual, los haces adyacentes podrían terminar siendo servidos por diferentes HPA con partes superpuestas de la trama de tiempo (es decir, partes que tienen intervalos de tiempo comunes), generando así una interferencia excesiva dentro del sistema.

10 En vista de los inconvenientes anteriores, la presente descripción propone una solución que mejora en gran medida la eficiencia del ancho de banda flexible y las técnicas de asignación flexible de tiempo al mitigar la interferencia cocanal que tales técnicas de asignación podrían terminar generando para ciertas distribuciones de demanda de tráfico. Si efectivamente se pudiera cancelar la interferencia generada adicional, entonces las dos técnicas de asignación mencionadas podrían adecuarse de manera más eficiente a cualquier distribución de demanda de capacidad en el área de cobertura, ya que la asignación adicional de banda o tiempo estaría esencialmente libre de interferencias. Los beneficios de las técnicas de asignación antes mencionadas para la capacidad ofrecida total no solo serían mayores en tal situación, sino que también serían mucho más predecibles.

15 En la práctica, la solución propuesta puede implementarse mediante una combinación novedosa de las técnicas de asignación mencionadas anteriormente con una técnica de mitigación de interferencia cocanal. Esta técnica de mitigación de interferencia cocanal puede ser una técnica centralizada, como por ejemplo precodificación, o una técnica descentralizada, como por ejemplo MUD. Por consiguiente, la técnica de mitigación de interferencia cocanal puede incluir, o corresponder a, precodificación, o puede incluir, o corresponder a, MUD. La técnica de mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, precodificación o MUD) puede realizarse en la pasarela (concentrador) o en el terminal de usuario (en el caso de MUD). A continuación, se ofrecerá una visión general de la técnica de precodificación.

25 Precodificación

Se proporciona una descripción de la precodificación en la solicitud de patente europea EP 14172961, "Joint transmitter signal processing in multi-beam satellite systems", publicada como EP 2 958 249 A1. Se hace referencia en particular a los párrafos [0042] a [0047] de la aplicación publicada, que describen la precodificación lineal, así como a los párrafos [0048] a [0089] de la aplicación publicada, que describen la precodificación de multidifusión.

30 En términos generales, la precodificación se utiliza para cancelar previamente la interferencia dentro del sistema cocanal aplicando, en la pasarela (en general, al nivel de las señales que se suministran al satélite para su transmisión), una combinación lineal de las señales transmitidas sobre los diferentes haces. En la práctica, las señales transmitidas se ponderan mediante coeficientes (coeficientes de ponderación) de una denominada matriz de precodificación que realiza, con una precisión determinada, una inversión de la matriz de canales. Los coeficientes de las combinaciones lineales se calculan basándose en retroalimentaciones (por ejemplo, estimaciones de canal) proporcionadas por los terminales de usuario.

35 Dicho de otra manera, la precodificación se puede aplicar cuando se transmiten datos de forma inalámbrica en cada uno de una pluralidad de haces a través de una pluralidad de alimentaciones de transmisión. Se recibe información de estado del canal (estimaciones de canal) de los terminales de usuario en cada uno de los haces, y se determina (se calcula) un conjunto de coeficientes de ponderación que relacionan la pluralidad de alimentaciones de transmisión con una pluralidad de señales que están destinadas a la transmisión en la pluralidad de haces, sobre la base de la información de estado del canal. A continuación, la pluralidad de señales se transmite a través de la pluralidad de alimentaciones de transmisión de acuerdo con respectivos coeficientes de ponderación entre el conjunto de coeficientes de ponderación. Es decir, para cada señal entre la pluralidad de señales y cada alimentación de transmisión entre la pluralidad de alimentación de transmisión, la señal respectiva se transmite a través de la alimentación de transmisión respectiva ponderada con un coeficiente de ponderación que relaciona la señal respectiva con la alimentación de transmisión respectiva. En otras palabras, el conjunto determinado de coeficientes de ponderación (es decir, una matriz de precodificación) se aplica a la pluralidad de señales.

40 De acuerdo con las realizaciones de la descripción, después de una reconfiguración de la asignación de recursos de canal a los haces, es decir, una reconfiguración de la asignación de ancho de banda (en el caso del esquema de asignación flexible de ancho de banda) o de la asignación de intervalo de tiempo (en el caso del esquema de asignación flexible de tiempo) -los terminales de usuario realizarán un nuevo procedimiento de estimación de canal (fase de entrenamiento). Esto es necesario ya que la matriz de precodificación puede formarse para cada conjunto específico de terminales de usuario servidos. Después de un período de tiempo relativamente corto (generalmente unos pocos ms), los terminales de usuario podrían notificar las nuevas estimaciones a la pasarela (a través del satélite), que a su vez aplicaría una precodificación para reducir la interferencia en situaciones como la descrita en la figura 2. Por lo tanto, solo por un tiempo muy corto después de la reconfiguración de los recursos de carga útil (es decir, recurso de canal), el sistema experimentará a una fase de entrenamiento, después de la cual el rendimiento solo se verá afectado mínimamente por la interferencia dentro del sistema. Esto significa que, durante la fase de entrenamiento, el esquema de modulación y codificación asignado a los terminales de usuario aún sujetos a dicha interferencia tendrá que ser muy conservador en términos de eficiencia espectral (sería necesario seleccionar la eficiencia espectral con umbrales SNIR por debajo de 0 dB), pero a continuación se adapta rápidamente a mayores

eficiencias espectrales, una vez que la mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, precodificación o MUD) está en su lugar. Dado que la tasa de reconfiguraciones del sistema es muy lenta (por lo general, el operador del satélite puede querer cambiar la asignación de recursos una vez cada pocas horas, por ejemplo), el impacto relativo del rendimiento degradado es bastante pequeño.

5 Un ejemplo de un método para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces de transmisión emitidos por un satélite según realizaciones de la descripción se ilustra esquemáticamente en el diagrama de flujo de la figura 3.

10 En general, el método es aplicable a la transmisión de señales en un grupo de haces servidos por la misma pasarela (grupo de haces) emitidos por el satélite. Los haces pueden ser haces puntuales. Cada haz puede tener un área de cobertura asociada en la que los terminales de usuario solicitan capacidad para la transmisión de datos (es decir, emiten solicitudes de tráfico). Para cada haz en el grupo de haces, una demanda de capacidad viene dada por el total de las capacidades solicitadas por los terminales de usuario en el área de cobertura respectiva. Las demandas de capacidad pueden diferir de un haz a otro (es decir, pueden ser geográficamente no uniformes) y pueden variar en el tiempo. En particular, las etapas S310 a S350 del método pueden realizarse durante el servicio activo del satélite, es decir, después del despliegue del satélite. Estas etapas se pueden realizar en una estación terrestre (por ejemplo, pasarela, concentrador) que controla la transmisión de señales por el satélite en el grupo de haces. Se puede decir que la pasarela sirve a los haces en el grupo de haces. El satélite puede comprender más grupos de haces para los que la transmisión de señales se realiza bajo el control de diferentes pasarelas, es decir, que son servidas por diferentes pasarelas.

20 En la etapa S310, se determina si ha cambiado una demanda de capacidad para al menos un haz en el grupo de haces (es decir, para al menos un área de cobertura). Esto puede implicar evaluar la demanda de capacidad actual para cada haz en el grupo de haces y comparar cada demanda de capacidad con su valor anterior (por ejemplo, un valor después de un ajuste previo del recurso de canal). Se puede estimar que la demanda de capacidad para un haz dado ha cambiado si la diferencia (o relación) entre el valor evaluado y su valor anterior excede un umbral predeterminado.

30 En la etapa S320, se evalúa un resultado de la determinación. Si se determina que la demanda de capacidad ha cambiado para al menos un haz en el grupo de haces (Sí en la etapa S320), el método pasa a la etapa S330. De lo contrario (No en la etapa S320), el método vuelve a la etapa S310.

35 En la etapa S330, se ajusta una asignación del recurso de canal (recurso de carga útil) a los haces en el grupo de haces. Esto puede implicar redistribuir partes (por ejemplo, unidades) del recurso de canal entre los haces en el grupo de haces de acuerdo con respectivas demandas de capacidad, como se evaluó en la etapa S310, por ejemplo. Si el recurso de canal es la trama de tiempo que incluye la pluralidad de intervalos de tiempo (como las partes o unidades), ajustar la asignación del recurso de canal implica asignar números respectivos de intervalos de tiempo por trama de tiempo a los haces en el grupo de haces. Si el recurso de canal es la banda de frecuencia que incluye la pluralidad de subbandas de frecuencia (como las partes o unidades), ajustar la asignación del recurso de canal implica asignar números respectivos de subbandas de frecuencia de la banda de frecuencia a los haces en el grupo de haces. En particular, la etapa S330 se puede realizar tanto con respecto al recurso de tiempo como con respecto al recurso de frecuencia, es decir, en las realizaciones, se pueden ajustar tanto la asignación del recurso de tiempo como la asignación del recurso de frecuencia.

45 Las partes del recurso de canal pueden redistribuirse entre los haces en el grupo de haces de tal manera que después del ajuste de la asignación del recurso de canal, al menos una parte del recurso de canal se asigne a más de un haz en el grupo de haces (es decir, se reutiliza). Si el recurso de canal es el recurso de tiempo, esto puede corresponder a que se asigne al menos un intervalo de tiempo a más de un haz en el grupo de haces. En otras palabras, esto puede corresponder a que se ilumine más de un haz en el al menos un intervalo de tiempo. Si el recurso de canal es el recurso de frecuencia, esto puede corresponder a que al menos una subbanda de frecuencia se asigne a más de un haz en el grupo de haces. En otras palabras, esto puede corresponder a más de un haz transmitiendo en la al menos una subbanda de frecuencia. Por tanto, redistribuir las partes del recurso de canal entre los haces en el grupo de haces puede tener como resultado interferencia cocanal (interferencia dentro del sistema, diafonía) al menos para la parte o partes reutilizadas del recurso de canal.

55 Después de ajustar la asignación del recurso de canal, en la etapa S340 se recibe una indicación de la calidad de la señal desde uno o más terminales en respectivas áreas de cobertura para cada haz en el grupo de haces (es decir, para cada área de cobertura). Estas indicaciones pueden ser indicaciones de un grado de interferencia (diafonía) entre señales que se transmiten en haces que tienen áreas de cobertura adyacentes (contiguas) (es decir, haces adyacentes). Por ejemplo, las indicaciones de la calidad de la señal pueden incluir, o corresponder a, información del estado del canal. Para cada área de cobertura, uno o más terminales de usuario pueden evaluar la interferencia a la señal destinada al área de cobertura respectiva de las señales destinadas a áreas de cobertura contiguas. Con este fin, los uno o más terminales de usuario pueden referirse a señales piloto respectivas que están incluidas en las señales transmitidas en los haces en el grupo de haces y que se repiten periódicamente. Para cada área de cobertura, los uno o más terminales de usuario pueden transmitir intensidades de señal relativas o absolutas de la señal destinada al área de cobertura respectiva y señales destinadas a áreas de cobertura contiguas a la pasarela, a

través del satélite, como respectivas indicaciones de la calidad de la señal. En cambio, para una técnica de mitigación de interferencia descentralizada (por ejemplo, MUD), la información se usa localmente en los terminales de usuario.

5 En la etapa S350, se aplica una técnica de mitigación de interferencia cocanal al grupo de haces (por ejemplo, a través de los haces en el grupo de haces). La técnica de interferencia cocanal puede aplicarse de acuerdo con (por ejemplo, dependiendo de) las indicaciones de la calidad de la señal recibidas en la etapa S340. En general, la técnica de mitigación de interferencia cocanal es una técnica para mitigar la interferencia cocanal entre las señales transmitidas en los haces en el grupo de haces. La técnica de mitigación de interferencia cocanal puede realizarse en la pasarela, por ejemplo, procesando previamente las señales que se envían a los respectivos haces en el grupo de haces.

15 Esta técnica de mitigación de interferencia cocanal puede ser una técnica centralizada, como por ejemplo precodificación, o una técnica descentralizada, como por ejemplo MUD.

20 En realizaciones de la descripción, la técnica de mitigación de interferencia cocanal puede implicar, o corresponder a, precodificación a través del grupo de haces (es decir, a través de los haces en el grupo de haces). De acuerdo con lo anterior, la precodificación a través del grupo de haces se puede realizar de acuerdo con las indicaciones de la calidad de la señal recibidas en la etapa S340.

25 En las realizaciones, las etapas S340 y S350 se pueden realizar de forma iterativa, es decir, el método puede incluir dos o más pasadas de la secuencia de las etapas S340 y S350.

30 Posteriormente, el método puede volver a la etapa S310. Es decir, el método se puede realizar de forma cíclica, por ejemplo periódicamente. Por ejemplo, el método de la figura 3 puede realizarse cada pocas horas, o diariamente, por ejemplo. Por consiguiente, se puede decir que la asignación del recurso de canal a los haces en el grupo de haces se realiza dinámicamente. Si el método se realiza de manera cíclica, puede comprobarse (alternativa o adicionalmente) en las etapas S310 y S320 si ha transcurrido un período de tiempo predeterminado desde el último ajuste del recurso de canal.

35 El esquema de mitigación de interferencia cocanal descrito puede reducirse en gran medida en términos de complejidad aplicando un esquema de reducción de complejidad que tenga en cuenta las características de las redes de cuatro colores subyacentes (en general, teniendo en cuenta los patrones de polarización del grupo de haces). Es decir, las características de las redes de cuatro colores subyacentes implican que para cualquier terminal de usuario dado, hay como máximo un cocanal fuerte (ya que otros haces que reutilizan partes comunes del recurso de canal tendrían una polarización ortogonal o no estarían cerca). Por ejemplo, de acuerdo con el esquema de reducción de la complejidad, la matriz de precodificación puede entonces reducirse a un número de submatrices de precodificación de 2x2, simplificando así enormemente el sistema. A lo sumo, para un diseño de antena particular (es decir, para una asignación particular de patrones de polarización a los haces), estas submatrices podrían convertirse en matrices de 3x3 debido a la posible contribución de dos haces adyacentes a la interferencia total experimentada en cualquier ubicación terminal dentro de un haz. En otras palabras, en las realizaciones, el método propuesto puede implicar la mitigación de la interferencia cocanal (por ejemplo, precodificación o MUD) en los respectivos pares de haces o en los respectivos tripletes (es decir, grupos de tres) de haces en la etapa S350.

45 El ejemplo de la figura 4 ilustra esquemáticamente la precodificación a través de respectivos pares de haces. El ejemplo asume una pluralidad de haces de los que solo se muestran los haces primero a cuarto 410-1, 410-2, 410-3, 410-4. La precodificación se realiza a través de un primer par de haces 410-1, 410-2 usando una primera matriz de precodificación de 2x2 420-1 y produciendo un primer haz precodificado 430-1, a través de un segundo par de haces 410-2, 410-3 usando una segunda matriz de precodificación 2x2 420-2 y produciendo un segundo haz precodificado 430-2, a través de un tercer par de haces 410-3, 410-4 usando una tercera matriz de precodificación 2x2 420-3 y produciendo un tercer haz precodificado 430-3, y así sucesivamente.

50 Para compensar parcialmente la penalización del rendimiento causada por la fase de entrenamiento inicial, la pasarela (en caso de precodificación) o el terminal de usuario (en caso de MUD) pueden aplicar en ese corto período de tiempo una matriz de precodificación almacenada (o un conjunto de submatrices de precodificación) que se ha calculado en condiciones de canal similares (es decir, un conjunto de haces servidos) durante el historial de funcionamiento del sistema o un esquema de MUD almacenado, respectivamente. En general, en las realizaciones, el método propuesto puede implicar la aplicación de mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, realizar precodificación o MUD) a través del grupo de haces de acuerdo con un esquema de mitigación de interferencia cocanal almacenado previamente (por ejemplo, esquema de precodificación o esquema MUD) hasta que se hayan establecido las indicaciones de la calidad de la señal.

65 En la siguiente descripción, se hará referencia a modo de ejemplo a la trama de tiempo como recurso de canal (recurso de carga útil). Sin embargo, se entiende que la siguiente descripción también aplica la banda de frecuencia como recurso de canal. Esto puede requerir reemplazar el término trama de tiempo por banda de frecuencia e intervalo de tiempo por subbanda de frecuencia en la siguiente descripción.

El algoritmo de asignación de recursos (plan de iluminación de tiempo) es bastante simple ya que el sistema mitigado por interferencias podría aproximarse como libre de interferencias. Por lo tanto, el número de intervalos de tiempo de iluminación (que incorporan a modo de ejemplo unidades del recurso de canal, las unidades tienen idéntico tamaño) que se asignarán a cada haz puede calcularse sobre la base de la solicitud de tráfico (demanda de capacidad) en ese haz. Más específicamente, el cálculo del número de intervalos de tiempo de iluminación para un haz en cuestión puede basarse en la solicitud de tráfico (demanda de capacidad) en ese haz, la eficiencia espectral alcanzable en ausencia de interferencia y las solicitudes de tráfico en otros haces alimentados por el mismo amplificador. Por ejemplo, el número de intervalos de tiempo de iluminación que se asignarán a cada haz puede calcularse mediante la solicitud de tráfico en ese haz dividida por la eficiencia espectral alcanzable en ausencia de interferencia, normalizada por la misma cantidad en los otros haces alimentados por el mismo amplificador (por ejemplo, TWTA).

Por ejemplo, el número (primer número) de intervalos de tiempo (unidades) τ_j a asignar al j -ésimo haz se puede determinar de acuerdo con

$$\tau_j = \frac{Tr_req_j/\eta_j}{\sum_{k \in HPA_i} Tr_req_k/\eta_k} W, \quad j \in HPA_i \quad [1]$$

donde Tr_req_j representa el tráfico solicitado para el j -ésimo haz, η_j representa la eficiencia espectral promedio para el j -ésimo haz, W representa el periodo de iluminación de salto de haces (número total de intervalos de tiempo por trama de tiempo), y HPA_i indica el amplificador que sirve al haz en cuestión.

Este esquema de asignación (que puede usarse como esquema para ajustar la asignación del recurso de canal en la etapa S330 en la figura 3) se ilustra esquemáticamente en el diagrama de flujo de la figura 5.

En la etapa S510, para cada haz en el grupo de haces, el número de unidades del recurso de canal para asignar al haz respectivo se determina como un primer número sobre la base de la demanda de capacidad para el haz respectivo (es decir, la demanda de capacidad para el área de cobertura del haz respectivo). El primer número puede ser el número de unidades del recurso de canal que tienen que asignarse al haz respectivo para satisfacer la demanda de capacidad para ese haz, o al menos reducir la diferencia entre la capacidad disponible y la demanda de capacidad al mínimo. Por tanto, el primer número puede ser proporcional a la demanda de capacidad para el haz respectivo. El primer número puede calcularse de acuerdo con la ecuación [1], por ejemplo.

En la etapa S530, se selecciona un haz entre los haces del grupo de haces. La selección puede realizarse de acuerdo con un esquema de selección. Alternativamente, la selección se puede realizar de forma aleatoria.

En la etapa S560, un número de unidades correspondiente al primer número respectivo para el haz seleccionado se asigna al haz seleccionado. La asignación puede realizarse de acuerdo con un esquema de asignación. Por ejemplo, esto puede implicar asignar en primer lugar aquellas unidades del recurso de canal que aún no se han asignado a otro de los haces en el grupo de haces. En particular, cada unidad dada del recurso de canal puede asignarse a más de un haz en el grupo de haces.

En la etapa S580, se comprueba si se han procesado todos los haces del grupo de haces. Si todavía no se ha procesado alguno de los haces del grupo de haces (No en la etapa S580), el método pasa a la etapa S590, en la que se selecciona el siguiente haz (aún sin procesar). Esta selección se puede realizar de acuerdo con el esquema de selección mencionado anteriormente, o alternativamente, de manera aleatoria. Posteriormente, el método vuelve a la etapa S560. Por otra parte, si ya se han procesado todos los haces del grupo de haces (Sí en la etapa S580), el método finaliza.

En particular, a menos que las etapas requieran ciertas etapas como requisitos previos, las etapas antes mencionados se pueden realizar en cualquier orden y se entiende que el orden ejemplar ilustrado en la figura 5 no es limitativo. Por ejemplo, el procesamiento de la etapa S510 puede realizarse después de que se haya seleccionado un haz en la etapa S530, en cuyo caso el primer número se determinaría solo para el haz seleccionado. Además, en este caso, el método determinaría el primer número para un haz dado seleccionado posteriormente después de que el haz dado haya sido seleccionado en la etapa S590.

Cuando se considera la situación en la que la red de satélites es servida por varias pasarelas, cada una de las cuales aborda el tráfico de un grupo de haces (grupo de haces), normalmente el grupo de haces está compuesto por un máximo de 8 a 16 haces. En este caso, la mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, precodificación o MUD) se puede aplicar fácilmente como por ejemplo una matriz de 16x16 en todo el grupo de haces. Sin embargo, es posible que la técnica de mitigación de interferencia cocanal no pueda resolver la interferencia cocanal entre dos haces pertenecientes a dos grupos de haces diferentes. Esta situación se ilustra esquemáticamente en el ejemplo de la figura 6 en el que dos grupos de haces 610, 620 de 16 haces 610-ij, 620-ij ($i = 1, \dots, 4, j = 1, \dots, 4$, el índice i indica la fila de un haz respectivo en su grupo respectivo en el dibujo, y el índice j indica la columna del haz

respectivo en su grupo respectivo) por pasarela. La red utiliza dos polarizaciones (indicadas por diferentes direcciones de sombreado) y aplica esquemas independientes de mitigación de interferencia cocanal por pasarela. Como muestra la figura, los haces respectivos de los haces 610-1-4, 610-2-4, 610-3-4, 610-4-4, 620-1-1, 620-2-1, 620-3-1, 620-4-1 (indicado por líneas verticales) en el borde de los dos grupos 610, 620 que comparten la misma polarización experimentarían una alta interferencia cocanal si no se toman precauciones especiales, asumiendo que estos haces se programan en los mismos intervalos de tiempo (o reutilizan las mismas subbandas de frecuencia). Para limitar los efectos de "borde de grupo" ilustrados a modo de ejemplo en la figura 6, se pueden tomar las siguientes contramedidas: asignación de recursos consciente de grupo de pasarela y/o elección adecuada de distribución de patrones de polarización a través de la red.

Asignación de recursos consciente del grupo de pasarela

De acuerdo con el algoritmo de asignación de recursos consciente del grupo de pasarelas, la asignación de partes del recurso de canal (subbandas de frecuencia o intervalos de tiempo) se realiza para minimizar la interferencia cocanal entre haces adyacentes que pertenecen a grupos de pasarelas adyacentes. El algoritmo para generar la tabla de iluminación puede basarse en heurística.

En términos generales, en una primera etapa, los números respectivos de unidades del recurso de canal (por ejemplo, intervalos de tiempo o subbandas de frecuencia) que se debería asignar a los haces en el grupo de haces se calculan como se describió anteriormente en el caso de una pasarela que sirve a toda la red. En este momento, la tabla de iluminación o la asignación de frecuencia está vacía.

En segundo lugar, los números respectivos calculados de unidades que deberían asignarse a los haces se asignan a aquellos haces en el grupo de haces que tienen haces contiguos en diferentes grupos de haces de acuerdo con el siguiente enfoque: (i) los haces en el grupo de haces se clasifican en orden descendente con respecto al número de sus haces contiguos que pertenecen a diferentes grupos de haces. (ii) A partir del primer haz de la tabla clasificada de haces, una unidad del recurso de canal (por ejemplo, intervalo de tiempo o subbanda de frecuencia) se califica como disponible (o no asignada) si se cumplen dos condiciones:

- (1) si el recurso de canal es el recurso de tiempo, es necesario que el intervalo de tiempo ya no se utilice en ningún otro haz servido por el mismo amplificador (por ejemplo, TWTA), y
- (2) ninguno de sus haces adyacentes en los otros grupos de haces debe usar la misma unidad.

En particular, puede suceder que no haya intervalos disponibles (o no asignados) para un haz determinado. En tal caso, se puede ignorar la condición (2) y el algoritmo de asignación permite tener interferencia en un haz contiguo. Este procedimiento se repite hasta que se asignan todas las unidades calculadas en la primera etapa para los haces con haces contiguos en diferentes grupos de haces.

En tercer lugar, los intervalos de tiempo correspondientes a los otros haces en el grupo de haces, es decir, los haces que no tienen vecinos en diferentes grupos de haces, se asignan de manera aleatoria (es decir, las unidades del recurso de canal se asignan a estos haces hasta que se alcanza el número respectivo calculado en la primera etapa). En este caso, la única condición que tiene que respetarse para que un intervalo de tiempo esté disponible (o no asignado) es no haber sido asignado a un haz servido por el mismo amplificador (por ejemplo, TWTA).

Este esquema de asignación (que puede usarse como un esquema para ajustar la asignación del recurso de canal en la etapa S330 en la figura 3) se describirá a continuación con más detalle haciendo referencia al diagrama de flujo esquemático de la figura 7, que asume que el satélite comprende, además del grupo de haces (grupo de haces), uno o más grupos de haces adicionales (grupos de haces). Los esquemas de asignación asumen además que los haces en uno o más grupos adicionales de haces ya están asignados por completo.

En la etapa S710, para cada haz en el grupo de haces, el número de unidades del recurso de canal para asignar al haz respectivo se determina como un primer número sobre la base de la demanda de capacidad para el haz respectivo (es decir, la demanda de capacidad para el área de cobertura del haz respectivo). La etapa S710 puede ser idéntica a la etapa S510 descrito anteriormente. Por tanto, el número de unidades del recurso de canal (por ejemplo, intervalos de tiempo o subbandas de frecuencia) que se asignarán a cada haz en el grupo de haces se calcula como se describió anteriormente en el caso de una pasarela que da servicio a la red completa. En particular, en este momento, la tabla de iluminación de tiempo o la tabla de asignación de frecuencia está vacía, ya que aún no se han asignado intervalos de tiempo o subbandas de frecuencia.

En la etapa S720, para cada haz en el grupo de haces, un número de haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura del haz respectivo se determina como un segundo número. Por simplicidad, tales haces en uno o más grupos adicionales de haces pueden denominarse haces adyacentes o haces contiguos. Los haces en el grupo de haces con un segundo número alto tienen más haces adyacentes en otros grupos de haces y, por lo tanto, se espera que experimenten más interferencia de otros grupos de haces que los haces con un segundo número bajo. En particular, se espera que solo los haces con su área de cobertura en el borde del grupo de haces tengan los segundos números respectivos

diferentes de cero. Los haces en el grupo de haces se pueden clasificar en orden descendente con respecto al número (segundo número) de sus haces contiguos (adyacentes) que pertenecen a diferentes grupos de haces.

5 En la etapa S730, se selecciona el haz en el grupo de haces con el segundo número más alto. Si varios haces en el grupo de haces comparten un segundo número más alto, la selección se puede realizar de acuerdo con un esquema de selección. Alternativamente, la selección puede realizarse de manera aleatoria entre los haces que comparten el mismo segundo número más alto.

10 En la etapa S740, se comprueba si el primer número de unidades del recurso de canal ya se ha asignado al haz seleccionado. Si el primer número de unidades del recurso de canal ya se ha asignado al haz seleccionado (Sí en la etapa S740), el método pasa a la etapa S780. De lo contrario (No en la etapa S740), el método pasa a la etapa S750. En la primera pasada, no se habrían asignado unidades del recurso de canal al haz seleccionado. En particular, a cada haz se le asigna completamente un número de unidades igual al primer número para el haz respectivo hasta que se procesa el siguiente haz.

15 En la etapa S750, se comprueba si las unidades no asignadas (unidades disponibles) del recurso de canal están disponibles. Específicamente, todas esas unidades del recurso de canal se tratan como unidades no asignadas que aún no están asignadas a ninguno de los haces en uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura del haz seleccionado. Si tales unidades no asignadas del recurso de canal están disponibles (Sí en la etapa S750), el método pasa a la etapa S760. De lo contrario (No en la etapa S750), el método pasa a la etapa S770.

20 En la etapa S760, una unidad no asignada del recurso de canal (es decir, una unidad que aún no ha sido asignada a cualquiera de los haces en uno o más grupos adicionales de haces con sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura del haz seleccionado) se asigna al haz seleccionado. Esta asignación puede realizarse de acuerdo con un esquema de asignación. Alternativamente, una de las unidades no asignadas disponibles puede seleccionarse aleatoriamente para su asignación al haz seleccionado.

25 En particular, las etapas S750 y S760 se pueden realizar además de una manera que asegure que, si el recurso de canal es el recurso de tiempo (es decir, la trama de tiempo), se asigna un intervalo de tiempo al haz seleccionado que no está ya asignado a un haz (en el grupo de haces) que es servido por el mismo amplificador (por ejemplo, TWTA) que el haz seleccionado. Esto puede implicar verificar adicionalmente, en la etapa S750, si hay intervalos de tiempo disponibles que no estén ya asignados a un haz (en el grupo de haces) que es servido por el mismo amplificador que el haz seleccionado, y solo tratar esas unidades como unidades no asignadas (unidades disponibles) que aún no están asignadas a ningún haz adyacente en uno o más grupos adicionales de haces a un haz (en el grupo de haces) servido por el mismo amplificador que el haz seleccionado.

30 En la etapa S770, si no hay unidades no asignadas disponibles, una unidad del recurso de canal que ya se ha asignado a uno o más de los haces adyacentes se asigna al haz seleccionado. Preferiblemente, en esta etapa puede asignarse una unidad del recurso de canal que ya esté asignada a la menor cantidad posible de haces adyacentes.

35 En la etapa S780, se comprueba si se han procesado todos los haces del grupo de haces. Si todavía no se ha procesado alguno de los haces del grupo de haces (No en la etapa S780), el método pasa a la etapa S790, en la que se selecciona el haz con el siguiente segundo número más alto. Para más de un haz en el grupo de haces que comparten el siguiente segundo número más alto, la selección puede realizarse de acuerdo con el esquema de selección mencionado anteriormente en la etapa S730. Posteriormente, el método vuelve a la etapa S740. Por otra parte, si ya se han procesado todos los haces del grupo de haces (Sí en la etapa S780), el método finaliza.

40 En resumen, se puede decir que el ajuste del recurso de canal de acuerdo con la figura 7 se lleva a cabo por haces en el orden de los segundos números asociados de los haces en el grupo de haces, comenzando con el haz que tiene el segundo número más alto. Se puede decir además que el ajuste del recurso de canal incluye, para cada uno de los haces en el grupo de haces, asignar al haz respectivo primero aquellas unidades del recurso de canal que no están ya asignadas a cualquiera de los haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura del respectivo haz.

45 Para los haces del grupo de haces que tienen cero como un segundo número (es decir, que no tienen haces adyacentes en uno o más grupos adicionales de haces, por ejemplo, dado no están dispuestos en el borde del grupo de haces), la asignación del primer número de unidades del recurso de canal se puede realizar de acuerdo con un esquema alternativo. Por ejemplo, las etapas S750 a S770 pueden omitirse y la asignación de unidades del recurso de canal puede realizarse de forma aleatoria. Si el recurso de canal es el recurso de tiempo, se puede asegurar que se asignen a un determinado haz solamente unidades que no estén ya asignadas a un haz (en el grupo de haces) servido por el mismo amplificador que el haz dado.

50 En particular, a menos que las etapas requieran ciertas etapas como requisitos previos, las etapas antes mencionadas se pueden realizar en cualquier orden y se entiende que el orden ejemplar ilustrado en la figura 7 no

es limitativo. Por ejemplo, el procesamiento de la etapa S710 se puede realizar después de que se haya seleccionado cada haz, en cuyo caso el primer número solo se determinaría para el respectivo haz seleccionado.

El algoritmo anterior se puede describir formalmente con el siguiente pseudocódigo para el caso ejemplar de que el

- 5
1. Clasificar los haces en el grupo de haces en dos tipos:
 - (a) haces con vecinos en diferentes grupos de haces, B_neigh_cluster
 - (b) haces sin vecinos en diferentes grupos, B_wo_neigh_cluster
 2. Ordenar los haces B_neigh_cluster en orden decreciente de acuerdo con el número respectivo de los haces (N_neigh_cluster) de vecinos en diferentes grupos de haces, B_neigh_cluster_sorted
 3. Mientras (N_slots_still_to_be_allocated_for_beams_type (a) \neq 0) para $i = 1$ hasta length (B_neigh_cluster)
 - haz_i = B_neigh_cluster_sorted (i)
 - available_Ts = encontrar (Intervalos de tiempo disponibles de HPA (haz_i))
 - chosen_slot = available_Ts (1: N ranuras para haz_i)
 - final
 4. Asignar aleatoriamente los intervalos de tiempo restantes a los haces de tipo (b).

Elección adecuada de distribución de patrones de polarización

Una contramedida parcial que se puede utilizar para mitigar la interferencia de haces en otros grupos de haces es una distribución cuidadosa de la polarización en la red. Este enfoque se describe gráficamente en el ejemplo de la figura 8A y la figura 8B. Los dos patrones de haz mostrados tienen una distribución diferente de polarizaciones (las dos direcciones de sombreado están asociadas con las dos polarizaciones) a través de la red. Se muestran cuatro grupos de pasarelas adyacentes (grupos de haces servidos por diferentes pasarelas) 810, 820, 830, 840 cada uno de 16 haces 810-ij, 820-ij, 830-ij, 840-ij ($i = 1, \dots, 4, j = 1, \dots, 4$, el índice i indica la fila de un haz respectivo en su grupo respectivo en el dibujo, y el índice j indica la columna del haz respectivo en su grupo respectivo). Suponiendo que el conjunto 850 resaltado de 16 haces (dentro del cuadrado sólido en el centro), que se extiende sobre los cuatro grupos de haces 810, 820, 830, 840, se conoce a priori como un área de alto tráfico, el esquema de distribución de polarización en la figura 8B minimiza la interferencia cocanal cuando se aplica en presencia de mitigación de interferencia cocanal intragrupo. De hecho, en la figura 8B, solo cuatro haces (a saber, los haces 810-4-4, 820-4-1, 830-1-4 y 840-1-1) posiblemente interfirieran entre sí en lugar de ocho haces (a saber haces 810-3-4, 810-4-4, 820-3-1, 820-3-2, 830-1-4, 830-2-4, 840-1-1 y 840-2-1) cuando se utiliza el esquema de polarización de la figura 8A. Usando el esquema de polarización de la figura 8B, se produce interferencia entre haces a mayor distancia que en el caso del escenario de la figura 8A.

En general, asumiendo que hay uno o más grupos adicionales de haces (grupos de haces) servidos por diferentes pasarelas además del grupo de haces para el cual se realiza la mitigación de interferencia cocanal, el método propuesto puede incluir además una etapa de ajuste de un patrón de polarización para los haces en el grupo de haces o los uno o más grupos adicionales de haces, cuya área de cobertura es adyacente a un área de cobertura que pertenece a un haz en uno diferente del grupo de haces o a los uno o más grupos adicionales de haces. Es decir, se puede ajustar un patrón de polarización de haces adyacentes en diferentes grupos de haces. En particular, el patrón de polarización puede ajustarse de manera que se maximicen las distancias entre áreas de cobertura de haces con la misma polarización en diferentes grupos de los grupos de haces y en los uno o más grupos adicionales de haces. Maximizar las distancias entre las áreas de cobertura puede referirse a maximizar una distancia media entre ubicaciones dentro de estas áreas, o maximizar cualquier otra función de costo adecuada de distancias de ubicaciones dentro de estas áreas.

Asignación flexible de potencia en presencia de mitigación de interferencia cocanal

Puede proporcionarse una mejora adicional en la flexibilidad en el contexto del método propuesto asignando de manera flexible la potencia de transmisión a los haces en el grupo de haces en función de (por ejemplo, de acuerdo con) su solicitud de capacidad (demanda de capacidad). A diferencia de los sistemas convencionales sin mitigación de interferencia cocanal, cuando se utiliza mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, precodificación o MUD), cualquier desequilibrio de potencia de haz tiene como resultado una mejora directa del rendimiento debido a reducción de la interferencia dentro del sistema. Esto se puede conseguir reemplazando los tubos convencionales con FlexTWTA o MPA. Estos últimos son más adecuados para esta técnica ya que permiten un rango dinámico mayor, pudiendo así proporcionar un reparto de potencia más flexible entre los haces. No obstante, la presente descripción no se limita a FlexTWTA, y se pueden emplear cualesquiera dispositivos amplificadores adecuados en el contexto del método propuesto.

A continuación, se hará referencia a modo de ejemplo a la precodificación como técnica de mitigación de interferencia cocanal, pero se entiende que la siguiente descripción puede aplicarse igualmente a otras técnicas de mitigación de interferencia cocanal, como por ejemplo MUD.

El algoritmo de precodificación en presencia de un desequilibrio de potencia no uniforme tiene que modificarse de la siguiente manera.

- 5 Por ejemplo, si se emplea un algoritmo de precodificación lineal de la variante del error cuadrático medio mínimo (MMSE) para calcular la matriz de precodificación W de la matriz de canales H (ambas con elementos complejos), el cálculo de la matriz de precodificación en presencia de potencia no uniforme es el siguiente:

$$W = [H^H \text{diag}(P)H + I]^{-1} H^H \text{diag}(P) \quad [2]$$

- 10 donde $P = [P_i]$, P_i es la potencia emitida desde el alimentador i , I es la matriz de identidad, y H^H es el conjugado hermitiano de matriz H . Las dimensiones de H , W , e I puede ser 2x2 o 3x3 si se aplica el esquema de reducción de complejidad descrito anteriormente. El desequilibrio de potencia del sistema se refleja en el vector P con una entrada por alimentador de transmisión. Si W_i es una fila de la matriz de precodificación, hay que calcular la siguiente norma para verificar si alguna de las filas de W viola la potencia máxima disponible de la totalidad de los amplificadores integrados (por ejemplo, HPA),

$$n = \text{norm}(W_i)^2 \quad [3]$$

- 20 A continuación, si $n > 1$, la siguiente normalización es para asegurar que la potencia total no excede la potencia total disponible a bordo,

$$\tilde{W}_i = \frac{1}{\sqrt{n}} W_i \quad [4]$$

- 25 La optimización del algoritmo de asignación de potencia es en general una tarea no trivial. A continuación se presentará una técnica eficiente para la asignación flexible de potencia haciendo referencia al diagrama de flujo de la figura 9. La técnica presentada adopta un enfoque heurístico y asume que la potencia entre un grupo de haces se puede compartir (es decir, redistribuir entre estos haces). Las etapas descritas a continuación se pueden realizar después de la etapa S350 en la figura 3, por ejemplo. En general, las etapas descritas a continuación pueden realizarse siempre que se ajuste la asignación del recurso de canal (y se realice la técnica de mitigación de interferencia cocanal). Sin limitación intencionada, la siguiente descripción asume a modo de ejemplo que el recurso de canal es el recurso de tiempo.

- 35 En una primera iteración, se calculan las capacidades de los haces al aplicar saltos de haces combinado con la mitigación de interferencia cocanal descrita anteriormente, con igual potencia entre los haces. En este momento, se calcula la capacidad no satisfecha (y opcionalmente, la capacidad no utilizada) para cada haz, así como la potencia adicional necesaria para cada haz (en cada intervalo de tiempo) para llenar el vacío y poder satisfacer toda la capacidad solicitada (y opcionalmente, una posible reducción de potencia que puede ser posible para haces para los que hay capacidad no utilizada en el haz).

- 40 Para ello, en la etapa S910, se selecciona un haz entre los haces del grupo de haces. La selección puede ser aleatoria en este momento.

- 45 En la etapa S920, se determina (calcula) una diferencia entre la demanda de capacidad para el haz seleccionado y la capacidad disponible para el haz seleccionado. En otras palabras, se determina la capacidad no satisfecha (diferencia positiva) o la capacidad no utilizada (diferencia negativa).

- A continuación, en la etapa S930, se determina (calcula) un cambio necesario ΔP_i en potencia de transmisión P_i para el haz seleccionado que minimizaría (o eliminaría por completo) la diferencia determinada en la etapa S920. El cambio (cantidad de cambio) ΔP_i puede ser un incremento o decremento en la potencia de transmisión P_i . A partir del límite de Shannon, el cambio ΔP_i en potencia de transmisión P_i se obtiene resolviendo

$$\frac{T_{unmet_i}}{\tau_i} = \frac{B}{W} \cdot \left[\log_2 \left(\frac{(SNR_i \Delta P_i) + 1}{SNR_i + 1} \right) \right] \quad [5]$$

- 55 donde T_{unmet} es la capacidad no satisfecha del seleccionado (es decir, i -ésimo) haz, B es la banda servida por cada amplificador, W es el número de intervalos de tiempo en la ventana de saltos de haces (es decir, en la trama de tiempo), SNR_i es la relación señal-ruido (SNR) promedio del i -ésimo haz asumiendo potencia uniforme. En particular, la ecuación [5] se puede aplicar también a haces que tienen capacidad no utilizada, definiendo la capacidad no utilizada como capacidad no satisfecha negativa (es decir, utilizando el valor negativo de la capacidad no utilizada como capacidad no satisfecha en la ecuación [5]). Invertir la ecuación [5] produce

$$\Delta P_i = \frac{\left[2 \left(\frac{T_{unmet_i} W}{\tau_i B} \right) \cdot (SNR_i + 1) \right]^{-1}}{SNR_i} \quad [6]$$

En la etapa S940, se determina a continuación si se han procesado todos los haces del grupo de haces. Si es así (Sí en la etapa S940), el método pasa a la etapa S960. De lo contrario (No en la etapa S940), el método avanza a la etapa S950, en el que se selecciona el siguiente haz. La selección puede ser aleatoria en este momento, siempre que cada haz se procese en el curso del método.

Alternativamente, la diferencia entre la demanda de capacidad y la capacidad disponible, así como el cambio necesario en la potencia de transmisión, se puede determinar para todos los haces relevantes (es decir, para todo el grupo de haces o un subgrupo de los mismos) en una sola etapa, en su lugar de determinar sucesivamente estas cantidades para cada haz.

En la etapa S960, para cada haz en el grupo de haces, se determina (calcula) una potencia de transmisión normalizada. Por ejemplo, la potencia de transmisión no normalizada para el haz seleccionado se puede calcular como

$$P_i = P_{un} + \Delta P_i \quad [7]$$

donde P_{un} es la potencia de transmisión por haz en el caso de potencia uniforme. En particular, este cálculo aún no garantiza ninguna restricción sobre la potencia total. Por lo tanto, para introducir una restricción para que la potencia total que se mantenga constante entre un número de haces k , se tiene que cumplir la siguiente restricción en cada intervalo de tiempo de la trama de saltos de haces (trama de tiempo),

$$\sum_{i=1}^k P_i = P_{tot} \quad [8]$$

donde P_i es la potencia de transmisión asignada al i -ésimo haz, y P_{tot} es la potencia total disponible para los k haces. En particular, los k haces pueden ser todos los haces en el grupo de haces, o pueden ser un subgrupo de los haces en el grupo de haces (por ejemplo, un subgrupo de haces para los que se puede compartir la potencia de transmisión). Se aplica un factor de normalización C a las potencias de transmisión no normalizadas P_i (después de haber aplicado el cambio determinado ΔP_i en potencia de transmisión) para cumplir con esta restricción, donde el factor de normalización viene dado por

$$C = \frac{\sum_{i=1}^k P_i}{P_{tot}} \quad [9]$$

La potencia de transmisión final corregida (normalizada) PC_i Para el i -ésimo haz está entonces dada por

$$PC_i = \frac{1}{C} \cdot P_i \quad [10]$$

para mantener constante la potencia total del sistema

En la etapa S970, las potencias de transmisión normalizadas determinadas en la etapa S960 se aplican a los respectivos haces. Esto puede implicar realizar operaciones de control de los dispositivos amplificadores que sirven a los respectivos haces.

El método de la figura 9 se puede realizar de forma iterativa. Es decir, después de la etapa S970, el método puede volver a la etapa S910 (o a una sola etapa para determinar las diferencias entre las demandas de capacidad y las capacidades disponibles, así como los cambios necesarios en la potencia de transmisión). Las potencias de transmisión para los haces relevantes pueden ajustarse en cada instancia de la etapa S970 hasta que se cumpla un criterio de salida (condición de salida). Este criterio de salida puede referirse a que (una función de) las capacidades no satisfechas o no utilizadas caigan por debajo de un umbral predeterminado, o a que el número de iteraciones que exceda un número predeterminado, por ejemplo.

En particular, el esquema de asignación flexible de potencia y el método de la figura 9 no necesitan realizarse para todos los haces de la red, sino que pueden realizarse para un subgrupo de haces, siempre que la potencia de transmisión para el subgrupo de haces se pueda compartir.

La figura 10 muestra un diagrama de bloques de una carga útil de enlace directo que implementa saltos de haces con MPA. En esta figura, la referencia 1010- i denota un bloque de enlace directo, la referencia 1011- i denota un demultiplexor de entrada, la referencia 1012- i denota un convertidor descendente, la referencia 1013- i denota un MPA, la referencia 1015- i denota un conmutador, la referencia 1016- i denota una alimentación de antena de enlace de usuario, la referencia 1021- i denota un filtro de duplexación, la referencia 1022- i denota un filtro de entrada, la

referencia 1023-i denota un amplificador de bajo nivel de ruido y la referencia 1024-i denota un bloque de enlace directo ($j = 1, \dots, 4$).

Cabe señalar que si se utiliza el esquema anterior con los MPA, hay que tener cuidado al asignar haces a los MPA, ya que un buen rendimiento de estos dispositivos requiere una correlación muy baja entre los portadores que comparten el MPA. Esto significa que si se realizan portadoras transversales con mitigación de interferencia cocanal (por ejemplo, portadoras que están precodificadas juntas), en principio no deberían utilizar el mismo MPA. Esto podría implicar que cada MPA debería ser alimentado solamente por portadoras de enlace ascendente con diferentes pasarelas (ya que alimentarían haces en diferentes grupos y, por lo tanto, no estarían precodificadas por la misma matriz precodificada). Sin embargo, incluso dentro de la misma matriz de precodificación, los haces que no están próximos entre sí pueden experimentar solo una baja correlación después de la mitigación de la interferencia cocanal, lo que puede ser aceptable para el MPA.

A nivel de implementación, el método propuesto puede implicar el control de la circuitería de transmisión del satélite para ajustar la asignación del recurso de canal, como (parte de) la circuitería de transmisión ilustrada en la figura 10. El método propuesto puede implicar además la mitigación de la interferencia cocanal realizada en tierra, por ejemplo en la pasarela, que se refiere a esquemas específicos para asignar diferentes alimentaciones de datos a diferentes haces del grupo de haces, es decir, que se refiere a un preprocesamiento de las alimentaciones de datos antes de la transmisión al satélite. El método propuesto puede implicar además el control de dispositivos amplificadores incluidos en los circuitos de transmisión del satélite, con el fin de asignar de forma flexible la potencia de transmisión a los haces. El método puede ser realizado por un aparato para controlar la transmisión en un grupo de haces emitidos por un satélite. El aparato puede comprender un receptor para recibir las indicaciones de la calidad de la señal y un controlador configurado para realizar las restantes de las etapas del método antes mencionado. El aparato puede estar dispuesto en, o implementado por una estación terrestre (por ejemplo, una pasarela). El controlador puede ser implementado por una o más CPU, por ejemplo.

Los resultados de la simulación muestran que el método propuesto permite reducir significativamente la discrepancia entre la capacidad total utilizable del sistema y la capacidad del sistema ofrecida para casos realistas de uso.

Las figuras 11 a 14 ilustran un escenario simulado para 64 haces de un satélite multihaz geoestacionario situado a 30 grados de longitud occidental, con un área de cobertura en el hemisferio norte que incluye Europa, partes del norte de África y la parte noreste de América del Norte. La simulación asume la cobertura de Europa y una interfaz aérea DVBS2X (con `roll_off = 20%`). La simulación asume una frecuencia de enlace descendente de 20 GHz (banda K), un ancho de banda de portadora de 500 MHz, 16 TWTA (cada HPA ilumina alternativamente 4 haces), 1 portadora por TWTA, una potencia radiada isotrópicamente equivalente (EIRP) de 65 dBW, y polarización simple.

El patrón de antena del satélite multihaz se muestra en la figura 11, que también ilustra la ganancia de la antena de transmisión en dB para cada haz.

Según la simulación, 16 haces centrales de los 64 haces son haces 'calientes', cada uno de los cuales solicita ~920 Mbps y los 48 haces restantes son haces 'fríos', cada uno de los cuales solicita 10 veces menos tráfico que los calientes, es decir, ~92 Mbps. Esto se muestra en la figura 12, en la que el área gris claro indica haces fríos y el área sombreada en el centro indica los haces calientes.

En el escenario simulado, el límite superior teórico para la capacidad ofrecida (en Gb por longitud de ventana) es 19.245 y el límite superior teórico para la capacidad utilizable (en Gb por longitud de ventana) es 18.565.

La figura 13 contrasta, para cada uno de los 64 haces, el tráfico solicitado con el tráfico ofrecido y con el límite superior del tráfico ofrecido para un esquema de asignación flexible de tiempo (saltos de haces). La figura 14 ilustra las mismas cantidades al aplicar el método propuesto. En cada una de estas figuras, las barras verticales para cada uno de los 64 haces indican, de izquierda a derecha, el tráfico solicitado (gris oscuro), el tráfico ofrecido (gris) y el límite superior del tráfico ofrecido (gris claro). Como puede verse en la figura 13, existe una discrepancia significativa entre los respectivos tráficos solicitados y tráficos ofrecidos para al menos los 16 haces calientes (es decir, los haces 9-16, 35-38 y 43-46) cuando se aplica únicamente el saltos de haces. Cuantitativamente, aplicar saltos de haces tiene como resultado una capacidad ofrecida de 12,513 GB/longitud de ventana y una capacidad utilizable de 11,951 GB/longitud de ventana para el escenario supuesto. Por otra parte, como puede verse en la figura 14, la discrepancia entre los respectivos tráficos solicitados y los tráficos ofrecidos para los haces calientes se reduce significativamente al aplicar el método propuesto. Cuantitativamente, aplicar el método propuesto tiene como resultado una capacidad ofrecida de 16.976 GB/longitud de ventana y una capacidad utilizable de 16.731 GB/longitud de ventana para el escenario asumido, lo que equivale a una mejora en comparación con el escenario de saltos de haces de alrededor del 40% para la capacidad utilizable.

Cabe señalar que las características del método descritas anteriormente corresponden a características respectivas del aparato que, sin embargo, pueden no describirse explícitamente, por razones de concisión. Se considera que la descripción del presente documento se extiende también a tales características del aparato. En particular, se entiende que la presente descripción se refiere a un aparato para llevar a cabo los métodos descritos anteriormente.

5 Debe observarse además que la descripción y los dibujos simplemente ilustran los principios de los métodos y aparatos propuestos. Los expertos en la técnica podrán implementar diversas disposiciones que, aunque no se describen o muestran explícitamente en el presente documento, incorporan los principios de la invención. Además, todos los ejemplos y realizaciones descritos en el presente documento están destinados principalmente a tener solo fines explicativos para ayudar al lector a comprender los principios del método propuesto.

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces emitidos por un satélite, en el que cada haz tiene un área de cobertura asociada, comprendiendo el método:

5 ajustar (S330) una asignación de un recurso de canal redistribuyendo partes del recurso de canal entre los haces en el grupo de haces de acuerdo con las demandas de capacidad respectivas para las áreas de cobertura de los haces en el grupo;
 10 obtener (S340), para cada una de las áreas de cobertura, una indicación de la calidad de la señal desde un terminal en el área de cobertura respectiva para la asignación ajustada del recurso de canal; y
 15 aplicar (S350) una técnica de mitigación de interferencia cocanal al grupo de haces de acuerdo con las indicaciones obtenidas de la calidad de la señal,
 donde el recurso de canal se subdivide en una pluralidad de unidades de tamaño idéntico;
 donde el satélite comprende uno o más grupos adicionales de haces servidos por pasarelas que son diferentes de una pasarela que sirve al grupo de haces;
 donde el método comprende además:

20 para cada haz del grupo de haces, determinar (S710), como un primer número, un número de unidades del recurso de canal para su asignación a cada uno de los haces del grupo de haces en función de la demanda de capacidad para el área de cobertura de cada uno de los haces del grupo de haces; y
 25 para cada haz del grupo de haces, determinar (S720), como un segundo número, un número de haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura de cada uno de los haces en el grupo de haces;
 30 dicho ajuste de la asignación del recurso de canal lleva a cabo por haces en orden descendente de los segundos números asociados de los haces, comenzando con el haz que tiene el segundo número más alto; y
 dicho ajuste de la asignación del recurso de canal implica, para cada uno de los haces del grupo de haces, asignar primero aquellas unidades del recurso de canal a cada uno de los haces del grupo de haces que no estén ya asignados a alguno de los haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura de cada uno de los haces en el grupo de haces, y

35 en el que a cada haz se le asigna el primer respectivo número de unidades del recurso de canal hasta que se procesa el siguiente haz.

2. El método según la reivindicación 1, en el que aplicar la técnica de mitigación de interferencia cocanal implica realizar precodificación a través del grupo de haces de acuerdo con las indicaciones obtenidas de la calidad de la señal.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que ajustar la asignación del recurso de canal se realiza de tal manera que después de redistribuir las partes del recurso de canal, al menos una parte del recurso de canal se asigna a más de un haz en el grupo de haces.

4. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:
 45 determinar (S310) si ha cambiado una demanda de capacidad para al menos una de las áreas de cobertura;
 y
 50 cuando se determina que la demanda de capacidad para la al menos una de las áreas de cobertura ha cambiado, ajustar (S330) la asignación del recurso de canal.

5. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además, para cada haz en el grupo de haces:

55 determinar (S920) una diferencia entre la demanda de capacidad y la capacidad disponible proporcionada por cada uno de los haces del grupo de haces;
 60 determinar (S930) un cambio en la potencia de transmisión para cada uno de los haces del grupo de haces con el fin de reducir dicha diferencia; y
 ajustar la potencia de transmisión de cada uno de los haces del grupo de haces en función del cambio de potencia de transmisión determinado.

6. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el método comprende además:

Ajustar un patrón de polarización para aquellos haces en el grupo de haces o los uno o más grupos adicionales de haces, cuya área de cobertura es adyacente a un área de cobertura perteneciente a un haz en otro diferente del grupo de haces o de los uno o más grupos adicionales de haces, en el que dicho ajuste del patrón de polarización se realiza de manera que se maximizan las distancias entre áreas de cobertura de haces con la misma polarización en diferentes haces del grupo de haces y los uno o más grupos adicionales de haces.

7. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el recurso de canal es una trama de tiempo que incluye una pluralidad de intervalos de tiempo y se repite periódicamente en el tiempo, y ajustar la asignación del recurso de canal implica asignar un número respectivo de intervalos de tiempo por trama de tiempo a cada uno de los haces del grupo de haces; o donde el recurso de canal es una banda de frecuencia que incluye una pluralidad de subbandas de frecuencia, y ajustar la asignación del recurso de canal implica asignar un número respectivo de subbandas de frecuencia de la banda de frecuencia a cada uno de los haces en el grupo de haces.

8. Un aparato dispuesto en, o implementado por una estación terrestre, para controlar la transmisión de señales en un grupo de haces emitidos por un satélite, donde cada haz tiene un área de cobertura asociada, comprendiendo el aparato:

un controlador adaptado para ajustar (S330) una asignación de un recurso de canal redistribuyendo partes del recurso de canal entre los haces en el grupo de haces de acuerdo con respectivas demandas de capacidad para las áreas de cobertura de los haces en el grupo; y un receptor adaptado para recibir (S340), para cada una de las áreas de cobertura, una indicación de la calidad de la señal desde un terminal en el área de cobertura respectiva para la asignación ajustada del recurso de canal,

en el que el controlador está además adaptado para aplicar (S350) una técnica de mitigación de interferencia cocanal al grupo de haces de acuerdo con las indicaciones de la calidad de la señal recibidas por el receptor; en el que el recurso de canal está subdividido en una pluralidad de unidades de tamaño idéntico;

en el que el satélite comprende uno o más grupos adicionales de haces servidos por pasarelas que son diferentes de una pasarela que sirve al grupo de haces; en el que el controlador está además adaptado para:

para cada haz del grupo de haces, determinar (S710), como un primer número, un número de unidades del recurso de canal para su asignación a cada uno de los haces del grupo de haces en función de la demanda de capacidad para el área de cobertura de cada uno de los haces del grupo de haces; y

Para cada haz del grupo de haces, determinar (S720), como un segundo número, un número de haces en los uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura de cada uno de los haces en el grupo de haces;

ajustar la asignación del recurso de canal por haces en orden descendente de los segundos números asociados de los haces, comenzando con el haz que tiene el segundo número más alto; y

para cada uno de los haces del grupo de haces, asignar primero las unidades del recurso de canal a cada uno de los haces del grupo de haces que no estén ya asignados a alguno de los haces dos uno o más grupos adicionales de haces que tienen sus respectivas áreas de cobertura adyacentes al área de cobertura de cada uno de los haces del grupo de haces, y

en el que a cada haz se le asigna el primer respectivo número de unidades del recurso de canal hasta que se procesa el siguiente haz.

9. El aparato según la reivindicación 8, en el que el controlador está además adaptado para llevar a cabo precodificación a través del grupo de haces de acuerdo con las indicaciones recibidas de la calidad de la señal.

10. El aparato según la reivindicación 8 o 9, en el que el controlador está adaptado además para:

determinar (S310) si ha cambiado una demanda de capacidad para al menos una de las áreas de cobertura; y cuando se determina que la demanda de capacidad para la al menos una de las áreas de cobertura ha cambiado, ajustar (S330) la asignación del recurso de canal.

11. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que el controlador está además adaptado para, para cada haz del grupo de haces:

determinar (S920) una diferencia entre la demanda de capacidad y la capacidad disponible proporcionada por cada uno de los haces del grupo de haces;

determinar (S930) un cambio en la potencia de transmisión para cada uno de los haces del grupo de haces con el fin de reducir dicha diferencia; y

ajustar la potencia de transmisión de cada uno de los haces del grupo de haces en función del cambio determinado en la potencia de transmisión.

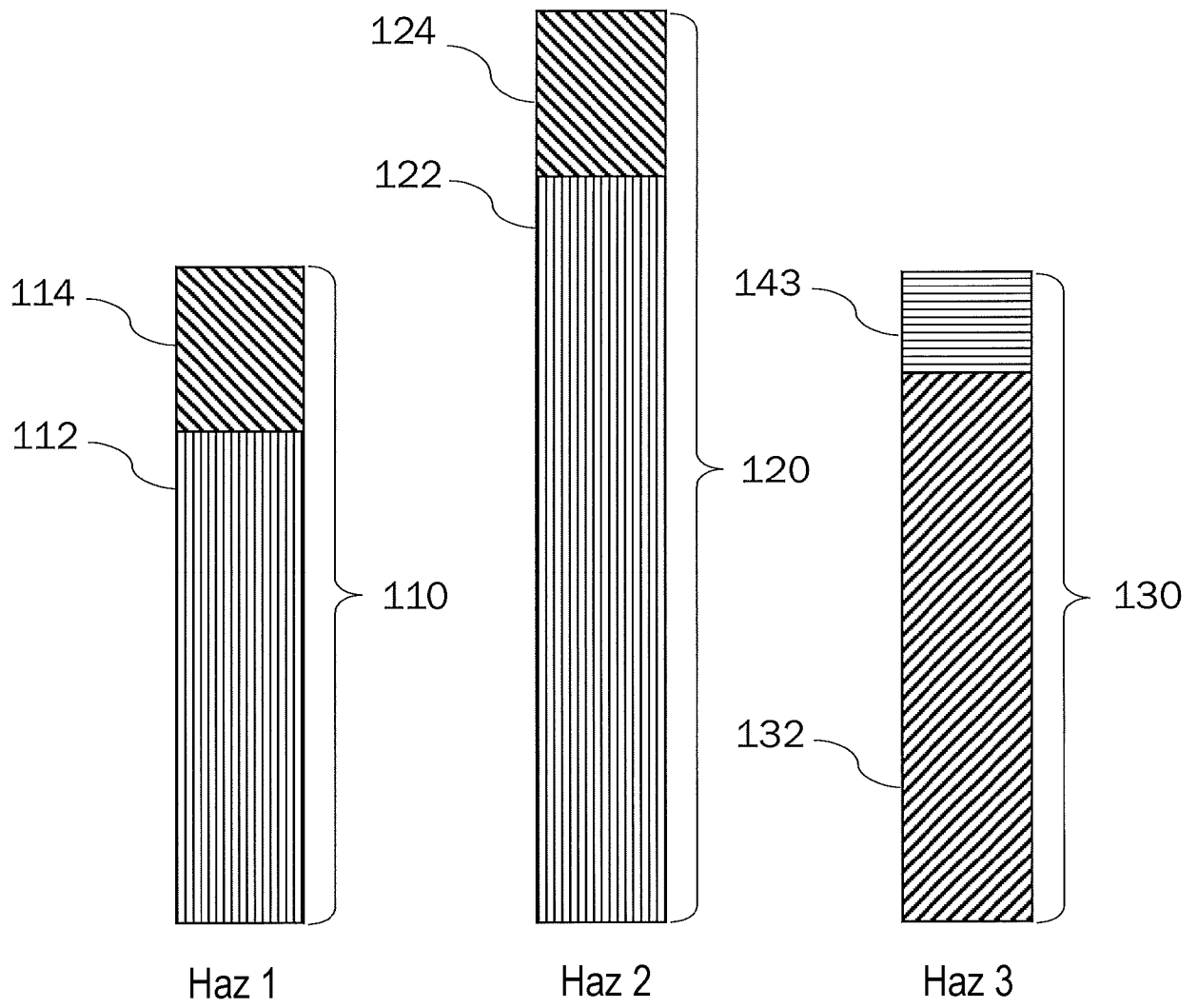


Fig. 1

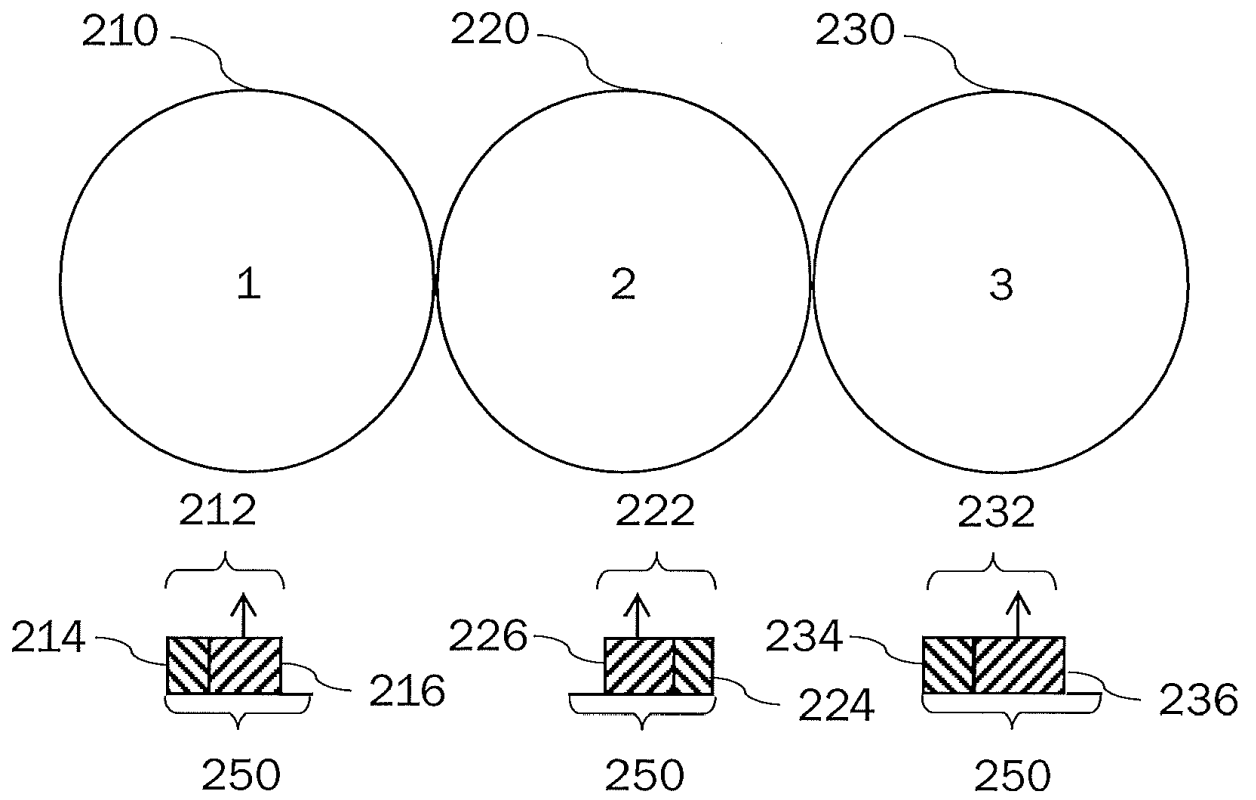


Fig. 2

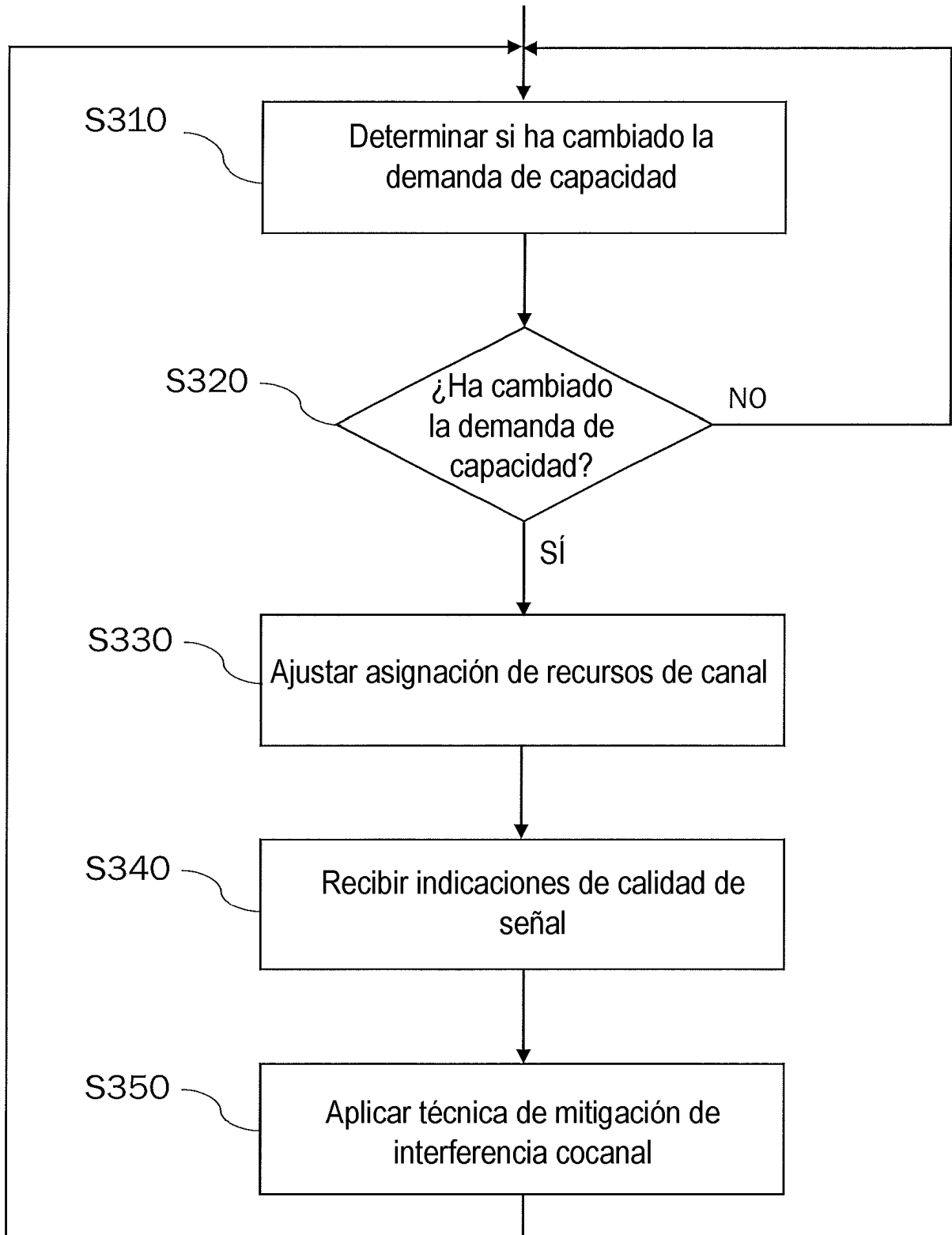


Fig. 3

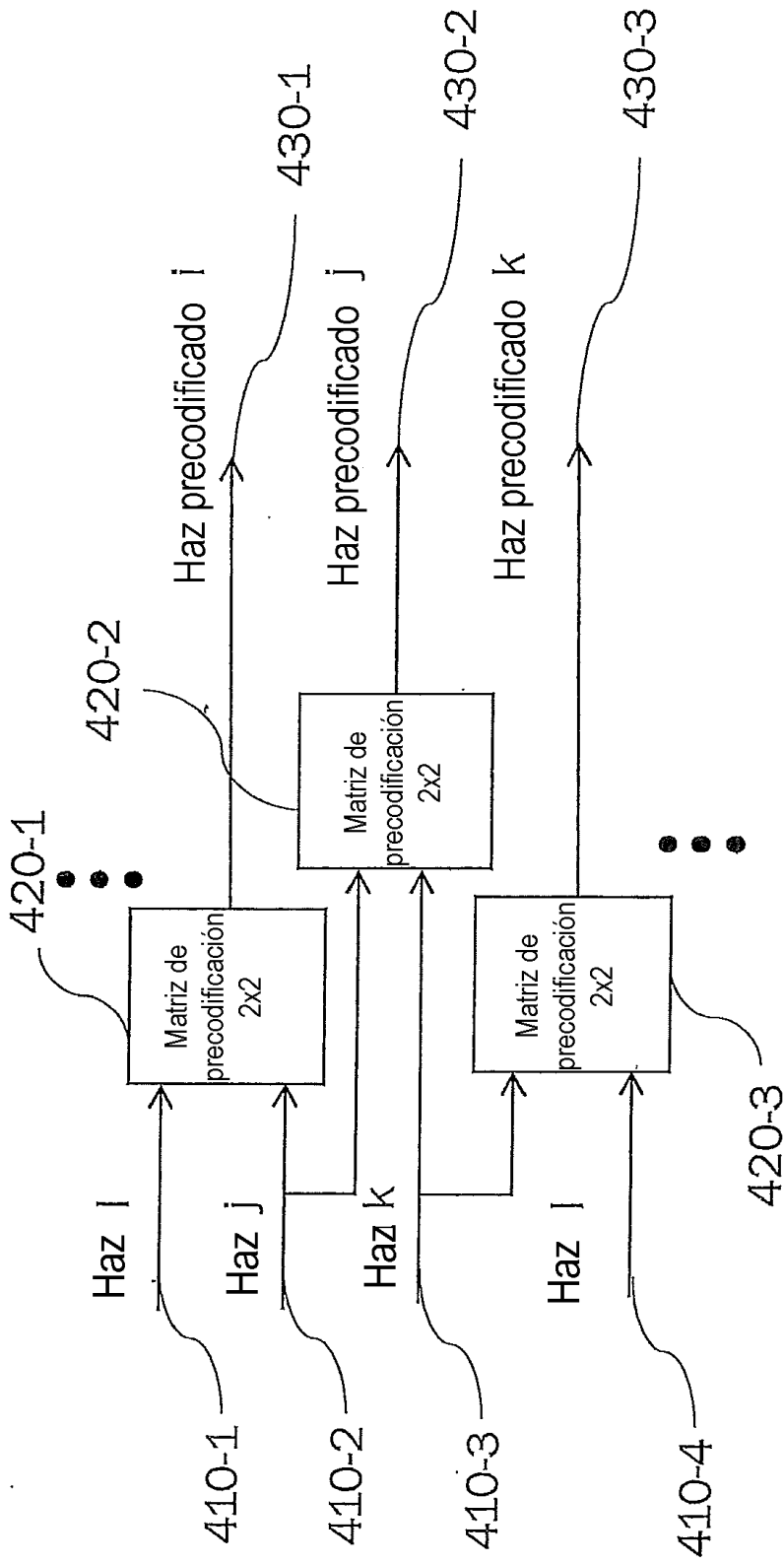


Fig. 4

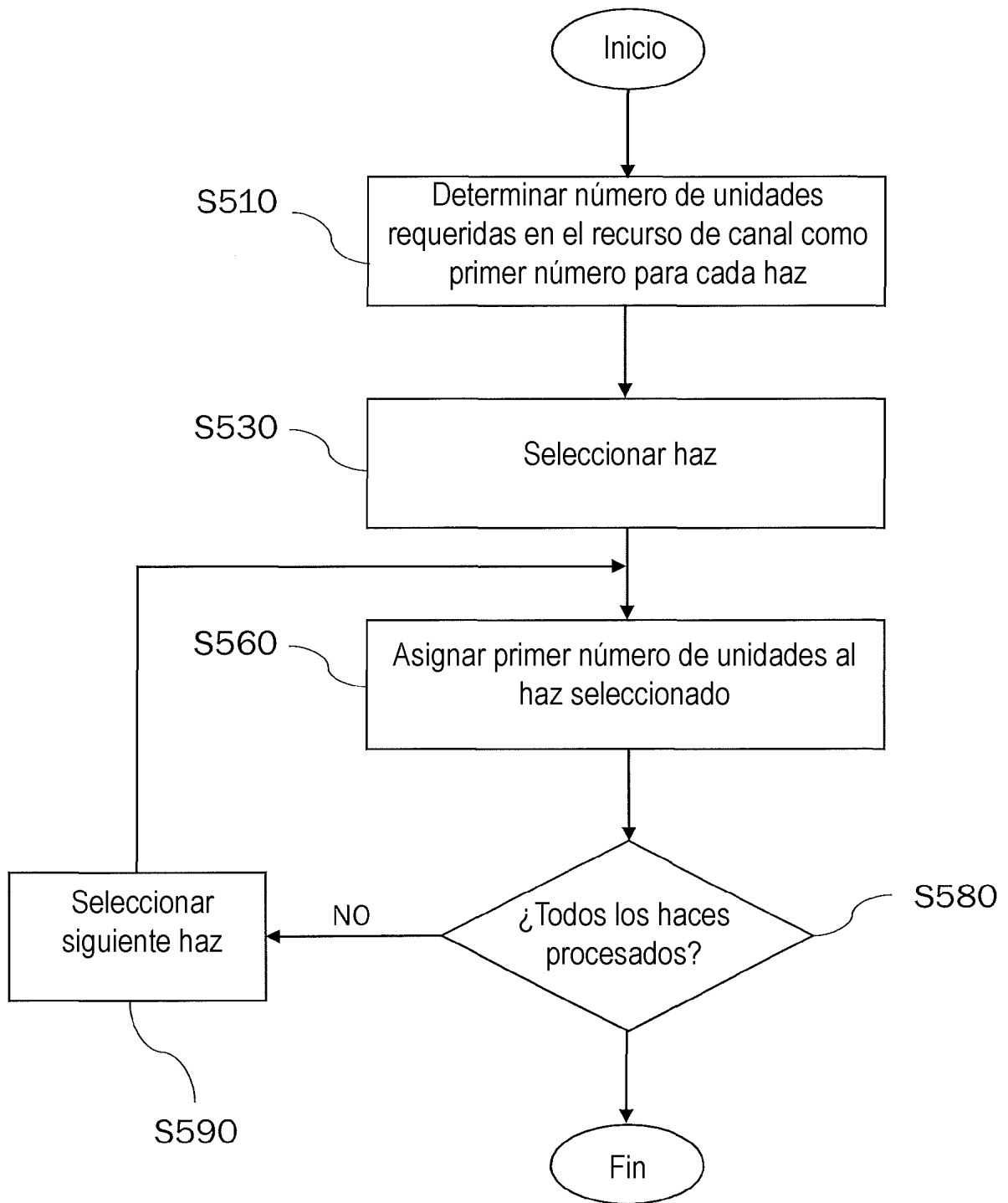


Fig. 5

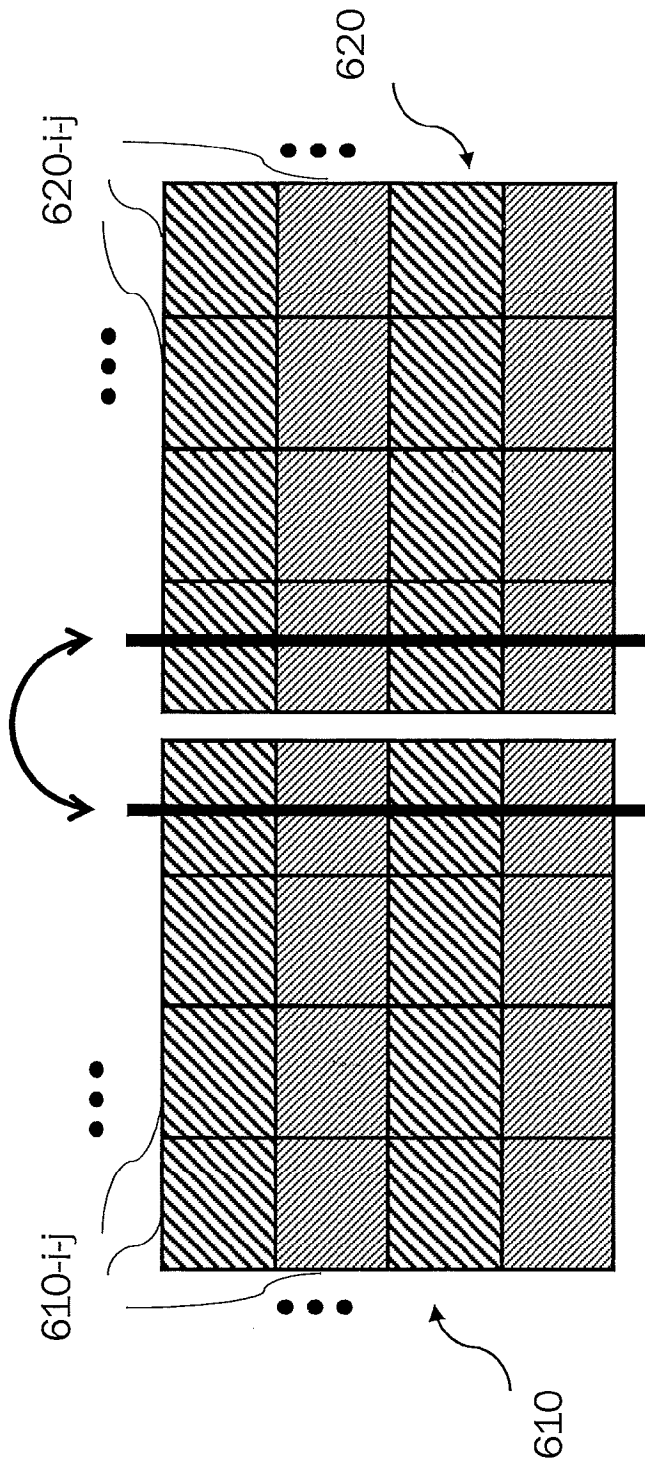


Fig. 6

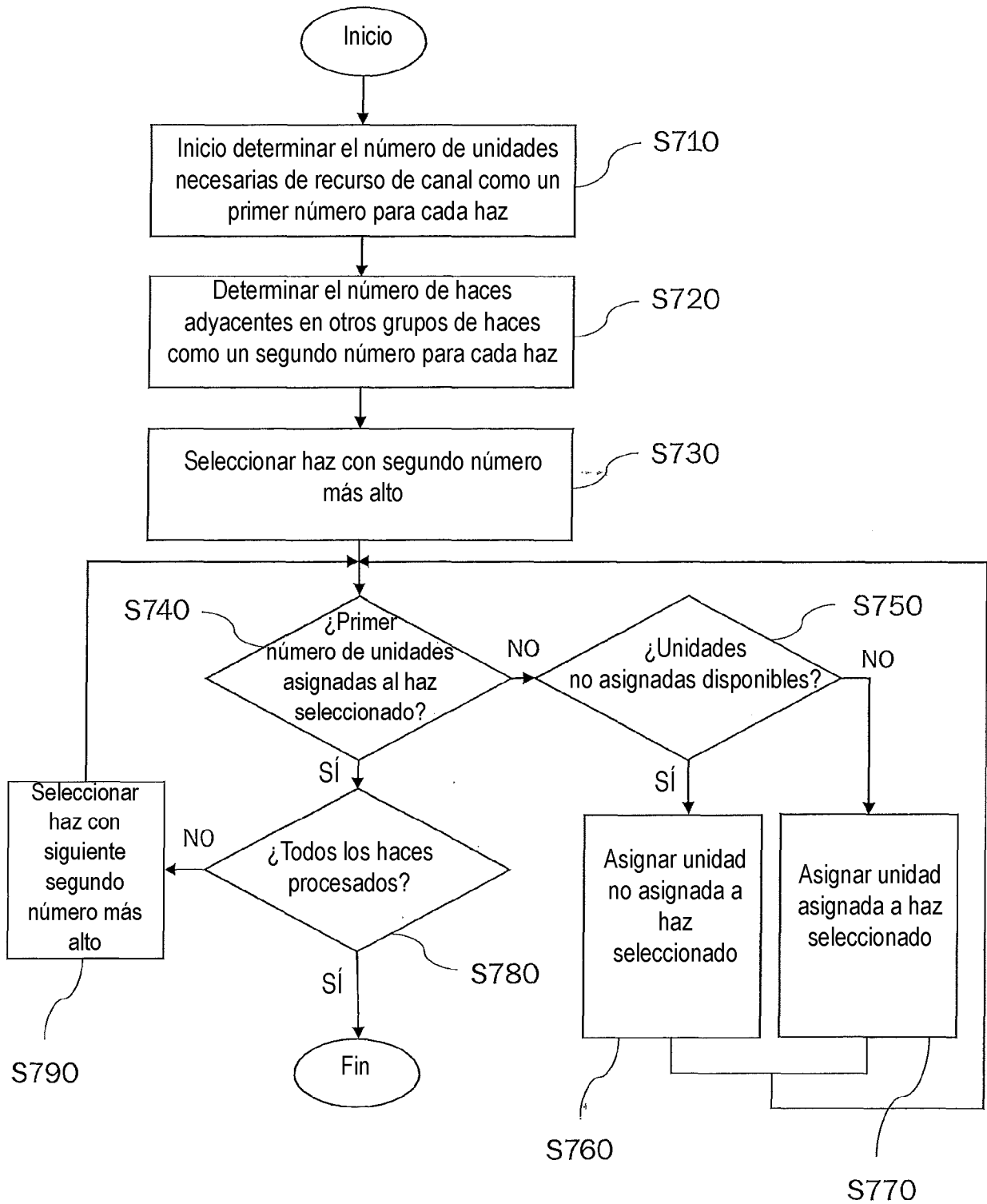


Fig. 7

Fig. 8A

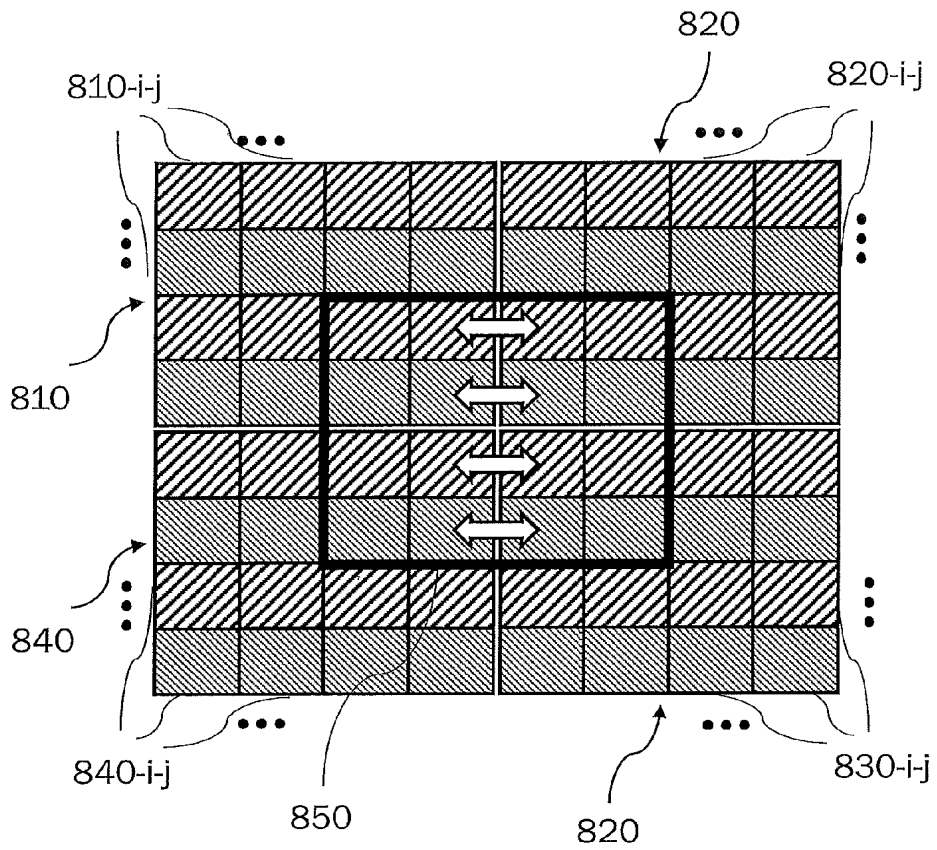
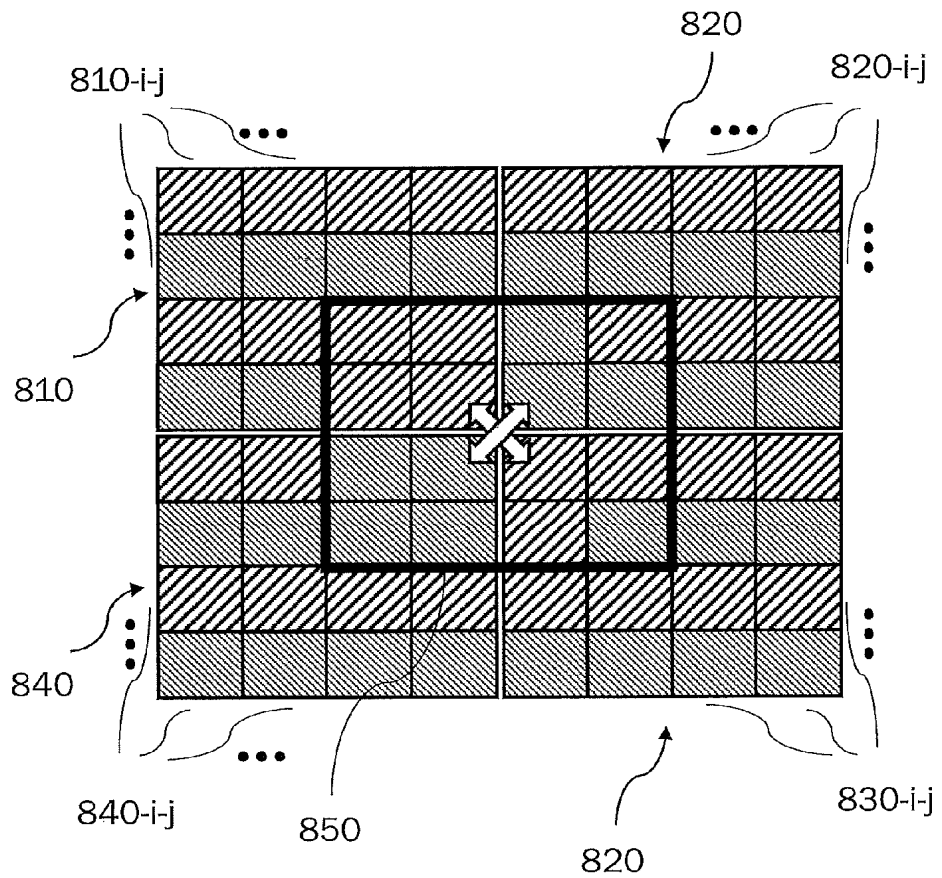


Fig. 8B



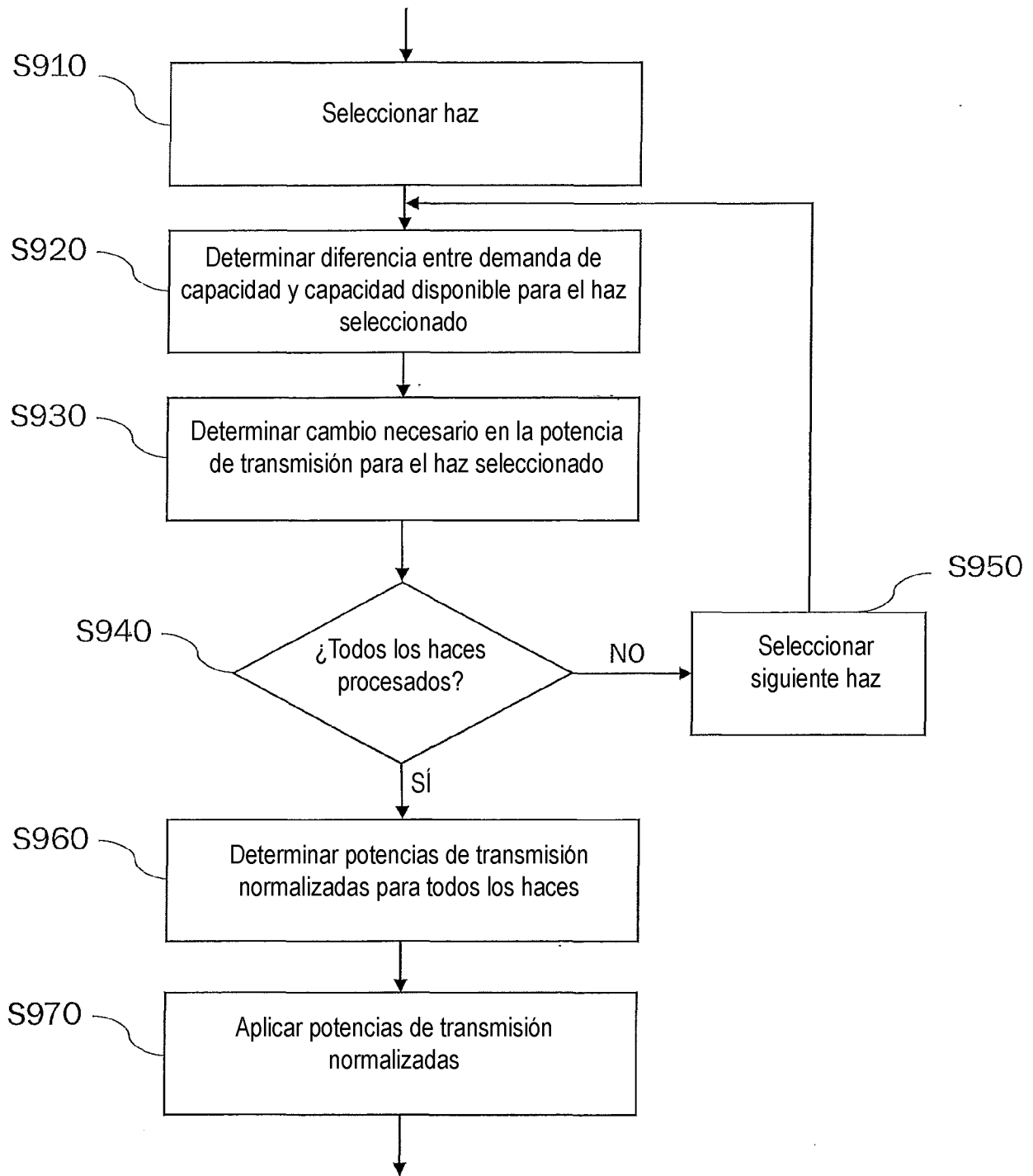


Fig. 9

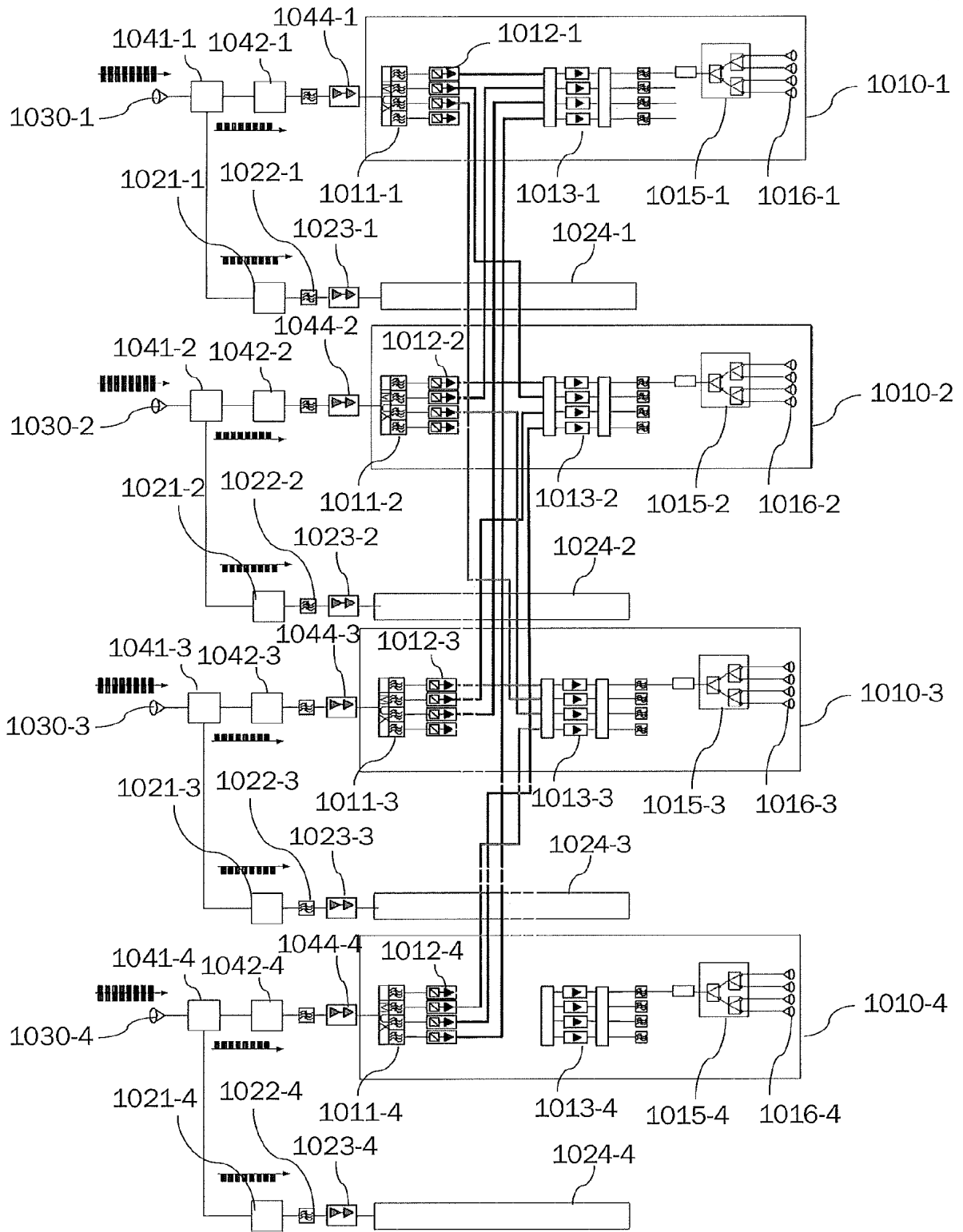


Fig. 10

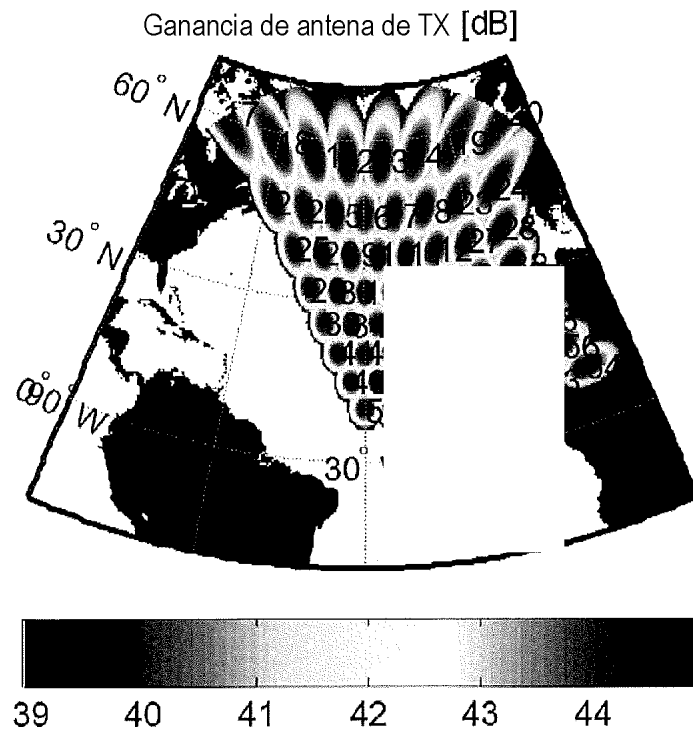


Fig. 11

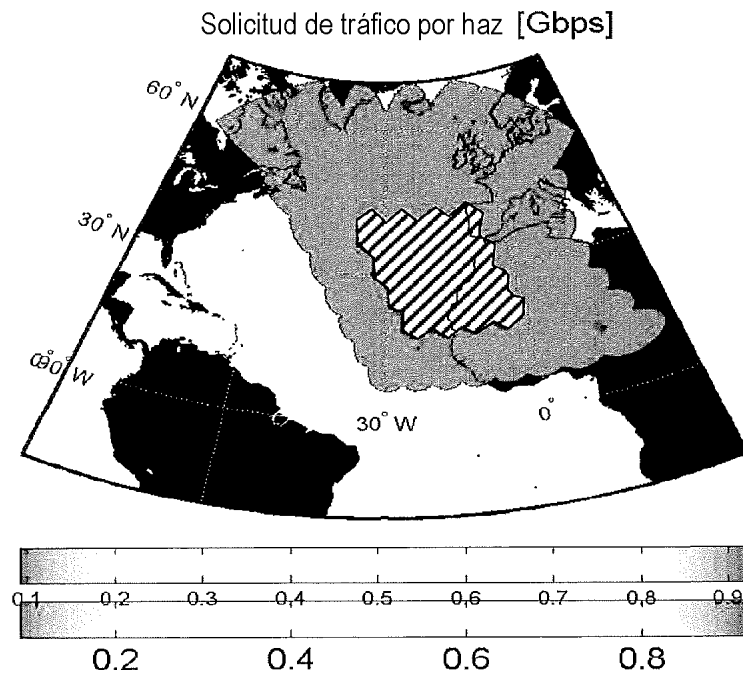


Fig. 12

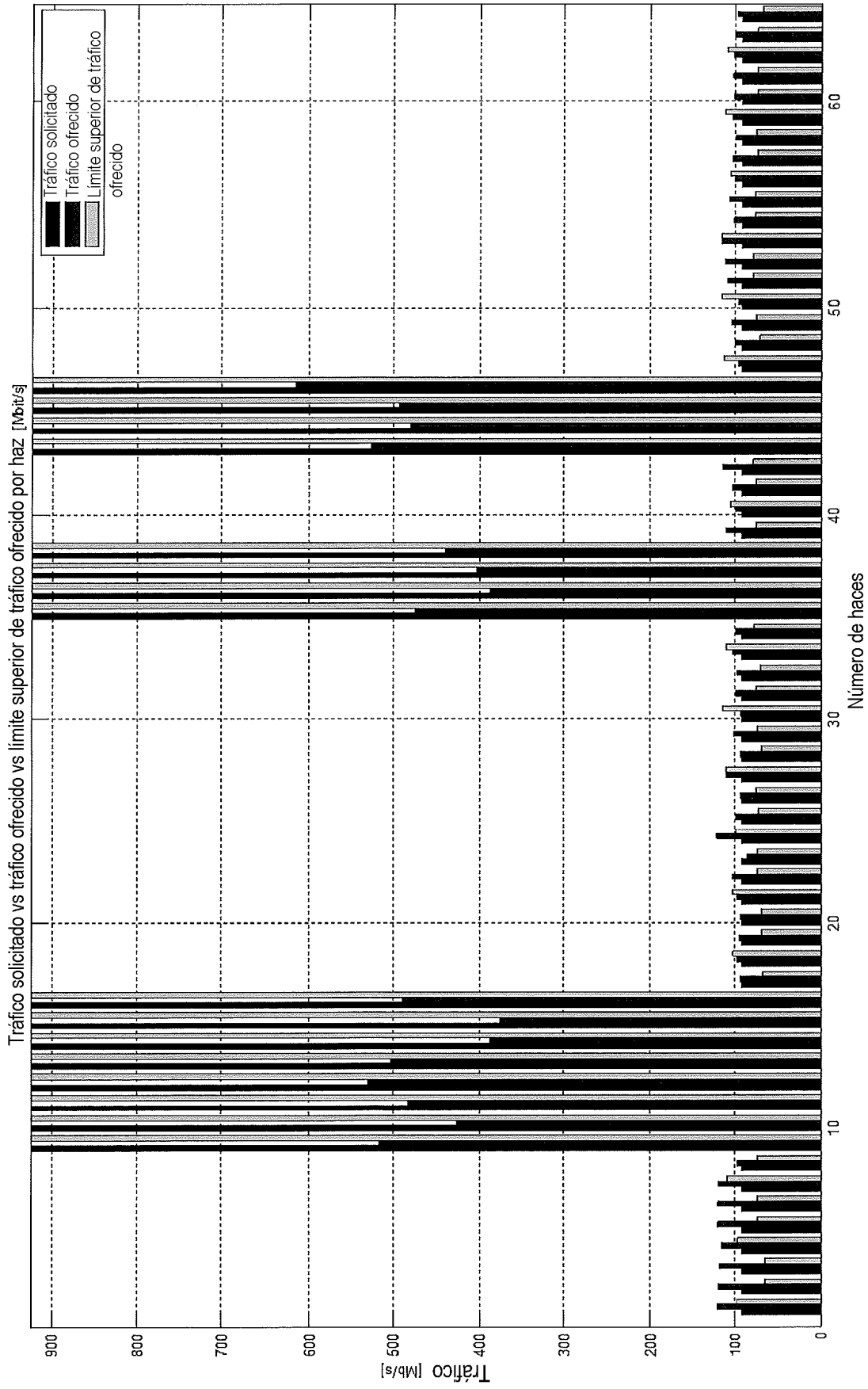


Fig. 13

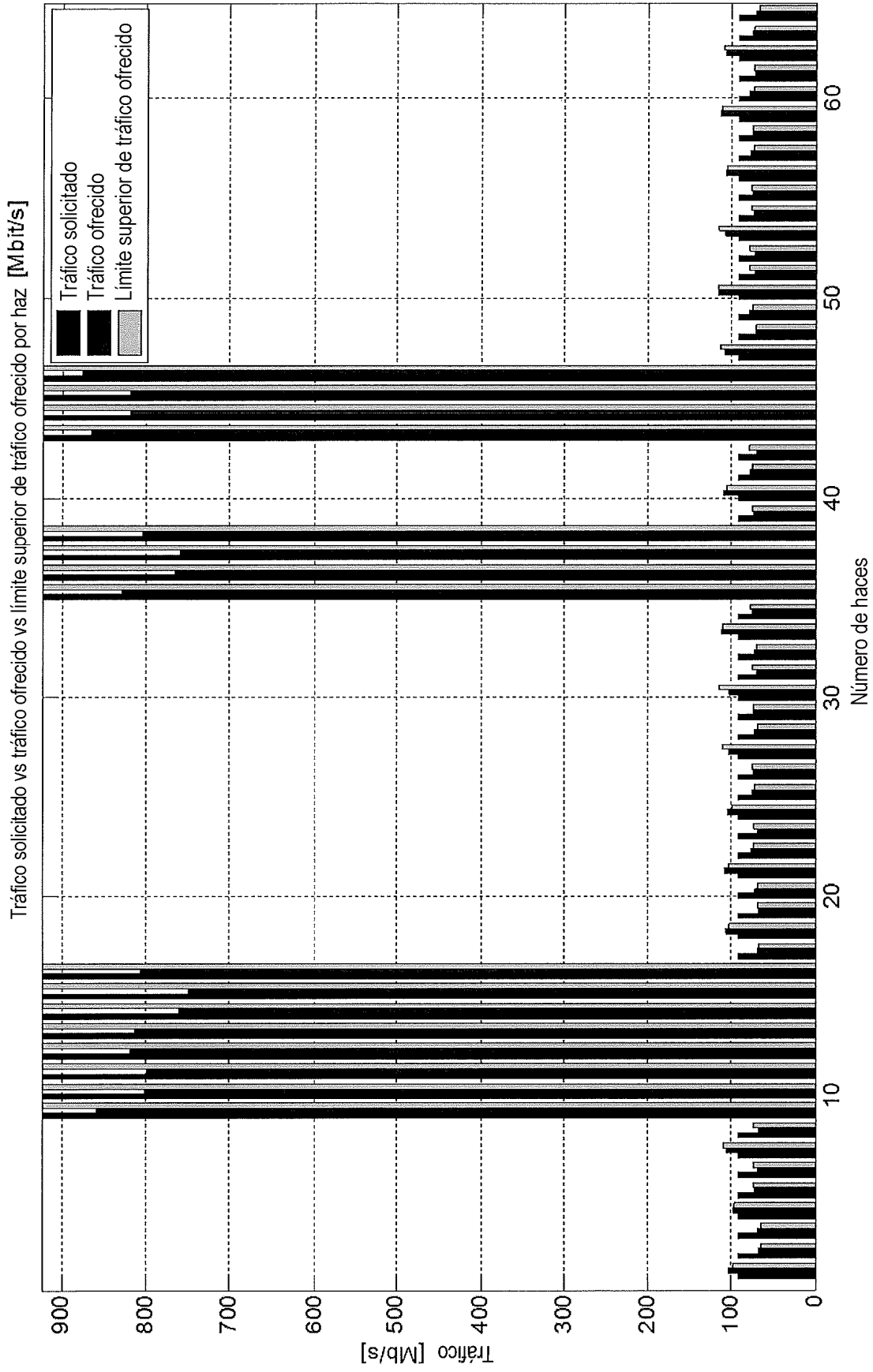


Fig. 14