



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
  
ESPAÑA

① Número de publicación: **2 332 077**

② Número de solicitud: 200702496

⑤ Int. Cl.:  
**H04B 7/185** (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **21.09.2007**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **25.01.2010**

⑭ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:  
**25.01.2010**

⑦ Solicitante/s: **FUNDACIÓ PRIVADA CENTRE  
TECNOLÒGIC DE TELECOMUNICACIONS DE  
CATALUNYA**  
**Parc Mediterrani de la Tecnologia**  
**Avda. Canal Olímpic, s/n**  
**08860 Castelldefels, Barcelona, ES**

⑧ Inventor/es: **Zorba Barah, Nizar;**  
**Realp Campalans, Marc y**  
**Pérez-Neira, Ana Isabel**

⑨ Agente: **Carpintero López, Francisco**

⑮ Título: **Técnicas de conformación de haz para comunicaciones vía satélite de banda ancha.**

⑯ Resumen:

Técnicas de conformación de haz para comunicaciones vía satélite de banda ancha.

Un procedimiento para asignar un esquema precodificado de formación de haces en un sistema vía satélite de banda ancha, en el que el mencionado sistema vía satélite de banda ancha comprende un satélite multihaz (1) que tiene una pluralidad de antenas y una pluralidad de haces de satélite, una pasarela (2) y un número N de terminales de satélite (ST<sub>11</sub>, ST<sub>12</sub>... ST<sub>21</sub>, ST<sub>22</sub>, ST<sub>23</sub>... ST<sub>K1</sub>, ST<sub>K2</sub>...), y en el que la mencionada pasarela (2) está configurada para procesar y para dar servicio a una pluralidad de K haces de la mencionada pluralidad de haces de satélite dirigidos hacia el mencionado número N de terminales de satélite (ST<sub>11</sub>, ST<sub>12</sub>... ST<sub>21</sub>, ST<sub>22</sub>, ST<sub>23</sub>... ST<sub>K1</sub>, ST<sub>K2</sub>...), en el que  $K < N$ , y en el que la mencionada asignación de un esquema precodificado de formación de haces comprende un procesado conjunto sobre la mencionada pluralidad de K haces. El mencionado esquema precodificado de formación de haces depende de: el diagrama de radiación de las mencionadas antenas del satélite; de las características de canal de línea de visión y de la diversidad multiusuario provocada por el mencionado número N de terminales de satélite (ST<sub>11</sub>, ST<sub>12</sub>... ST<sub>21</sub>, ST<sub>22</sub>, ST<sub>23</sub>... ST<sub>K1</sub>, ST<sub>K2</sub>...). Una pasarela y un sistema vía satélite. Programa de ordenador.

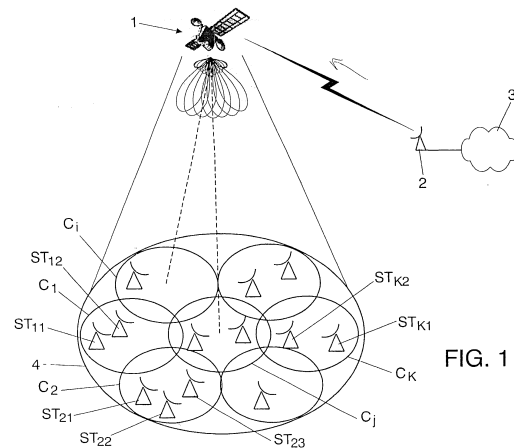


FIG. 1

ES 2 332 077 A1

## DESCRIPCIÓN

Técnicas de conformación de haz para comunicaciones vía satélite de banda ancha.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a las comunicaciones vía satélite de banda ancha y, de manera más precisa, a técnicas de conformación de haz para comunicaciones vía satélite de banda ancha.

10 **Estado de la técnica**

Durante los últimos veinte años, las inversiones en comunicaciones vía satélite se han centrado en la expansión de la señal de satélite a vastas áreas terrestres, en reducir el precio del satélite y los receptores y en reducir la interferencia. Los servicios típicos de satélite no sufren de una limitación sustancial en la tasa de transmisión (tasa de bit). Sin embargo, en la actualidad existe una necesidad de usar aplicaciones digitales avanzadas vía satélite, lo que implica una necesidad de aumentar la capacidad de la tasa de bit del canal de satélite. Posibles propuestas para explotar el canal de satélite son la codificación y la modulación adaptativas (cuya incorporación en el estándar DVB-S2 se encuentra bajo discusión), MIMO, selección oportunista o comunicaciones cooperativas. Algunas de estas propuestas se presentan a continuación.

La tecnología multiusuario de múltiple entrada - múltiple salida (MIMO) se destaca como una de las principales técnicas para mejorar el funcionamiento de las comunicaciones inalámbricas, siendo recientemente propuesta para IEEE 802.11n, IEEE 802.16e y UMTS-HSDPA. Esta tecnología proporciona una gran tasa de transmisión a la vez que usa la misma cantidad de espectro y de potencia, gracias a sus capacidades de multiplexación espacial.

Existe un interés emergente en aplicar a las redes de satélite los buenos resultados obtenidos por las técnicas MIMO en sistemas inalámbricos terrestres.

Como se presenta en el documento de Konstantinos P. Lionis y colaboradores titulado "Comunicaciones MIMO Multi-Satélite en la banda Ku y bandas superiores: Investigaciones sobre multiplexación espacial para la mejora de la capacidad y diversidad de selección para la mitigación de la interferencia", Hindawi Publishing Corporation, Diario EURASIP sobre Comunicaciones y Redes Inalámbricas, Volumen 2007, uno de los problemas fundamentales en los sistemas de satélite para poder aplicar las técnicas de Múltiple Entrada - Múltiple Salida (MIMO) se refiere a la dificultad para generar perfiles de desvanecimiento completamente independientes en el segmento satelital. La colocación de múltiples antenas en un único satélite no parece que sea una opción válida con el fin de explotar las capacidades del canal MIMO. De hecho, la ausencia de dispersiones en las cercanías del satélite conduce a una deficiencia de rango inherente de la matriz del canal MIMO. En otras palabras, debido a la fuerte Línea de Visión (en inglés, "Line of Sight", LOS), la matriz del canal de satélite MIMO tiene un rango cercano a uno.

Por lo tanto, parece que la aplicación de las técnicas MIMO al segmento de comunicaciones vía satélite es poco provechosa; una cuestión que explica la casi inexistente literatura acerca de MIMO para las comunicaciones vía satélite.

Por otra parte, varias propuestas han considerado el uso de conocimiento de canal con el fin de seleccionar el mejor haz de satélite en las comunicaciones vía satélite. Por ejemplo, la solicitud de Patente US2004/0100941 describe un procedimiento de transmisión adaptativo de paquetes en un sistema de comunicaciones móviles celular que usa un satélite multihaz, en el que se hace una selección del mejor haz del satélite. Sin embargo, en este procedimiento, no se extraen las capacidades de multiplexación espacial del sistema.

La aplicación de MIMO requiere de más de un trayecto para hacer que la información alcance un Terminal de Satélite (ST) que se encuentre en tierra. Sin embargo, los sistemas comerciales actuales están destinados a crear un único trayecto de comunicación para entregar la información a cada uno de los ST, haciendo uso de planificación de frecuencias y/o haces de satélite más directivos, para evitar la interferencia entre los ST a los que se da servicio. De esta forma, a través de una filosofía diferente para la transmisión, se obtiene un escenario alternativo cuando se reduce a uno la reutilización de frecuencia (factor de reutilización = 1) y la información a un terminal de satélite se entrega a través de múltiples haces de manera simultánea.

En ese caso, debido al solapamiento parcial de los haces del satélite, un ST puede recibir señales procedentes de varios haces de satélite. Por lo tanto, se pueden obtener los canales MIMO si se lleva a cabo un procesamiento conjunto sobre todos los haces. L. Cottatellucci y colaboradores, en el documento titulado "Técnicas de mitigación de la interferencia para sistemas de satélite de banda ancha", 24ª Conferencia Internacional de la AIAA sobre Sistemas de Comunicaciones vía satélite, San Diego - E.E.U.U., de junio de 2006, se ha enfrentado al problema del procesamiento conjunto sobre las señales multihaz en una pasarela, explotando la multiplexación espacial que se hace posible por medio de la cobertura supuesta de satélite multihaz. Se propone usar una técnica de precodificación lineal basada en el Mínimo Error Cuadrático Medio (MMSE) para aumentar la capacidad del sistema en el enlace directo (FL). Esta técnica de precodificación lineal implica una selección aleatoria de usuarios (terminales de satélite). De manera más precisa, esta técnica selecciona de manera aleatoria un usuario por haz. Para el funcionamiento de este esquema, se requiere un conocimiento completo del canal (módulo + fase). Como el conocimiento completo del canal visto por

todos los usuarios es impracticable, se lleva a cabo una selección aleatoria de usuarios. Una vez que se ha hecho esta selección aleatoria de usuarios, se aplica la técnica de precodificación de Mínimo Error Cuadrático Medio (MMSE).

5 Sin embargo, mediante la aplicación de una selección aleatoria no se logra sacar el mayor partido a las capacidades del sistema, ya que en muchas situaciones, el usuario seleccionado de manera aleatoria no es el mejor, sino simplemente el que se ha elegido de manera aleatoria. Esto implica un uso no eficiente de los recursos del sistema, para compensar las características posiblemente no tan buenas del canal debido al proceso de selección aleatorio.

## 10 Sumario de la invención

10 La presente invención está dirigida a resolver los problemas anteriormente mencionados por medio de un procedimiento de asignación de ganancia de precodificación que optimiza las características del escenario satelital y la diversidad multiusuario, proporcionando un alto rendimiento del sistema a la vez que se requiere un diseño de baja complejidad. El procedimiento actual aplica técnicas MIMO al segmento de usuario del enlace directo (FL) en un sistema vía satélite bajo el control de una única pasarela (en inglés, "gateway") terrestre. Un planificador (en inglés, "scheduler") en la pasarela ejecuta una técnica de conformación de haz oportunista multihaz (MOB), en la que el diagrama de radiación de las antenas del satélite, la información de la Línea de Visión de canal (LOS) y la diversidad multiusuario están incorporadas en el proceso de diseño precodificador.

20 El gran número de usuarios o ST disponibles en un escenario satelital permite la posibilidad de obtener una ganancia multiusuario (a través de la aplicación de las técnicas de transmisión MIMO multiusuario). El esquema de conformación de haz oportunista multihaz presenta varias ventajas, tales como su diseño de baja complejidad, su alto rendimiento del sistema, el proceso de selección de los usuarios y su aplicación no solamente en sistemas con conocimiento completo del canal, sino también a sistemas con un conocimiento parcial del canal.

25 Es un objetivo principal de la presente invención proporcionar un procedimiento para asignar un esquema de conformación de haz con precodificación en un sistema vía satélite de banda ancha, en el que el sistema vía satélite de banda ancha comprende un satélite multihaz que tiene una pluralidad de antenas y una pluralidad de haces de satélite, una pasarela y un número  $N$  de terminales de satélite, y en el que la pasarela está configurada para procesar y para dar servicio a una pluralidad de  $K$  haces de esa pluralidad de haces de satélite que van dirigidos hacia ese número  $N$  de terminales de satélite, en donde  $K < N$ , y en el que esa asignación de un esquema precodificado de formación de haces comprende un procesado conjunto sobre esa pluralidad de  $K$  haces. Ese esquema precodificado de formación de haces depende: del diagrama de radiación de las antenas del satélite; de las características de línea de visión del canal y de la diversidad multiusuario provocada por ese número  $N$  de terminales de satélite.

35 En particular, esa dependencia del esquema precodificado de formación de haces de la diversidad multiusuario comprende una selección de  $K$  terminales de satélite entre ese número  $N$  de terminales de satélite, en donde  $K < N$ , donde esos  $K$  terminales de satélite seleccionados tienen la mejor relación señal a ruido o la mejor relación señal a ruido más interferencia.

40 Esa selección de  $K$  terminales de satélite se lleva a cabo de acuerdo con los siguientes pasos: dividir el área en la que está localizado el número  $N$  de terminales de satélite en un número  $K$  de celdas, cada una de ellas comprendiendo al menos un terminal de satélite; en cada una de las celdas, seleccionar un terminal de satélite correspondiente al mejor valor de la relación señal a ruido o de la relación señal a ruido más interferencia.

45 Ese procesado conjunto y la selección de  $K$  terminales de satélite sobre la pluralidad de  $K$  haces, se lleva a cabo siguiendo los pasos de: generar un primer vector de precodificación y transmitirlo hacia una primera celda desde el satélite, en el que el primer vector de precodificación se construye a partir de la información del diagrama de radiación de las antenas del satélite, ese vector de precodificación siendo un vector  $K \times 1$  y que comprende la contribución de cada uno de los  $K$  haces sobre esa primera celda; la realimentación al satélite de una relación señal a ruido medida por cada uno de los terminales de satélite en la celda; en el lado del satélite, seleccionar un terminal de satélite dentro de la mencionada celda que tenga la mejor relación señal a ruido y solicitar que el mencionado terminal de satélite seleccionado envíe sus características de canal; construcción de vectores de precodificación posteriores, selección de los terminales de satélite que tengan la mejor relación señal a ruido más interferencia dentro de las celdas correspondientes y solicitar a cada uno de los mencionados terminales de satélite seleccionados que envíen sus características de canal, siendo cada vector de precodificación posterior dependiente de la información del diagrama de radiación de las mencionadas antenas del satélite y de las características de canal de los terminales de satélite anteriormente seleccionados, siendo el vector de precodificación un vector  $K \times 1$  y comprendiendo la contribución de cada uno de los mencionados  $K$  haces sobre una celda correspondiente; la construcción de una matriz de precodificación que tenga un tamaño de  $K \times K$ , en la que las  $K$  columnas de la mencionada matriz de precodificación son los  $K$  vectores de precodificación anteriormente construidos.

50 Ese primer vector de precodificación es el resultado de normalizar en potencia un primer vector que comprenda  $K$  contribuciones de potencia correspondientes a los mencionados haces de satélite dirigidos hacia la mencionada celda, y en la que dichos vectores de precodificación posteriores son el resultado de normalizar en potencia un vector correspondiente que comprenda  $K$  contribuciones de potencia correspondientes a  $K$  haces de satélite hacia una celda.

Ese vector de precodificación posterior depende de una matriz de bloqueo que tiene un tamaño  $K \times p$ .

Las características de canal comprenden tanto la información de amplitud como la información de fase.

5 De manera alternativa, el procesado conjunto sobre la mencionada pluralidad de  $K$  haces se lleva a cabo siguiendo los pasos de: construir un primer vector de precodificación, en el que el mencionado primer vector de precodificación se construye a partir de la información del diagrama de radiación de las mencionadas antenas del satélite, siendo el mencionado vector de precodificación un vector  $K \times 1$  y comprendiendo el mencionado vector de precodificación la contribución de cada uno de los mencionados  $K$  haces sobre la mencionada primera celda; la construcción de  $K-1$   
10 vectores de precodificación posteriores, cada uno de ellos teniendo un tamaño  $K \times 1$ , cada vector de precodificación posterior siendo dependiente de la información del diagrama de radiación, de las mencionadas antenas del satélite y de los vectores de precodificación anteriormente construidos y dicho vector de precodificación comprendiendo la contribución de cada una de los mencionados  $K$  haces sobre una celda correspondiente; la construcción de una matriz de precodificación que tenga un tamaño  $K \times K$ , en la que las  $K$  columnas de la mencionada matriz de precodificación son los  $K$  vectores de precodificación anteriormente construidos.  
15

Ese vector de precodificación posterior depende de una matriz de bloqueo.

20 Este procedimiento incluye de manera adicional: la transmisión de la mencionada matriz de precodificación hacia la mencionada área; en cada celda, la realimentación al mencionado satélite de una relación de señal a ruido más interferencia medida por cada uno de los terminales de satélite en la mencionada celda; la selección de un terminal de satélite por celda, teniendo los mencionados terminales de satélite seleccionados la mejor relación de señal a ruido más interferencia dentro de las correspondientes celdas.

25 Además, la presente invención proporciona un procedimiento para la transmisión simultánea de datos a  $K$  terminales de satélite en un sistema vía satélite de banda ancha, donde dicho sistema vía satélite de banda ancha comprende un satélite y un número  $N$  de terminales de satélite en el que, antes de comenzar la mencionada transmisión simultánea de datos a los  $K$  terminales de satélite, el procedimiento comprende el paso de: asignar un esquema precodificado de formación de haces y seleccionar un grupo de  $K$  terminales de satélite de acuerdo con el procedimiento anteriormente descrito.  
30

Otro objeto de la presente invención es proporcionar una pasarela que comprenda un medio adaptado para llevar a cabo los pasos del procedimiento anterior.

35 Finalmente, es otro objetivo de la presente invención proporcionar un programa de ordenador que comprende un medio de código de programa de ordenador adaptado para realizar los pasos del procedimiento mencionado cuando el programa se ejecute en un ordenador, un procesador digital de la señal, una matriz de puertas programable, un circuito integrado específico de la aplicación, un microprocesador, un microcontrolador, o cualquier otra forma de hardware programable.  
40

Las ventajas de la invención propuesta serán obvias en la siguiente descripción.

### Breve descripción de los dibujos

45 Para completar la descripción y con el fin de proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman una parte integral de la descripción e ilustran una realización preferida de la invención, que no se debería interpretar como restrictiva para el alcance de la invención, sino solamente como un ejemplo de cómo se puede realizar la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

50 La figura 1 muestra un sistema vía satélite de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 2 muestra un diagrama de radiación de las antenas del satélite de acuerdo con la presente invención.

55 La figura 3 muestra un esquema que representa un cálculo de un ángulo de radiación de acuerdo con la presente invención.

### Descripción de las realizaciones preferidas de la invención

#### Definiciones

60 En el contexto de la presente invención, se deberían considerar las siguientes definiciones:

La expresión “enlace directo” se refiere a un enlace vía satélite de retransmisión de comunicaciones desde una localización fija (por ejemplo, una pasarela) a un usuario. Dicho enlace comprende tanto un enlace ascendente (pasarela a satélite) como un enlace descendente (satélite a usuario). El término general “usuario” se refiere tanto a usuarios móviles (tales como terminales móviles) como a usuarios fijos (tales como un terminal de satélite).  
65

La expresión “terminal de satélite” se refiere a los terminales terrestres, colocados en la Tierra, que se comunican con un cierto satélite. La figura 1 muestra una pluralidad de terminales de satélite  $ST_1, ST_2, \dots$ , a los que da servicio el satélite 1. En el contexto de la presente invención, no referimos a “usuarios” como un sinónimo de “terminales de satélite”.

5

El término “MIMO” en expresiones tales como “escenarios de satélite MIMO”, “precodificación MIMO” o “procesado MIMO” se refiere a situaciones en las que se consideran una pluralidad de señales de entrada y una pluralidad de señales de salida con el fin de llevar a cabo una cierta actividad, tal como una precodificación o procesamiento. Estas múltiples entradas y múltiples salidas se refieren a múltiples haces de satélite focalizados hacia múltiples terminales de satélite o hacia múltiples celdas.

10

El término “transmisión” y sus derivados (transmitir, ...), referidos a un vector de precodificación o a una matriz de precodificación, se debe interpretar como la transmisión conjunta de dicho vector o matriz y un vector de datos.

15

En este texto, el término “comprende” y sus derivados (tales como “comprendiendo”, etc.) no se deben entender en un sentido excluyente, esto es, estos términos no se deben interpretar como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y se define pueda incluir elementos, pasos, etc. adicionales.

Finalmente, el operador  $(\square)^H$  denota la transposición hermítica de una matriz.

20

### Descripción de las realizaciones preferidas

La figura 1 es una representación esquemática de un enlace directo entre una pasarela, un satélite y una pluralidad de terminales de satélite que se encuentran en la Tierra. La figura 1 muestra un satélite 1, una pluralidad de terminales de satélite  $ST_{11}, ST_{12}, \dots, ST_{21}, ST_{22}, ST_{23}, \dots, ST_{K1}, ST_{K2}, \dots$  localizados sobre la Tierra, y una pasarela 2. El número total de terminales de satélite es  $N$ . La pasarela 2, que es una estación de control situada en la Tierra, está al cargo del procesado, codificación, programación, etc. de las señales de satélite. El satélite 1, situado en el espacio, recibe una señal enviada por la pasarela 2 y la envía hacia la Tierra (hacia los terminales de satélite). En otras palabras, el satélite 1 actúa como un repetidor. De esta manera, la inteligencia del sistema permanece en la pasarela 2. La pasarela 2 está conectada a una red terrestre 3. Esta configuración de satélite - pasarela corresponde a las limitaciones tecnológicas actuales, en el sentido de que los satélites actuales actúan mayormente como repetidores, mientras que la capacidad de procesado recae en una pasarela. Sin embargo, un experto en la materia comprenderá que esta configuración puede evolucionar a situaciones en las que el satélite comprenda parte o toda la inteligencia del sistema. Esta variación está obviamente comprendida dentro del alcance de la invención.

35

En un proceso de comunicaciones vía satélite, varios haces de información independientes se generan físicamente en el satélite para dar servicio a varias localizaciones geográficas sobre la Tierra. Generalmente, un único satélite está controlado por varias pasarelas, cada una de las cuales controla un grupo de esos haces de información. Como ejemplo, un satélite puede generar de manera comercial y llevar hasta 106 haces de satélite al mismo tiempo, mientras que cada una de las pasarelas está generalmente diseñada para controlar la información de unos 7 haces de satélite. De esta manera, una pasarela puede estar diseñada para gestionar la información de satélite transmitida sobre una cierta área.

40

En la figura 1, se generan  $K$  haces de satélite para cubrir una cierta área 4. Estos  $K$  haces están controlados por medio de una única pasarela terrestre 2.

45

En una realización preferida, el área 4 está dividida en  $M$  celdas  $C_1, C_2, \dots, C_M$ , cada una de ellas comprendiendo uno o más terminales de satélite  $ST_{11}, ST_{12}, \dots, ST_{21}, ST_{22}, ST_{23}, \dots, ST_{M1}, ST_{M2}, \dots$ . Como ya se ha dicho, existe un total de  $N$  terminales de satélite. El número de celdas  $M$  es igual o mayor que el número de haces de satélite  $K$  ( $M \geq K$ ). De manera preferible,  $M = K$ , lo que significa que el sistema proporciona un haz de satélite por cada una de las celdas  $C_i$ . De manera alternativa,  $M > K$ , en cuya situación el sistema inhabilita de manera temporal un número  $M - K$  de celdas, con el fin de tener el mismo número de haces de satélite que celdas habilitadas.

50

En una realización alternativa, el área 4 está formada por una única celda que comprende la cantidad completa de  $N$  terminales de satélite  $ST_{11}, ST_{12}, \dots, ST_{21}, ST_{22}, ST_{23}, \dots, ST_{K1}, ST_{K2}, \dots$ . Se da servicio a toda la celda en su totalidad por medio de  $K$  haces de satélite.

55

Por razones de simplicidad, la siguiente descripción considera  $K$  haces de satélite dirigidos hacia un área 4 que está dividida en  $M$  celdas, en la que  $M = K$ .

60

Con el fin de llevar a cabo el procedimiento de la invención, se necesita definir un escenario de satélite MIMO. Esto se representa en la figura 1. Una vez definido este escenario, se necesita establecer un esquema de precodificación de ganancia. Este esquema de precodificación de ganancia depende de la diversidad multiusuario provocada por los  $N$  terminales de satélite. Se ha de hacer notar que el requisito de técnicas de transmisión de baja complejidad para su aplicación en sistemas comerciales restringe la elección del mencionado esquema de precodificación a esquemas de baja complejidad.

65

El procesado conjunto del procedimiento de la invención también depende de las características del canal. Se hace la observación de que, mientras el procesado descrito por L. Cottatellucci, y colaboradores (véase la remisión en el

“Estado de la Técnica”) tiene en consideración al canal, no explota sus características específicas. Su esquema es el mismo que el esquema de las comunicaciones terrestres, sin consideraciones específicas para los sistemas vía satélite.

Las características del canal de satélite dependen de la línea de visión (LOS). El área de cobertura de un haz de satélite está relacionada con el diagrama de radiación de las antenas del satélite usadas para generar dicho haz de satélite. En la presente invención, se considera una única antena receptora por terminal de satélite, ya que tener más de una antena por terminal de satélite no es beneficioso para él sistema (es decir, no se pueden distinguir y de esta manera se ven como una única antena de recepción). La figura 2 muestra un ejemplo del diagrama de radiación correspondiente a un único haz en el satélite 1. El eje horizontal (eje X) representa el ángulo de radiación  $\theta$  (en grados °) y el eje vertical (eje Y) representa la atenuación (dB). La potencia radiada está normalizada a 1 vatio, y por lo tanto en el centro del haz (ángulo cero (0°)) la potencia es de 0 dB.

Se aplica un diagrama de radiación similar a cada haz de satélite. Sin embargo, la potencia radiada proveniente de un haz  $i$  también es recibida en todas las demás K-1 celdas  $C_1, C_2, \dots, C_{i-1}, C_{i+1}, \dots, C_K$  del área 4, con un nivel de potencia que corresponde a la posición relativa de las celdas. En la pasarela 2, los diagramas de radiación de las antenas de satélite son conocidos y por lo tanto, se puede calcular el nivel de potencia radiada de cada haz de satélite hacia las localizaciones físicas sobre la Tierra.

En la figura 3 se ilustra el valor del nivel de potencia radiada desde un haz de satélite en una cierta localización sobre la Tierra. Se obtiene mediante el cálculo del ángulo de radiación  $\theta$  en el que se ilumina una localización en tierra (por ejemplo, un terminal de satélite  $ST_{it}$ ) por medio de un haz. La figura 3 se refiere a la relación trigonométrica entre una localización en tierra (terminal de satélite  $ST_{it}$ , localizado dentro de la celda  $C_i$ ) y el ángulo de radiación del haz  $\theta$  (desde un haz focalizado hacia la celda  $C_i$ ). La influencia de ese haz sobre otras localizaciones en otras celdas se puede deducir de manera trigonométrica de la siguiente manera:  $\theta = \arcsen(r/d)$ , donde “d” es la distancia desde el satélite 1 a la localización  $ST_{it}$ , “r” es la distancia desde la mencionada localización  $ST_{it}$  a la localización a la que el haz está focalizado y  $\theta$  es el ángulo de radiación. Este ángulo de radiación  $\theta$  se ilustra en la figura 2. Los criterios seguidos para elegir el punto preciso en la celda  $C_i$  en la que se focaliza el haz están fuera del marco de la presente invención. Es competencia del proveedor o del diseñador del sistema. Por lo tanto, con el ángulo de radiación calculado  $\theta$  y el diagrama de radiación de las antenas (que es conocido) correspondiente a ese ángulo de radiación  $\theta$ , es posible conocer el nivel de potencia radiada desde cada uno de los haces de en cada localización en tierra  $ST_{ct}$  (donde “c” indica la celda y “t” indica el terminal de satélite dentro de la celda “c”). De esta manera, la información del nivel de potencia radiada se obtiene en la pasarela 2 sin ningún proceso de entrenamiento.

Los haces de satélite están diseñados de acuerdo con una función de radiación predefinida. Ejemplos no limitadores de funciones de radiación son las funciones de Bessel. En la figura 2 se muestra una de estas funciones de Bessel. De acuerdo con esta función de radiación predefinida, la pasarela 2 conoce por adelantado el diagrama de radiación. Por ejemplo, como se ilustra en la figura 2, si se inyecta una potencia de 1 vatio a un haz, entonces se emite una potencia de 0 dB en el ángulo cero (0°). De manera similar, dicha potencia inyectada de 0 dB implica una potencia de aproximadamente -45 dB en el ángulo igual a 10°.

De esta manera, es posible calcular la influencia (en términos de potencia) que tiene un haz emitido hacia un punto dentro de una celda  $C_i$  sobre cualquier punto dentro de una celda diferente  $C_j$ . Esto es debido al hecho de que las características del canal de satélite permiten a las señales viajar sin reflexiones y multitrayecto de la señal, o en otras palabras, con Línea de Visión (LOS). Bajo estas condiciones, es posible precalcular la potencia que llega a un cierto destino (teniendo en cuenta, por supuesto, otros parámetros, tales como las pérdidas de trayecto, la eficiencia del receptor, etc.). Esto no ocurre en sistemas terrestres debido a las reflexiones de la señal y al multitrayecto. Por otra parte, un terminal de satélite tiene las mismas características de canal con respecto a todos los haces de satélite diferentes; solamente el nivel de potencia recibido varía de un haz a otro. En otras palabras, la gran distancia (en el orden de varios miles de km) entre un satélite y un terminal de satélite hace que las características de canal vistas desde una cierta localización o terminal de satélite  $ST_{ct}$  respecto a todos los haces de satélite sean las mismas.

Usando el algoritmo trigonométrico propuesto, se puede determinar la potencia recibida en una localización en tierra desde cada uno de los haces de satélite. Por lo tanto, el generar vectores de precodificación de una manera tal que se explote la información relativa a los diagramas de radiación de las antenas es de una gran ayuda para aumentar el rendimiento del sistema. Esto no está garantizado si se usan sistemas terrestres convencionales, donde vectores de precodificación no solamente se generen de manera aleatoria, sino que además no tienen en cuenta las características de canal de línea de visión ni el diagrama de radiación de las antenas.

La presente invención se beneficia de la caracterización de canal anteriormente mencionada (Línea de Visión), con el fin de llevar a cabo una precodificación o preprocesado que tenga en cuenta la contribución de señal de cada uno de los haces. La tasa de bit se incrementa de esta manera. Además, la presente invención combina esta información (caracterización de canal) con la diversidad multiusuario para el diseño de una técnica conformadora de haz oportunista, multihaz que obtenga la ganancia multiusuario del escenario.

La generación de precodificador de la presente invención proporciona un diseño y una implementación de baja complejidad. Como una generación de precodificación aleatoria no es un método apropiado con el fin de obtener todos los beneficios del procesado MIMO, mediante la explotación de las características del escenario de comunicaciones

## ES 2 332 077 A1

vía satélite, la generación de precodificación puede sacar beneficio del estado de canal de Línea de Visión (LOS). Por lo tanto, la selección de terminales de satélite está diseñada para que sea oportunistas.

Volviendo de nuevo a la figura 1, se da servicio a una pluralidad de N terminales de satélite por medio de la pasarela 2 a través del satélite 1. Se encuentra disponible un conjunto de K haces. La selección del terminal de satélite al que se va a dar servicio en cada una de las celdas se determina por medio de un planificador en la pasarela 2. Como ya se ha mencionado anteriormente, el área 4 está dividida en K celdas, cada una de ellas teniendo uno o más terminales de satélite.

Cada terminal de satélite en el área 4 recibe un componente de señal desde cada uno de los K haces. La señal recibida en cada terminal de satélite es de esta manera la suma de las K señales recibidas y se puede expresar de la siguiente manera:

15

$$y = \mathbf{h}_i \mathbf{F} \mathbf{s} + z$$

20

en donde:

$\mathbf{s} = (s_1, \dots, s_K)^T$  es un vector de símbolos transmitidos  $K \times 1$ ;

25

y es una cantidad escalar que representa la suma de las K señales recibidas en un terminal de satélite;

z es el ruido recibido;

30

$\mathbf{h}_i$  es el canal  $1 \times K$  del terminal de satélite i-ésimo, donde cada entrada corresponde al canal visto desde el terminal de satélite i-ésimo con respecto a cada uno de los haces, mostrando las mismas características de canal pero con diferentes niveles de potencia recibida. Nótese que el obtener la información de canal  $\mathbf{h}_i$  se encuentra fuera del marco de la presente invención; y

35

F es la matriz de precodificación  $K \times K$  que está a cargo del procesado MIMO llevado de manera simultánea sobre todos los haces. La presente invención proporciona un procedimiento para obtener esta matriz de precodificación. Por lo tanto, F determina cómo se combinan las diferentes componentes del vector de datos s sobre los haces con el fin de optimizar la transmisión. Cada una de las columnas de la matriz F representa el procesado MIMO llevado a cabo sobre cada uno de los haces de satélite.

40

Como ya se ha mencionado con anterioridad, el obtener la información de canal  $\mathbf{h}_i$  se encuentra fuera del alcance de la presente invención.

45

A continuación, se distinguen dos situaciones diferentes, porque la información que se encuentra disponible en el lado del transmisor (es decir, la pasarela) puede ser parcial o total en términos de Información de Estado de Canal (en inglés, "Channel State Information", CSI recibida desde cada terminal de satélite. Nótese que la CSI total para todos los N usuarios no es practicable (de hecho, esto motivó la selección de usuario aleatoria y la precodificación MMSE en Cottatellucci). Por lo tanto, se requiere una cantidad más pequeña de CSI para sistemas prácticos. La CSI parcial es una alternativa atractiva. Cuando se encuentra disponible una CSI parcial, entonces los vectores de precodificación se generan de manera ortogonal para disminuir la interferencia recibida en cada ST. Otra opción es tener una CSI completa sólo de cada uno de los usuarios seleccionados (esta selección se explicará con detalle en la "Situación A"): Cuando está presente la CSI completa, el transmisor (pasarela) lleva a cabo cierto procesado para proporcionar una cancelación de interferencia triangular entre los terminales de satélite a los que se da servicio. De ahora en adelante, CSI "completa" debe interpretarse como CSI completa proveniente solamente de los usuarios seleccionados o de los terminales de satélite seleccionados.

55

El tener CSI completa o parcial depende de la configuración del sistema y de la carga disponible en el canal de realimentación. Si se permite poca realimentación, entonces solamente se realimenta la SNIR (relación señal a ruido más interferencia) (información de canal parcial), mientras que si se permite más realimentación, entonces se habilita una realimentación de canal completa de los terminales de satélite seleccionados.

60

*Situación A - Procedimiento para precodificar cuando hay información completa del estado de canal en el lado del transmisor*

65

En este caso, se da servicio a un único terminal de satélite por haz en cada instante de tiempo.

Primero, se desea que un primer vector  $\mathbf{b}_1$  apunte hacia una celda  $C_1$  incluida en el área 4. Dicho punto se elige de acuerdo con el diagrama de radiación conocido por el planificador de la pasarela 2 (explicado con referencia a las

## ES 2 332 077 A1

figuras 2 y 3). La Densidad Espacial de Potencia (SPD) (nivel recibido de potencia) recibida en todos los terminales de satélite de la celda  $C_1$  desde cada uno de los  $K$  haces es conocida por la pasarela 2, a través del cálculo propuesto con relación a la figura 3. Por lo tanto, la pasarela 2 conoce por adelantado la potencia promedio (en módulo) que recibe un terminal de satélite localizado en la celda  $C_1$  desde cada uno de los  $K$  haces. Sin embargo, la fase recibida desde cada uno de los haces es desconocida. De esta manera, se genera un primer vector de precodificación para que sea transmitido hacia la celda  $C_1$ .  $b_1$  es un vector que tiene el tamaño  $K \times 1$ . El módulo de cada uno de los  $K$  elementos de este vector  $b_1$  se toma directamente de la SPD, aplicando la ya mencionada fórmula  $\theta = \arcsen(r/d)$ , mientras que la fase de cada elemento se genera de manera aleatoria. Se normaliza en potencia y se transmite como  $f_1$ . De esta manera,  $f_1$  es un vector que tiene un tamaño  $K \times 1$ .

Después, todos los terminales de satélite en el área 4 detectan el vector de precodificación  $f_1$  y miden la potencia recibida (módulo) de la misma.

A continuación, cada uno de los terminales de satélite  $ST_{11}$ ,  $ST_{12}$ ... de la celda  $C_1$  realimenta al planificador de la pasarela 2 su SNR recibida (relación señal a ruido)  $SNR_{11}$ ,  $SNR_{12}$ ....

Este primer vector de precodificación  $f_1$  forma la primera columna de la matriz de precodificación  $F$ .

El planificador en la pasarela 2 selecciona el terminal de satélite ( $ST_{11}$  o  $ST_{12}$ , si la celda tiene solamente dos terminales de satélite, como se pone como ejemplo en la figura 1) dentro de la celda  $C_1$  con el mejor valor de SNR realimentado. Como el sistema permite información CSI completa proveniente de los usuarios seleccionados a través del enlace de realimentación, la pasarela 2 pide al terminal de satélite seleccionado que realimente su canal al completo (amplitud y fase)  $h_{sel(1)}$ . Nótese que cada terminal de satélite consigue saber su información de canal completa durante una etapa estándar de entrenamiento, lo que se encuentra fuera del alcance de esta invención.  $h_{sel(1)}$  es un vector  $1 \times K$ , cada uno de cuyos elementos comprende módulo y fase.

Para la generación de los restantes vectores de precodificación  $f_2$ ,  $f_3$ , .... el objetivo es reducir tanto como sea posible la interferencia entre haces. Se diseña una matriz de bloqueo para dicho objetivo.

A continuación, se requiere ahora un segundo vector  $f_2$  de precodificación de transmisión. Se desea que  $f_2$  precodifique datos que se vayan a transmitir hacia una segunda celda  $C_2$  incluida en el área 4.  $f_2$  está desarrollado de una manera similar que la del vector de precodificación  $f_1$ : La SPD recibida en la celda  $C_2$  desde cada uno de los  $K$  haces también es conocida, como se ha explicado anteriormente. De nuevo, comenzamos desde un vector inicial  $b_2$ . Como  $b_1$ ,  $b_2$  es un vector que tiene un tamaño  $K \times 1$ . El módulo de cada uno de los  $K$  elementos de este vector  $b_2$  se toma directamente de la SPD, cómo ya se ha explicado, mientras que la fase de cada elemento se genera de manera aleatoria.

Para el diseño de la columna  $f_2$ , se diseña una matriz de bloqueo  $D_2$  que tiene una dimensión  $K \times 2$ . La matriz de bloqueo  $D_2$  tiene una primera columna correspondiente al vector  $b_2$  y una segunda columna correspondiente a un vector  $h_{sel(1)}^H$ :

$$D_2 = [b_2 \quad h_{sel(1)}^H]$$

donde  $h_{sel(1)}$  representa el canal completo (amplitud y fase) del terminal de satélite seleccionado de la celda  $C_1$ .

Una vez que se ha obtenido  $D_2$ , se genera un vector  $f_2$  de precodificación de transmisión normalizado en potencia mediante el uso de la matriz de bloqueo como

$$f_2 = D_2 [D_2^H D_2]^{-1} \mathbf{1}$$

donde  $\mathbf{1}$  es un vector de todos ceros excepto la posición que corresponde al número "p" de una celda correspondiente  $C_p$  (en este caso,  $p = 2$ ).  $f_2$  es un vector normalizado de  $K \times 1$ .

En este caso, el vector de precodificación  $f_2$  es ortogonal al canal del terminal de satélite en la celda  $C_1$ . Entonces, la interferencia en el terminal de satélite seleccionado en la celda  $C_1$  es cero. Como el diseño es secuencial, el usuario seleccionado en  $C_1$  recibe interferencia cero proveniente de  $f_2$ , pero al contrario no ocurre lo mismo. Esto se denomina cancelación triangular de la interferencia.

De esta manera, el terminal de satélite seleccionado en el área de la celda  $C_1$  evita la interferencia proveniente de los haces generados de manera secuencial después de su propio haz (es decir, haces hacia  $C_2$   $C_3$   $C_4$  ...  $C_K$ ).



## ES 2 332 077 A1

A continuación,  $f_2$  se transmite hacia la celda  $C_2$ . Todos los terminales de satélite en el área 4 reciben el vector de precodificación  $f_2$  y miden su potencia recibida a partir del mismo. Los terminales de satélite en la celda  $C_2$  ( $ST_{21}$ ,  $ST_{22}$ ...) realimentan a la pasarela 2 la SNIR recibida ( $SNIR_{21}$ ,  $SNIR_{22}$ ...). Nótese que en el caso de CSI completa proveniente de los terminales de satélite seleccionados, el terminal seleccionado en la celda  $C_1$  recibe potencia cero desde  $f_2$ .

El planificador en la pasarela 2 selecciona el terminal de satélite (entre  $ST_{21}$ ,  $ST_{22}$ ...) con el mejor valor de SNIR realimentado en el área de la celda  $C_2$ . Como la información acerca del canal del usuario seleccionado (terminal de satélite) es completa, el planificador pide al terminal de satélite seleccionado (con la mejor SNIR) que realimente su canal completo (amplitud y fase)  $h_{sel(2)}$ .  $h_{sel(2)}$  es un vector  $1 \times K$ , cada uno de cuyos elementos comprende módulo y fase.

Este proceso se repite de manera secuencial sobre todos los haces que apuntan hacia las restantes celdas ( $C_3$   $C_4$  ...  $C_K$ ).

De esta manera, para la generación del vector de precodificación  $f_3$ , se construye una matriz de bloqueo  $D_3$  de la siguiente manera:

$$D_3 = [b_3 \quad h_{sel(1)}^H \quad h_{sel(2)}^H]$$

en donde  $b_3$  se elige de una manera similar como  $b_1$  y  $b_2$ .

Y se genera un vector  $f_3$  de precodificación de transmisión normalizado en potencia mediante el uso de la matriz de bloqueo como

$$f_3 = D_3 [D_3^H D_3]^{-1} \mathbf{1}$$

donde  $\mathbf{1}$  es un vector de todos ceros excepto la posición que corresponde al número "p" de una celda correspondiente  $C_p$  (en este caso,  $p = 3$ ).  $f_3$  es un vector normalizado de  $K \times 1$ .

Como anteriormente,  $f_3$  se transmite hacia la celda  $C_3$ . Los terminales de satélite en la celda  $C_3$  ( $ST_{31}$ ,  $ST_{32}$ ...) realimentan a la pasarela 2 la SNIR recibida ( $SNIR_{31}$ ,  $SNIR_{32}$ ...). Nótese que en el caso de CSI completa proveniente de los terminales de satélite seleccionados, el terminal seleccionado en la celda  $C_1$  y el terminal correspondiente en la celda  $C_2$  reciben potencia cero de  $f_3$ .

El planificador en la pasarela 2 selecciona el terminal de satélite (entre  $ST_{31}$ ,  $ST_{32}$ ...) con el mejor valor de SNIR realimentado en el área de la celda  $C_3$ . El planificador pide al terminal de satélite seleccionado (con mejor SNIR) que realimente su canal completo (amplitud y fase)  $h_{sel(3)}$ .  $h_{sel(3)}$  es de nuevo un vector  $1 \times K$ .

Para la generación de las restantes columnas  $f_4$ ...  $f_K$ , y para la selección de los mejores terminales de satélite dentro de las celdas restantes, se construyen nuevas matrices de bloqueo  $D_4$  ...  $D_K$  de una manera similar. De esta forma, para  $p=4, 5$ ...  $K$ , una matriz  $D_p$  toma la forma de:

$$D_p = [b_p \quad h_{sel(1)}^H \quad h_{sel(2)}^H \quad \dots \quad h_{sel(p-1)}^H]$$

teniendo  $K$  filas y  $p$  columnas.

De esta forma, el terminal de satélite seleccionado en el área de celda  $C_p$  evita la interferencia proveniente de los vectores de precodificación generados de manera secuencial después de su propio vector de precodificación. En este caso, el vector de precodificación  $f_p$  es ortogonal al canal del terminal de satélite en los vectores de precodificación  $f_1$ ...  $f_{p-1}$ .

## ES 2 332 077 A1

Una vez que se obtiene la matriz  $D_p$ , se genera un vector de precodificación de transmisión normalizado de potencia  $f_p$  mediante el uso de la matriz de bloqueo como

5

$$\mathbf{f}_p = D_p [D_p^H D_p]^{-1} \mathbf{1}$$

10 donde de nuevo  $\mathbf{1}$  es un vector de todos ceros excepto la posición que corresponde al número “p” de una celda correspondiente  $C_p$  (en este caso, es la posición p).  $f_p$  es un vector normalizado de  $K \times 1$ .

15 Como se puede apreciar, en el caso de CSI completa proveniente de usuarios seleccionados, la cancelación de la interferencia a los vectores de precodificación anteriormente configurados, hace que el usuario en  $C_1$  evite la recepción de interferencias, mientras que el usuario en  $C_2$  recibe interferencias solamente provenientes del vector de precodificación transmitido hacia  $C_1$ , y evita la interferencia de los otros vectores de precodificación (hacia  $C_3 C_4 \dots$ ). El orden de la precodificación es muy importante en este proceso triangular de cancelación de la interferencia.

20 De esta forma, se forma una matriz  $F$  que tiene  $K \times K$ .

Se conserva la ganancia de diversidad multiusuario en el sistema porque la fase recibida por cada terminal de satélite es diferente y la generación de fase en el propio vector de precodificación es aleatoria.

25 Una vez que se ha construido la matriz  $F$  y seleccionado los mejores usuarios (terminales de satélite), se puede iniciar una transmisión de datos, en la que se da servicio a  $K$  usuarios de manera simultánea.

*B - Procedimiento para precodificar cuando hay información del estado de canal parcial en el lado del transmisor*

30 En este caso, la generación de vectores de precodificación  $f_1, f_2 \dots f_K$  se hace de manera secuencial. Sin embargo, no se transmiten hacia las celdas respectivas hasta que se construya la matriz completa  $F$ . Esto significa que los mejores terminales de satélite no se seleccionan de manera secuencial. Por el contrario, los  $K$  terminales de satélite seleccionados (uno por celda) se seleccionan de manera simultánea una vez que se ha construido la matriz  $F$  y se ha enviado por medio de cualquier esquema de acceso múltiple. Esto tiene la ventaja de reducir el tiempo dedicado a la inicialización de la transmisión. Esto se explica a continuación.

35 Como en la situación A, se selecciona de la SPD un vector  $b_1$  que tenga un tamaño  $K \times 1$ .  $b_1$  se normaliza en potencia y de esta forma se convierte en  $f_1$ .

40 A continuación, se requiere ahora un segundo vector  $f_2$  de precodificación de transmisión. El objetivo es tener un vector de precodificación  $f_2$  que interfiera lo menos posible con el vector de precodificación  $f_1$ . De nuevo, comenzamos desde un vector inicial  $b_2$ .  $f_2$  se desarrolla de una manera similar que la del vector de precodificación  $f_1$ : También se conoce la SPD recibida en la celda  $C_2$  desde cada uno de los  $K$  haces, como se ha explicado con anterioridad. Una vez más, comenzamos desde un vector inicial  $b_2$ . Como  $b_1, b_2$  es un vector que tiene un tamaño  $K \times 1$ . El módulo de cada uno de los  $K$  elementos de este vector  $b_2$  es tomado directamente de la SPD, como ya se ha explicado, mientras que la fase de cada elemento se genera de manera aleatoria.

45 Para el diseño de la columna  $f_2$ , se diseña una matriz de bloqueo  $D_2$  que tiene dimensión  $K \times 2$ . La matriz de bloqueo  $D_2$  tiene una primera columna que corresponde al vector  $b_2$  y una segunda columna que corresponde a un vector  $f_1^H$ :

50

$$D_2 = [b_2 \quad f_1^H]$$

55 En otras palabras, la matriz de bloqueo  $D_2$  se basa en la información del diagrama de radiación de las antenas del satélite 1.

Una vez que se ha obtenido la matriz  $D_2$ , se genera un vector  $f_2$  de precodificación de transmisión normalizado en potencia (pero que no se transmite aún) mediante el uso de la matriz de bloqueo como

60

$$\mathbf{f}_2 = D_2 [D_2^H D_2]^{-1} \mathbf{1}$$

65

donde  $\mathbf{1}$  es un vector de todos ceros excepto la posición que corresponde al número “p” de una celda correspondiente  $C_p$  (en este caso,  $p = 2$ ).  $f_2$  es un vector normalizado de  $K \times 1$ .

## ES 2 332 077 A1

$f_2$  se formula para obtener vectores de precodificación ortogonales en el lado del transmisor. A través de este planteamiento, la interferencia recibida en cada terminal de satélite al que se da servicio se ve disminuida de manera considerable. Esta matriz de bloqueo  $D_2$  garantiza tan poca interferencia como sea posible entre  $f_1$  y  $f_2$ , pero no consigue la cancelación absoluta de la interferencia.

Este proceso se repite hasta que se construyen  $K$  vectores de precodificación.

De esta forma, para la generación del vector de precodificación  $f_3$ , se construye una matriz de bloqueo  $D_3$  de la siguiente manera:

$$D_3 = [b_3 \quad f_1^H \quad f_2^H]$$

donde  $b_3$  se elige de una manera similar como  $b_1$  y  $b_2$ .

Y se genera un vector  $f_3$  de precodificación normalizado en potencia mediante el uso de la matriz de bloqueo como

$$f_3 = D_3 [D_3^H D_3]^{-1} \mathbf{1}$$

donde  $\mathbf{1}$  es un vector de todos ceros excepto la posición que corresponde al número “ $p$ ” de una celda correspondiente  $C_p$  (en este caso,  $p = 3$ ).  $f_3$  es un vector normalizado de  $K \times 1$ .

Para la generación de los restantes vectores de precodificación  $f_4 \dots f_K$  se construyen nuevas matrices de bloqueo  $D_4 \dots D_K$  de una manera similar. De esta forma, para  $p=4, 5 \dots K$ , una matriz  $D_p$  toma la forma de:

$$D_p = [b_p \quad f_1^H \quad f_2^H \quad \dots \quad f_{p-1}^H]$$

teniendo  $K$  filas y  $p$  columnas.

Una vez que se obtiene la matriz  $D_p$ , se genera un vector  $f_p$  de precodificación de transmisión normalizado en potencia mediante el uso de la matriz de bloqueo como

$$f_p = D_p [D_p^H D_p]^{-1} \mathbf{1}$$

donde de nuevo  $\mathbf{1}$  es un vector de todos ceros excepto la posición que corresponde al número “ $p$ ” de una celda correspondiente  $C_p$  (en este caso, es la posición  $p$ ).  $f_p$  es un vector normalizado de  $K \times 1$ .

De esta manera, se forma una matriz de precodificación  $F$  que tiene  $K \times K$ .

Una vez que se obtiene la matriz de precodificación  $F$ , se hace una transmisión simultánea sobre todos los haces con la matriz de precodificación completa  $F$ .

A continuación, cada uno de la pluralidad de terminales de satélite en cada celda realimenta al planificador de la pasarela 2 su SNIR recibida (relación señal a ruido más interferencia) ( $SNIR_{11}$ ,  $SNIR_{12} \dots SNIR_{21}$ ,  $SNIR_{22} \dots SNIR_{K1}$ ,  $SNIR_{K2} \dots$ ). El planificador en la pasarela 2 selecciona, para cada celda, el terminal de satélite con el mejor valor SNIR realimentado.

A continuación, puede comenzar una transmisión de datos, en la que se da servicio de manera simultánea a  $K$  usuarios (los terminales de satélite con la mejor SNIR).

## ES 2 332 077 A1

En resumen, la invención proporciona un procedimiento de asignación de una matriz de precodificación en un sistema vía satélite de banda ancha que tiene en cuenta el diagrama de radiación de las antenas del satélite, las características del canal de línea de visión y la diversidad multiusuario causada por todos los terminales de satélite a los que un satélite da servicio. De esta manera, se mitiga la interferencia.

El procedimiento de la presente invención proporciona un número de ventajas con respecto a los procedimientos convencionales. Algunas de estas ventajas son:

- tasa de bit más alta;
- mejor disponibilidad (menos caída del servicio), lo que significa que satisface la tasa de requisito mínimo para la detección impuesta por los terminales;
- menos varianza de las tasas entre terminales. Éste es un requisito importante en sistemas comerciales.

En el procedimiento de la invención, la amplitud de canal (obtenida a través de la SPD) es más importante en el proceso de generación de precodificador. Como todos los terminales comparten características de amplitud similares dentro de la misma cobertura de haz mientras que la fase es diferente entre ellos, el procedimiento proporciona una tasa muy similar sobre todos los terminales en cada área de cobertura. Así, la tasa asignada a los terminales sobre los instantes de tiempo consecutivos muestra una baja varianza sobre el tiempo. Ésta es una característica muy importante en el diseño de tramas de transmisión para su implementación en estándares comerciales.

En resumen, la presente invención presenta un diseño de precodificador que considera el diagrama de radiación de las antenas del satélite en el proceso de diseño del precodificador, de forma que el precodificador se genera teniendo en cuenta las características de canal LOS. La precodificación se lleva a cabo sobre todos los haces gestionados por una única pasarela donde se realiza un proceso de selección oportunista de usuario.

Si se compara el procedimiento de la invención al procedimiento de la técnica anterior: Se recalca que, mientras que el procesado descrito por L. Cottatellucci y colaboradores (véase la remisión en el “Estado de la Técnica”) tiene en consideración al canal, no explota la información del diagrama de radiación de las antenas del satélite. Esta descripción de la técnica anterior no está al tanto del hecho de que el canal tiene Línea de Visión (LOS), y por lo tanto no la explota. Su esquema es el mismo que el esquema de las comunicaciones terrestres, sin consideraciones específicas para sistemas de satélite. Además, el esquema de precodificación de Cottatellucci requiere información completa de canal. Sin embargo, la información completa de canal para todos los usuarios es impracticable. Como consecuencia de esto, se lleva a cabo una selección aleatoria de usuarios. Por lo tanto, se desaprovecha toda la ganancia multiusuario.

La invención obviamente no se limita a las realizaciones específicas descritas en este documento, sino que también abarca cualquier variación que pueda considerar una persona que sea experta en la técnica (por ejemplo, con relación a la elección de componentes, la configuración, etc.), dentro del marco general de la invención.

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para asignar un esquema precodificado de formación de haces en un sistema vía satélite de banda ancha, en el que el mencionado sistema vía satélite de banda ancha comprende un satélite multihaz (1) que tiene una pluralidad de antenas y una pluralidad de haces de satélite, una pasarela (2) y un número N de terminales de satélite ( $ST_{11}, ST_{12} \dots ST_{21}, ST_{22}, ST_{23} \dots ST_{K1}, ST_{K2} \dots$ ), y en el que la mencionada pasarela (2) está configurada para procesar y para dar servicio a una pluralidad de K haces de la mencionada pluralidad de haces de satélite dirigidos hacia el mencionado número N de terminales de satélite ( $ST_{11}, ST_{12} \dots ST_{21}, ST_{22}, ST_{23} \dots ST_{K1}, ST_{K2} \dots$ ), en el que  $K < N$ , y en el que la mencionada asignación de un esquema precodificado de formación de haces comprende un procesamiento conjunto sobre la mencionada pluralidad de K haces,

donde el procedimiento está **caracterizado** por que el diseño del mencionado esquema precodificado de formación de haces tiene en cuenta:

- el diagrama de radiación de las mencionadas antenas de satélite;
- las características del canal de línea de visión; y
- la diversidad multiusuario provocada por el mencionado número N de terminales de satélite ( $ST_{11}, ST_{12} \dots ST_{21}, ST_{22}, ST_{23} \dots ST_{K1}, ST_{K2} \dots$ ), donde la mencionada toma en cuenta de la mencionada diversidad multiusuario comprende una selección de K terminales de satélite de entre el mencionado número N de terminales de satélite ( $ST_{11}, ST_{12} \dots ST_{21}, ST_{22}, ST_{23} \dots ST_{K1}, ST_{K2} \dots$ ), en el que  $K < N$ , donde los K terminales de satélite seleccionados tienen una mejor relación señal a ruido o una mejor relación señal a ruido más interferencia;

siendo el mencionado esquema precodificado de formación de haces aplicable a sistemas que tienen conocimiento completo del canal de dichos K terminales de satélite y a sistemas que tienen conocimiento parcial del canal.

2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la mencionada selección de K terminales de satélite se lleva a cabo de acuerdo con los siguientes pasos:

- dividir el área (4) en la que el mencionado número N de terminales de satélite ( $ST_{11}, ST_{12} \dots ST_{21}, ST_{22}, ST_{23} \dots ST_{K1}, ST_{K2} \dots$ ) está localizado en un número K de celdas ( $C_1, C_2, \dots, C_K$ ), cada una de las cuales comprende al menos un terminal de satélite;
- en cada una de las celdas ( $C_1, C_2, \dots, C_K$ ) seleccionar un terminal de satélite correspondiente a un mejor valor de la relación señal a ruido o de la relación señal a ruido más interferencia.

3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el mencionado procesamiento conjunto y la selección de K terminales de satélite sobre la mencionada pluralidad de K haces se lleva a cabo siguiendo los pasos de:

- generar un primer vector de precodificación ( $f_1$ ) y transmitirlo hacia una primera celda ( $C_1$ ) desde el mencionado satélite (1), donde el mencionado primer vector de precodificación ( $f_1$ ) se construye a partir de la información del diagrama de radiación de las mencionadas antenas del satélite, siendo dicho vector de precodificación ( $f_1$ ) un vector  $K \times 1$  y comprendiendo el mencionado vector de precodificación ( $f_1$ ) la contribución de cada uno de los mencionados K haces sobre la mencionada primera celda ( $C_1$ );
- realimentar al mencionado satélite (1) una relación señal a ruido ( $SNR_{11}, SNR_{12} \dots$ ) medida por cada uno de los terminales de satélite ( $ST_{11}, ST_{12} \dots$ ) en la mencionada celda ( $C_1$ ),
- en el lado del satélite, seleccionar un terminal de satélite dentro de la mencionada celda ( $C_1$ ) que tenga la mejor relación señal a ruido y solicitando al mencionado terminal de satélite seleccionado que envíe sus características de canal ( $h_{sel(1)}$ );
- construir vectores de precodificación posteriores ( $f_2, f_3, \dots, f_K$ ), seleccionar los terminales de satélite que tengan la mejor relación señal a ruido más interferencia dentro de las celdas correspondientes ( $C_2, C_3, \dots, C_K$ ) y solicitar a cada uno de los mencionados terminales de satélite seleccionados que envíe sus características de canal ( $h_{sel(2)}, h_{sel(3)} \dots h_{sel(K)}$ ), siendo cada vector de precodificación posterior ( $f_p$ ) dependiente de la información del diagrama de radiación de las mencionadas antenas del satélite y de las características de canal de los terminales de satélite anteriormente seleccionados ( $h_{sel(1)}, h_{sel(2)} \dots h_{sel(p-1)}$ ), siendo el mencionado vector de precodificación ( $f_p$ ) un vector  $K \times 1$  y comprendiendo el mencionado vector de precodificación ( $f_p$ ) la contribución de cada uno de los mencionados K haces sobre una celda correspondiente ( $C_p$ );
- construcción de una matriz de precodificación (F) que tenga un tamaño  $K \times K$ , en la que las K columnas de la mencionada matriz de precodificación (F) son los K vectores de precodificación ( $f_1, f_2, \dots, f_K$ ) construidos anteriormente.

## ES 2 332 077 A1

4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el mencionado primer vector de precodificación ( $f_1$ ) es el resultado de normalizar en potencia un primer vector ( $b_1$ ) que comprende K contribuciones de potencia correspondientes a los mencionados haces de satélite dirigidos hacia la mencionada celda ( $C_1$ ), y en el que los mencionados vectores de precodificación posteriores ( $f_p$ ) son el resultado de normalizar en potencia un vector ( $b_p$ ) correspondiente que comprende K contribuciones de potencia correspondientes a K haces de satélite dirigidos hacia una celda ( $C_p$ ).

5. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el mencionado vector de precodificación posterior ( $f_p$ ) depende de una matriz de bloqueo  $D_p$  que tiene un tamaño  $K \times p$ , y que se forma de la siguiente manera:

$$D_p = [b_p \quad h_{sel(1)}^H \quad h_{sel(2)}^H \quad \dots \quad h_{sel(p-1)}^H]$$

6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el mencionado vector de precodificación ( $f_p$ ) está formado de la siguiente manera:

$$f_p = D_p [D_p^H D_p]^{-1} \mathbf{1}$$

donde  $\mathbf{1}$  es un vector de todos ceros excepto la posición que corresponde al número  $p$  de la mencionada celda ( $C_p$ ) y  $f_p$  es un vector normalizado de  $K \times 1$ .

7. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 3 a la 6, en el que las mencionadas características de canal ( $h_{sel(1)}, h_{sel(2)}, h_{sel(3)} \dots h_{sel(K)}$ ) comprenden tanto la información de amplitud como la información de fase.

8. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el mencionado procesado conjunto sobre la mencionada pluralidad de K haces se lleva a cabo siguiendo los pasos de:

- construir un primer vector de precodificación ( $f_1$ ), en el que el mencionado primer vector de precodificación ( $f_1$ ) está construido a partir de la información del diagrama de radiación de las mencionadas antenas del satélite, donde dicho vector de precodificación ( $f_1$ ) es un vector  $K \times 1$  y comprende la contribución de cada uno de los mencionados K haces sobre la mencionada primera celda ( $C_1$ );
- construir K-1 vectores de precodificación posteriores ( $f_2, f_3, \dots, f_K$ ), cada uno de ellos teniendo un tamaño  $K \times 1$ , siendo cada vector de precodificación posterior ( $f_p$ ) dependiente de la información del diagrama de radiación de las mencionadas antenas de satélite y del vector de precodificación anteriormente construido ( $f_1, f_2, \dots, f_{p-1}$ ) y donde el mencionado vector de precodificación ( $f_p$ ) comprende la contribución de cada uno de los mencionados K haces sobre una celda correspondiente ( $C_p$ );
- construir una matriz de precodificación (F) que tenga un tamaño  $K \times K$ , en la que las K columnas de la mencionada matriz de precodificación (F) son los K vectores de precodificación ( $f_1, f_2, \dots, f_K$ ) anteriormente construidos.

9. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el mencionado vector de precodificación posterior ( $f_p$ ) depende de una matriz de bloqueo  $D_p$  que tiene un tamaño  $K \times p$ , y que se forma de la siguiente manera:

$$D_p = [b_p \quad f_1^H \quad f_2^H \quad \dots \quad f_{p-1}^H]$$

10. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el mencionado vector de precodificación ( $f_p$ ) está formado de la siguiente manera:

$$f_p = D_p [D_p^H D_p]^{-1} \mathbf{1}$$

donde  $\mathbf{1}$  es un vector de todos ceros excepto la posición que corresponde al número  $p$  de la mencionada celda ( $C_p$ ) y  $f_p$  es un vector normalizado de  $K \times 1$ .

## ES 2 332 077 A1

11. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende de manera adicional:

- la transmisión de la mencionada matriz de precodificación (F) hacia la mencionada área(4);
- en cada una de las celdas ( $C_1, C_2, C_3, \dots, C_K$ ), realimentar al mencionado satélite (1) una relación señal a ruido más interferencia ( $SNIR_{11}, SNIR_{12}, \dots, SNIR_{21}, SNIR_{22}, \dots, SNIR_{K1}, SNIR_{K2}, \dots$ ) medida por cada uno de los terminales de satélite en su celda correspondiente,
- seleccionar un terminal de satélite por celda, teniendo los mencionado terminales de satélite seleccionados la mejor relación señal a ruido más interferencia dentro de las celdas correspondientes ( $C_1, C_2, C_3, \dots, C_K$ ).

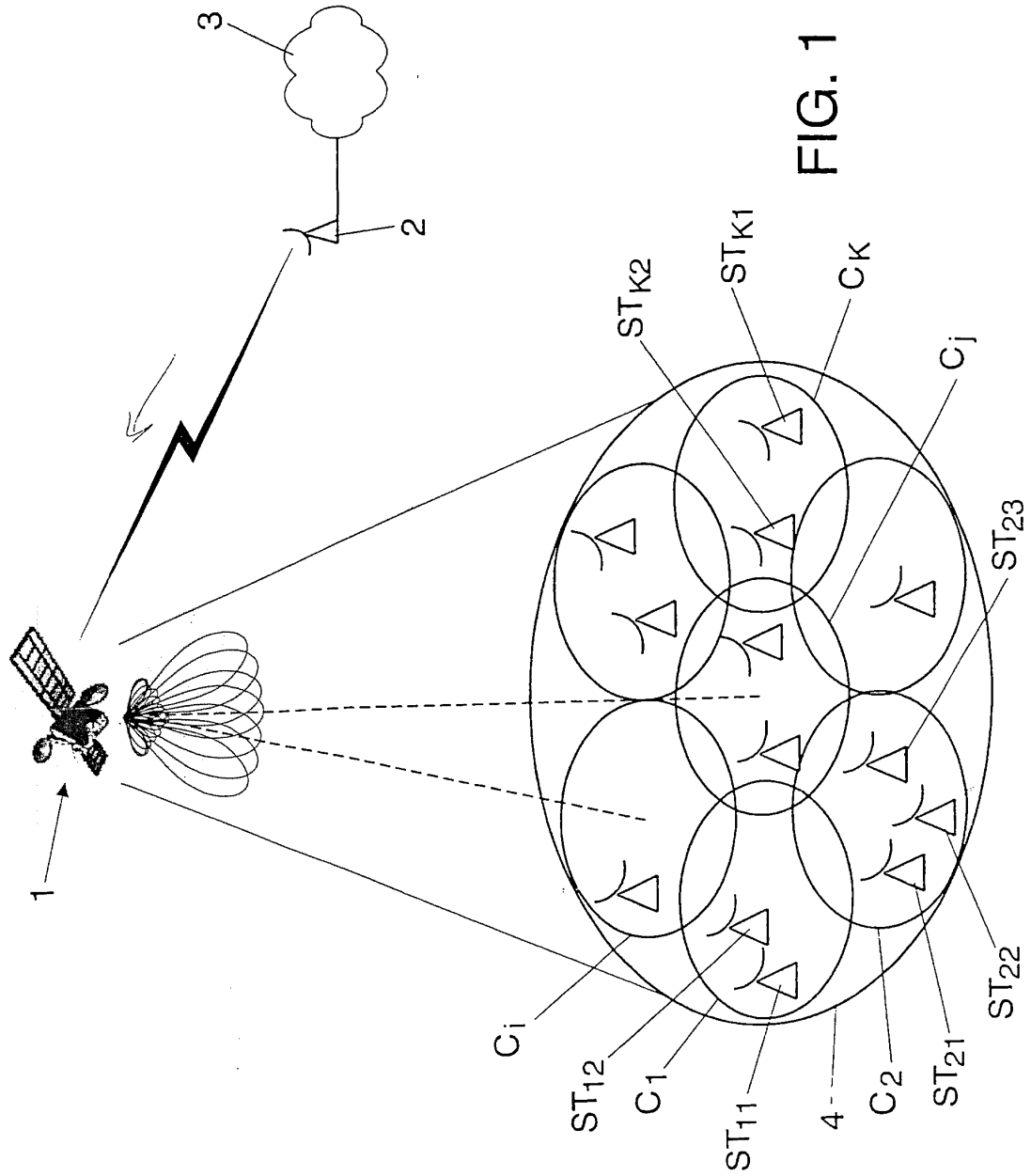
12. Un procedimiento de transmisión simultánea de datos a K terminales de satélite en un sistema vía satélite de banda ancha, donde el mencionado sistema vía satélite de banda ancha comprende un satélite (1) y un número N de terminales de satélite ( $ST_{11}, ST_{12}, \dots, ST_{21}, ST_{22}, ST_{23}, \dots, ST_{K1}, ST_{K2}, \dots$ ), en el que, antes de comenzar la mencionada transmisión simultánea de datos a K terminales de satélite, el procedimiento comprende los pasos de:

- asignar un esquema precodificado de formación de haces y seleccionar un grupo de K terminales de satélite de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

13. Una pasarela (2) que comprende un medio adaptado para llevar a cabo los pasos del procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 12.

14. Un sistema vía satélite que comprende un satélite (1), un número N de terminales de satélite ( $ST_{11}, ST_{12}, \dots, ST_{21}, ST_{22}, ST_{23}, \dots, ST_{K1}, ST_{K2}, \dots$ ) y una pasarela (2) de acuerdo con la reivindicación 13.

15. Un programa de ordenador que comprende un medio de código de programa de ordenador adaptado para realizar los pasos del procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 12 cuando se ejecuta el mencionado programa en un ordenador, un procesador digital de la señal, una matriz de puertas programable, un circuito integrado específico de la aplicación, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.





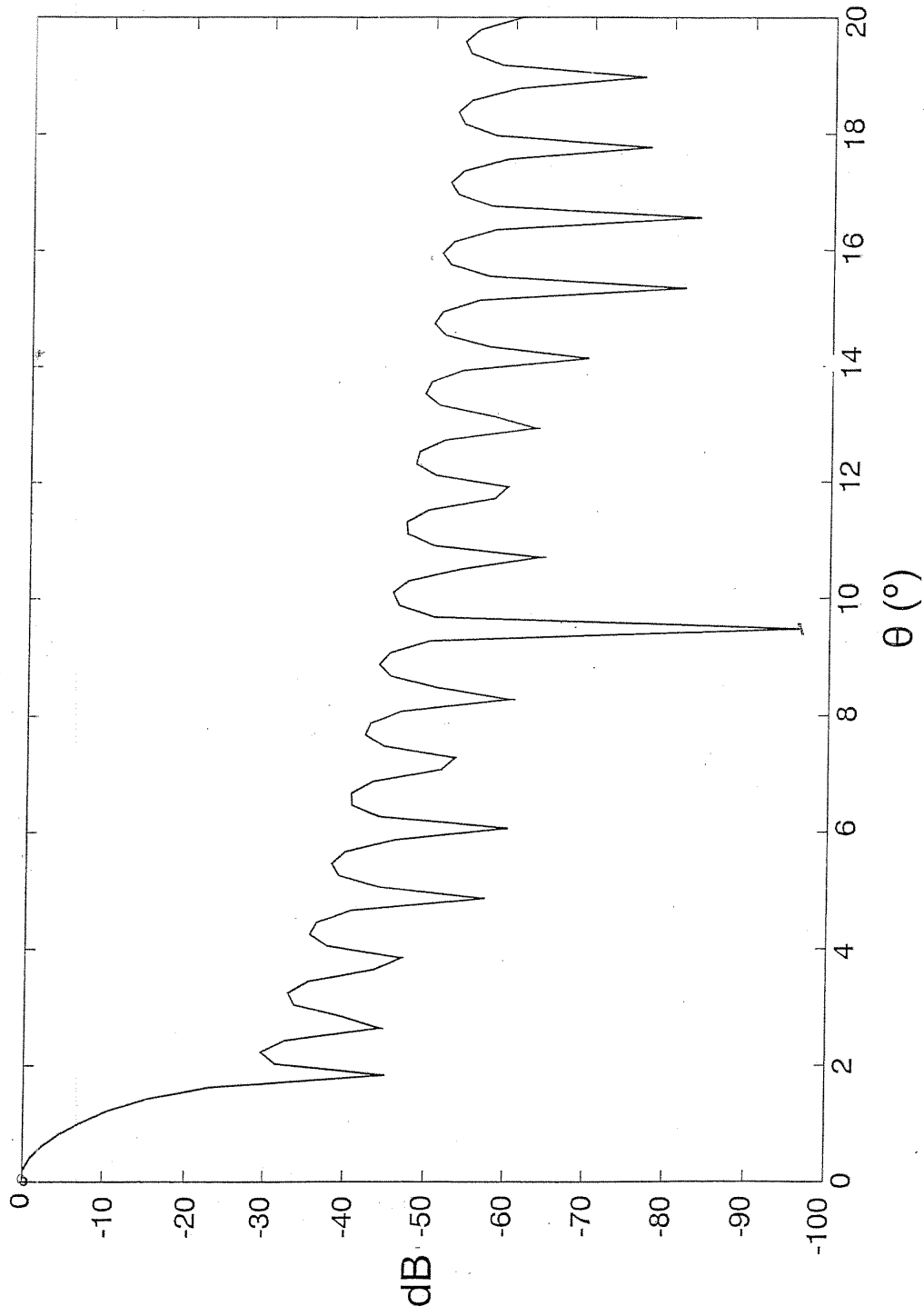


FIG. 2

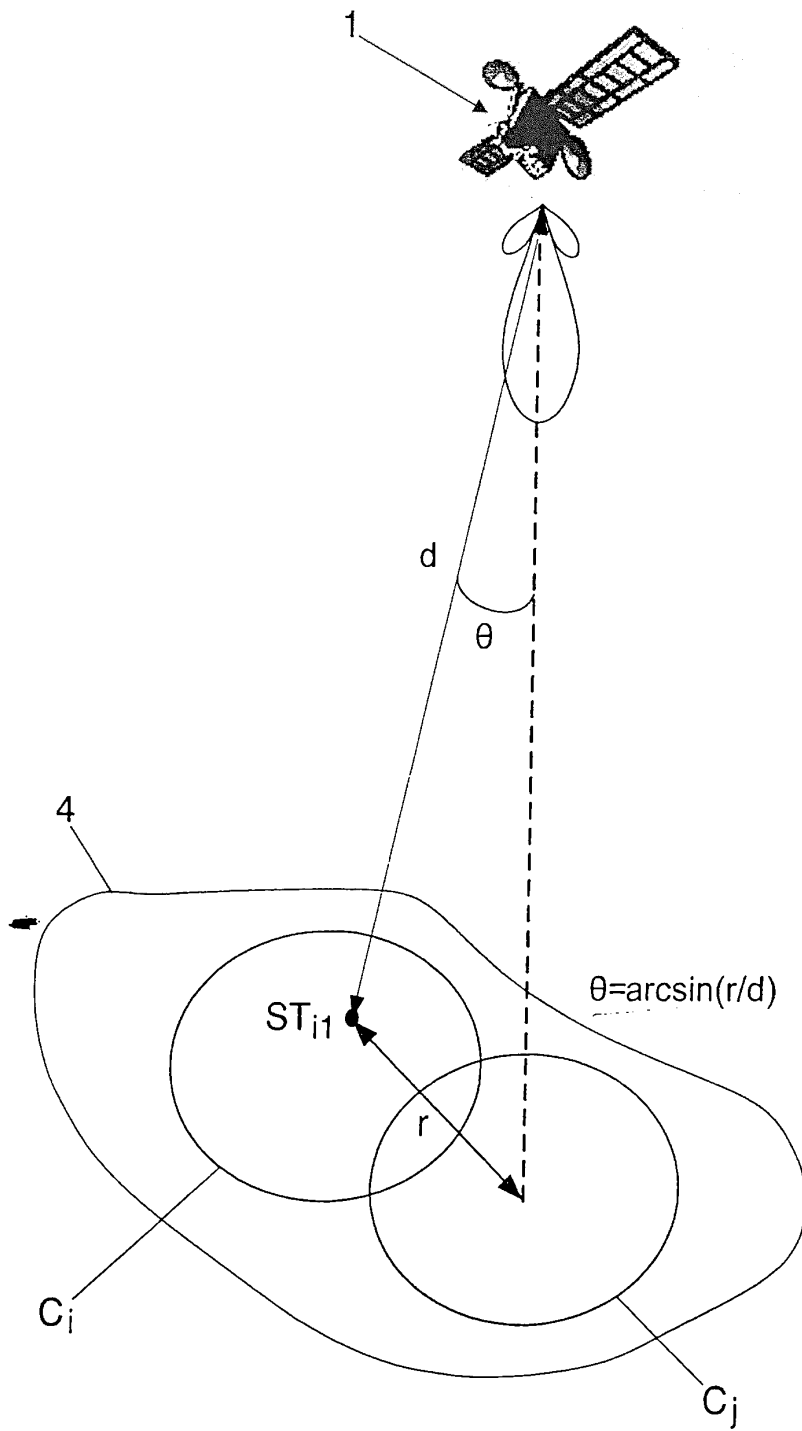


FIG. 3



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 332 077

② Nº de solicitud: 200702496

③ Fecha de presentación de la solicitud: **21.09.2007**

④ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **H04B 7/185** (2006.01)

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	COTTATELLUCCI et al. "Interference Mitigation Techniques for Broadband Satellite Systems" ICSSC 2006, 24th AIAA International Communications Satellite Conference. 15.06.2006 páginas 1-13. Todo el documento.	1-15
A	US 2006222101 A1 (CETINER et al.) 05.10.2006, párrafos [0078-0079],[0088-0089].	1-15
A	WO 2007084681 A1 (ATC TECH LLC; ZHENG DUNMIN) 26.07.2007, párrafos [00102-00104].	1-15

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

11.01.2010

Examinador

M. Rivas Sáiz

Página

1/1