(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 859 464**

(51) Int. CI.:

H04B 7/185 (2006.01)
H01Q 15/00 (2006.01)
H01Q 19/17 (2006.01)
H01Q 19/19 (2006.01)
H01Q 19/195 (2006.01)
H04B 7/204 (2006.01)
H01Q 5/45 (2015.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.11.2018 PCT/EP2018/080577**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **16.05.2019 WO19092087**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.11.2018 E 18796468 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.01.2021 EP 3639409**

(54) Título: **Carga útil de satélite que comprende un reflector de doble superficie reflectante**

(30) Prioridad:

08.11.2017 FR 1760470

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.10.2021

(73) Titular/es:

AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAS (100.0%)
31 rue des Cosmonautes, ZI du Palays
31402 Toulouse Cedex 4, FR

(72) Inventor/es:

THAIN, ANDREW y
TUGEND, VINCENT

(74) Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

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

Carga útil de satélite que comprende un reflector de doble superficie reflectante

Campo técnico

La presente invención pertenece al campo de los sistemas de telecomunicaciones por satélite. Especialmente, la invención se refiere a una carga útil de satélite que comprende una red de fuentes conectadas a una red de formación de haz y un reflector de doble superficie reflectante.

Estado de la técnica

De manera convencional, un satélite de telecomunicaciones incluye una carga útil equipada con medios adecuados para intercambiar datos con una o más estaciones de pasarela terrestres, y con uno o más terminales de usuario terrestres. Por «terrestre» se entiende a la superficie de la Tierra, especialmente en el suelo, en la parte alta de un edificio, un poste, etc., inmóvil o móvil (vehículo terrestre, marítimo o aeronáutico).

Cada estación de pasarela realiza, para el satélite, un punto de acceso a un núcleo de red terrestre. Por tanto, una estación de pasarela que recibe, a partir del núcleo de red, los datos hacia un terminal de usuario los emite hacia el satélite que los retransmite hacia el dicho terminal de usuario. De manera semejante, el terminal de usuario puede emitir datos hacia el satélite, que los retransmite hacia una estación de pasarela, que los retransmite hacia el núcleo de red.

Hoy en día, existe una necesidad importante de aumentar la capacidad de los sistemas de telecomunicaciones por satélite, especialmente para ofrecer servicios de alta velocidad, denominados de banda ancha («*broadband*» en la literatura anglosajona), y/o para prestar servicio a más terminales de usuarios, etc. Preferiblemente, un tal aumento de capacidad debe acompañarse de una gran flexibilidad y/o de una gran cobertura geográfica.

Las soluciones existentes que presentan una carga útil de satélite con una antena multihaz que comprende una red de fuentes y una red de formación de haces («*Beam Forming Network*» o BFN en la literatura anglosajona), parecen ofrecer un compromiso óptimo entre el ancho de banda máximo disponible, la extensión de la región cubierta y la flexibilidad de asignar más o menos de ancho de banda a ciertas zonas de la dicha región.

Sin embargo, para poder operar simultáneo en emisión y en recepción en las bandas de frecuencias para las cuales es importante la separación entre una sub-banda de frecuencias utilizadas en emisión y una sub-banda de frecuencias utilizadas en recepción (como es el caso por ejemplo, para las bandas Ku, Ka, Q o V), una tal carga útil debe incluir generalmente varias redes de fuentes y/o varios reflectores, lo que aumenta de manera considerable la complejidad, la masa y el volumen de la carga útil.

Las solicitudes de patente US 2004/008148 A1 y EP 1083626 A2 dan ejemplos de antenas de satélite de la técnica anterior en las cuales se utilizan dos subreflectores apilados. Estos documentos se refieren a antenas de tipo SFPB (acrónimo inglés de «*Single Feed Per Beam*») en la cual cada fuente permite formar un haz en una banda de frecuencias particular. Las diferentes fuentes están aisladas espacialmente en diferentes posiciones, y la posición de cada fuente se define respectivamente con respecto a un subreflector.

Exposición de la invención

La presente invención tiene por objetivo remediar todos o parte de los inconvenientes de la técnica anterior, especialmente, los expuestos anteriormente, proporcionando una carga útil de satélite que es a la vez flexible en cobertura y en capacidad, compacta, ligera y poco compleja de realizar.

Con este fin, y según un primer aspecto, se propone para la presente invención, una carga útil de satélite de un sistema de telecomunicaciones. La dicha carga útil incluye un reflector, una red de fuentes, y una red de formación de haces conectada a las dichas fuentes. La red de fuentes es utilizada para formar haces para transportar señales a la vez en una primera banda de frecuencias, denominada banda B1, y en una segunda banda de frecuencias, denominada banda B2. La banda B2 de frecuencias es diferente de la banda B1 de frecuencias.

Cada haz está formado por varias fuentes de la red de fuentes. Cada fuente de la red de fuentes es adecuada para la banda B1 y para la banda B2. El reflector incluye dos superficies reflectantes posicionadas una detrás de la otra con respecto a la red de fuentes y que presenta diferentes curvaturas de modo que cada superficie reflectante produce una imagen de la red de fuentes con un factor de aumento diferente. La superficie reflectante más cercana de la red de fuentes es transparente para el conjunto de las señales transportadas en la banda B2 y adecuada para reflejar las señales transportadas en la banda B1. La otra superficie reflectante es adecuada para reflejar las señales transportadas en la banda B2.

Las fuentes son adecuadas para emitir o recibir señales en las dos bandas B1 y B2 distintas. Estas bandas pueden presentar, especialmente, un espacio frecuencial importante, por ejemplo, superior al 10% de la frecuencia central de la banda B1.

Las dos superficies reflectantes son equivalentes a dos reflectores «apilados». Pueden tratarse de dos superficies de un mismo reflector de doble superficie reflectante (una superficie «frontal» y una superficie «posterior» del reflector que corresponden, en ese caso, respectivamente a la superficie más cercana y a la superficie más alejada de la red de fuente), o bien, puede tratarse de superficies de dos reflectores distintos, de superficie reflectante simple, colocadas una detrás de la otra. La superficie reflectante más cercana de la red de fuente está adecuada para dejar pasar las señales de la banda B1 y para reflejar las señales de la banda B2.

La «imagen aumentada» de la red de fuente producida por cada superficie reflectante es una imagen en el sentido óptico del término.

Tales disposiciones permiten, especialmente, aprovecharse de la flexibilidad que ofrece una antena multihaz a la vez que limita el número de fuentes (una sola y misma red de fuentes es utilizada para emitir o recibir las señales en la banda B1 y las señales en la banda B2), y limitando el volumen ocupado por el reflector. La curvatura de cada superficie reflectante del reflector puede ser elegida, especialmente, con base en las frecuencias de las bandas B1 y B2 para que los haces formados en la banda B1 sean sustancialmente los mismos que los formados en la banda B2, de modo que cubran sustancialmente las mismas zonas geográficas de la superficie de la Tierra.

En modos particulares de realización, la invención puede incluir además una o más de las siguientes características, tomadas de forma aislada o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

En modos particulares de realización, la superficie reflectante más alejada de la red de fuentes además es transparente para el conjunto de las señales transportadas en la banda B1.

Tales disposiciones permiten especialmente mejorar los rendimientos de la carga útil del satélite.

En modos particulares de realización, las señales transportadas en la banda B1 siguen una polarización diferente de una polarización seguida por las señales transportadas en la banda B2, y una superficie reflectante transparente es eléctricamente inoperante para una de estas dos polarizaciones.

En modos particulares de realización, una superficie reflectante transparente incluye cintas conductoras de la electricidad dispuestas de manera paralela entre sí.

Tales disposiciones permiten obtener una selectividad por polarización para la o las superficies reflectantes. Por ejemplo, la superficie reflectante más cercana de la red de fuente incluye cintas metálicas según una dirección denominada «horizontal» con el fin de reflejar las señales emitidas en la banda B1 con una polarización lineal según esta dirección horizontal, y dejar pasar las señales emitidas en la banda B2 con una polarización lineal según una dirección denominada «vertical» ortogonal a la dirección horizontal.

En modos particulares de realización, el reflector incluye además medios para impulsar en rotación la o las superficies reflectantes que comprenden cintas conductoras.

El movimiento en rotación aplicado a una superficie reflectante se efectúa, por ejemplo, según un eje de rotación que pasa por el centro de la dicha superficie reflectante y sustancialmente perpendicular a un plano tangente de la superficie reflectante al nivel del dicho centro.

Tales disposiciones permiten, por ejemplo, poder invertir la polarización de las señales de la banda B1 y la polarización de las señales de la banda B2.

En modos particulares de realización, una superficie reflectante transparente es una superficie selectiva en frecuencia.

Tales disposiciones permiten obtener una selectividad por frecuencia para la o las superficies reflectantes en lugar de o en complemento de una selectividad por polarización.

En modos particulares de realización, las fuentes además pueden emitir o recibir señales según diferentes polarizaciones en la banda B1 y/o en la banda B2.

En efecto, si la o las superficies reflectantes presentan una selectividad por frecuencia, sigue siendo posible utilizar polarizaciones diferentes para las señales emitidas o recibidas en cada banda B1 o B2. De esta manera se entiende que es posible, por ejemplo, utilizar simultáneamente dos polarizaciones diferentes en recepción en la banda B1, y dos polarizaciones diferentes en emisión en la banda B2. Tales disposiciones permiten, especialmente, favorecer la reutilización de frecuencias en la banda B1 o B2 (por ejemplo, dos haces pueden utilizar simultáneamente la misma frecuencia o una misma sub-banda de frecuencias sin generar interferencias ya que tendrán polarizaciones diferentes).

En modos particulares de realización, la relación entre los factores de aumento se define con base en las frecuencias de las bandas B1 y B2 de modo que los haces formados en la banda B1 y los haces formados en la banda B2 cubran zonas geográficas idénticas.

De esta manera se entiende que una zona geográfica predeterminada puede estar cubierta por un haz formado en la banda B1 y un haz formado en la banda B2 similares, o en otras palabras, que un haz formado en una banda B1 y un haz formado en una banda B2 pueden cubrir zonas geográficas idénticas.

Cabe señalar que por «zonas geográficas idénticas», se entiende zonas geográficas sustancialmente idénticas, es decir, zonas geográficas que tienen sustancialmente la misma forma, las mismas dimensiones, y las mismas posiciones geográficas, entendiéndose que los haces formados no cubrirán probablemente las zonas geográficas estrictamente idénticas.

En modos particulares de realización, la relación entre los factores de aumento es sustancialmente igual a una relación entre una longitud de onda particular de la banda B1 y una longitud de onda particular de la banda B2.

Por «sustancialmente igual a» se entiende, por ejemplo, que la relación entre los factores de aumento es igual a la relación entre una longitud de onda particular de la banda B1 y una longitud de onda particular de la banda B2 con un margen de error del orden de 10% (en otras palabras, la relación entre los factores de aumento está comprendida en el intervalo que va del 90% al 110% de la relación entre una longitud de onda particular de la banda B1 y una longitud de onda particular de la banda B2).

En modos particulares de realización, la relación entre los factores de aumento está comprendida entre 90% y 110% de una relación $\frac{\lambda_{mín,B1}}{\lambda_{mín,B2}}$, donde $\lambda_{mín,B1}$ y $\lambda_{mín,B2}$ son respectivamente la longitud de onda más pequeña de la banda B1 y la longitud de onda más pequeña de la banda B2.

En modos particulares de realización:

- las superficies reflectantes son cóncavas con respecto a la red de fuentes y tienen respectivamente para distancia focal F_{B1} y F_{B2},

- la red de fuentes está desplazada respectivamente de una distancia δ_{B1} y δ_{B2} con respecto a un plano focal de una superficie reflectante hacia la dicha superficie reflectante,

- los valores de F_{B1}, F_{B2}, δ_{B1}, δ_{B2} y la distancia que separa las dos superficies reflectantes se eligen de tal modo que, los factores de aumento de las superficies reflectantes están respectivamente señalados M_{B1} y M_{B2}, la relación $\frac{M_{B1}}{M_{B2}} = \frac{F_{B1}}{F_{B2}}.\frac{\delta_{B2}}{F_{B2}}$ es sustancialmente igual a $\frac{\lambda_{mín,B1}}{\lambda_{mín,B2}}$, donde $\lambda_{mín,B1}$ y $\lambda_{mín,B2}$ son respectivamente la longitud de onda más pequeña de la banda B1 y la longitud de onda más pequeña de la banda B2.

Por «sustancialmente igual a» se entiende, por ejemplo, que la relación entre los factores de aumento es igual a la relación entre la longitud de onda más pequeña de la banda B1 y la longitud de onda más pequeña de la banda B2 con un margen de error del orden del 10% (en otras palabras, la relación entre los factores de aumento se incluye en el intervalo que va del 90% al 110% de la relación entre la longitud de onda más pequeña de la banda B1 y la longitud de onda más pequeña de la banda B2).

En modos particulares de realización, la banda B1 y/o la banda B2 pertenecen a una de las bandas Ku, Ka, Q o V.

En modos particulares de realización, la banda B1 y la banda B2 corresponden respectivamente al conjunto de frecuencias ascendentes y al conjunto de frecuencias descendentes de una de las bandas Ku, Ka, Q o V.

En modos particulares de realización, la banda B1 corresponde al conjunto de frecuencias ascendentes de la banda Ka, y la banda B2 corresponde al conjunto de frecuencias descendentes de la banda Ka.

En modos particulares de realización, el reflector y/o la red de fuentes es orientable.

En modos particulares de realización, el reflector que comprende dos superficies reflectantes en cualquiera de los modos de realización anteriores corresponde a un reflector primario o a un reflector secundario de un sistema de dos reflectores (por ejemplo, un sistema de tipo Cassegrain o un sistema tipo Gregoriano).

Según un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un satélite de un sistema de telecomunicaciones por satélite, que comprende una carga útil según cualquiera de los modos de realización anteriores.

Presentación de las figuras

La invención se comprenderá mejor con la lectura de la siguiente descripción, dada a título de ejemplo de ningún modo limitativo, y realizada con referencia a las Figuras 1 a 8 que representan:

- Figura 1: una representación esquemática de un sistema de telecomunicaciones por satélite,

- Figura 2: una representación esquemática de un ejemplo de realización de una carga útil de satélite según la invención,

- Figura 3: una representación esquemática de un modo de realización preferido de una carga útil de satélite según la invención,

- Figura 4: un ejemplo de utilización de dos redes de fuentes distintas para formar haces similares en emisión y en recepción,

- Figura 5: ejemplos de haces formados en emisión y en recepción por una sola red de fuentes,

- Figura 6: una ilustración esquemática de una red de fuente sobredimensionada para formar haces similares en emisión y en recepción,

- Figura 7: una ilustración esquemática de la solución propuesta por la invención que consiste en producir dos imágenes diferentes de una misma red de fuentes con dos factores de aumento diferentes,

- Figura 8: una representación esquemática de un modo de realización preferido para un reflector de una carga útil de satélite según la invención,

- Figura 9: una representación esquemática de un modo particular de realización que aplica dos reflectores que cooperan entre sí.

En estas figuras, las referencias idénticas de una figura a otra designan elementos idénticos o análogos. Por razones de claridad, los elementos representados no están necesariamente a escala, a menos que se indique lo contrario.

Descripción detallada de los modos de realización

La Figura 1 representa esquemáticamente un ejemplo de realización de un sistema 10 de telecomunicaciones por satélite.

Tal como se ilustra en la Figura 1, el sistema 10 de telecomunicaciones por satélite incluye al menos un satélite 12, al menos una estación 13 de pasarela terrestre y al menos un terminal 14 de usuario terrestre.

En la evolución de la descripción, se ubica de manera no limitativa en el caso donde el satélite 12 está en órbita geoestacionaria («*Geostationary Orbit*» o GEO en la literatura anglosajona). Sin embargo, nada excluye, siguiendo otros ejemplos, considerar una órbita terrestre no geoestacionaria, tal como una órbita de baja altitud («*Low Earth Orbit*» o LEO), una órbita de altitud media («*Médium Earth Orbit*» o MEO), etc.

De manera convencional, el satélite 12 incluye una carga útil adecuada para intercambiar datos con la estación 13 de pasarela en un enlace 15 de pasarela («*Feeder link*» en la literatura anglosajona), y para intercambiar datos con cada terminal 14 de usuario en un enlace 16 de usuario («*user link*» en la literatura anglosajona). Un enlace 16 de usuario puede incluir una dirección descendente («*downlink*» en la literatura anglosajona) para la emisión de datos por satélite y/o una dirección ascendente («*uplink*» en la literatura anglosajona) para la recepción de datos por satélite. De manera similar, un enlace 15 de pasarela puede incluir una dirección ascendente («*uplink*») para la recepción de datos por satélite y/o una dirección descendente («*downlink*») para la emisión de datos por satélite. De ninguna manera limitativa, el ejemplo ilustrado en la Figura 1 representa una recepción de datos provenientes de la estación 13 de pasarela por el satélite 12 (dirección ascendente) en un enlace 15 de pasarela, y emisiones de datos del satélite 12 hacia los terminales 14 de usuario (dirección descendente) en los enlaces 16 de usuario.

Las emisiones y/o las recepciones en los enlaces 16 de usuario y/o en los enlaces 15 de pasarela se efectúan, por ejemplo, en una o más bandas de frecuencias entre las bandas W, Q, V, Ka, Ku, L, S, C, etc.

En la evolución de la descripción, se ubica a título de ejemplo y de ninguna manera limitativo en el caso donde los enlaces 15 de pasarela y los enlaces 16 de usuario son enlaces bidireccionales (es decir que cada enlace presenta una dirección ascendente y descendente), y que la carga útil del satélite 12 incluye una antena 21 que se utiliza para la emisión y para la recepción de datos en los enlaces 15 de pasarela y en los enlaces 16 de usuario.

La invención es particularmente bien adecuada al caso donde la antena 21 utiliza una misma banda de frecuencias en emisión y en recepción, por ejemplo la banda Ka, para la cual la sub-banda de frecuencias utilizadas en recepción y la sub-banda de frecuencias utilizadas en emisión tienen una separación frecuencial importante, por ejemplo, superior a 1 GHz. La banda Ka se puede utilizar, por ejemplo, tanto para los enlaces 16 de usuario como para los enlaces 15 de pasarela.

Sin embargo, cabe señalar que la invención también es aplicable para otras bandas de frecuencias, como por ejemplo las bandas Ku, V o Q.

Además, en una variante, la antena 21 puede ser utilizada, por ejemplo, para la emisión y la recepción de datos en los enlaces 15 de pasarela en una banda determinada (por ejemplo, la banda Ka), a la vez que otra antena es utilizada para la emisión y la recepción de datos en los enlaces 16 de usuario en otra banda (por ejemplo, la banda Ku).

Nada excluye tampoco, según otro ejemplo, que la antena 21 sea utilizada, por ejemplo, para la emisión de datos en los enlaces 15 de pasarela y para la recepción de datos en los enlaces 16 de usuario, y que otra antena sea utilizada para la recepción de datos en los enlaces 15 de pasarela y para la emisión de datos en los enlaces 16 de usuario.

Nada excluye tampoco, según aun otro ejemplo, que la antena 21 sólo sea utilizada en recepción, pero en dos bandas distintas (por ejemplo, para la recepción de datos en los enlaces 15 de pasarela en la banda Ka y para la recepción de datos en los enlaces 16 de usuario en la banda Ku), o bien de manera inversa, que la antena 21 sólo sea utilizada en emisión en dos bandas distintas.

De manera general, la invención es aplicable al caso donde una antena 21 de la carga 20 útil del satélite 12 es utilizada para la emisión o la recepción de datos en una primera banda de frecuencias, y para la emisión o la recepción de datos en una segunda banda de frecuencias, en el caso donde la primera y la segunda bandas de frecuencias tengan una separación frecuencial importante, por ejemplo, superior al 10% de la frecuencia central de la banda B1.

En la evolución de la descripción, se ubica a título de ejemplo y de ninguna manera limitativo en el caso donde el satélite 12 utiliza la banda Ka para la emisión y la recepción de datos tanto en el enlace 15 de pasarela como en el enlace 16 de usuario. En otras palabras, la banda de frecuencias en recepción para la antena 21 del satélite 12, llamada «banda Rx» en la evolución de la descripción, corresponde al conjunto de frecuencias ascendentes entre 27 y 29,5 GHz, y la banda de frecuencias en emisión para la antena 21 del satélite 12, llamada «banda Tx» en la evolución de la descripción, corresponde al conjunto de frecuencias descendentes entre 17,3 GHz y 20,2 GHz.

La Figura 2 representa esquemáticamente un ejemplo de realización de una carga 20 útil destinada a estar incorporada en el satélite 12.

Tal como se ilustra en la Figura 2, la carga 20 útil incluye una antena 21 que comprende un reflector 22 y una red 23 de fuentes 24.

En el ejemplo ilustrado en la Figura 2, la carga 20 útil también incluye dos redes 25a, 25b de formación de haces («*Beam-Forming Network*» o BFN en la literatura anglosajona) que están conectadas a las diferentes fuentes 24 de la red 23. Estas redes 25a, 25b de formación de haces son, por ejemplo, adaptativas y pueden ser analógicas o digitales. Por «adaptativa», se entiende que los haces formados por cada una de estas redes 25a, 25b de formación de haces pueden variar a lo largo del tiempo. Por «analógica», se entiende que una tal red 25a, 25b de formación de haces efectúa los procesamientos en señales analógicas (eléctricas o microondas). Por «digital», se entiende que una tal red 25a, 25b de formación de haces efectúa los procesamientos en señales digitales.

Las redes 25a, 25b de formación de haces pueden ser de cualquier tipo conocido por los expertos de la técnica. En la evolución de la descripción, se ubica a título de ejemplo de ninguna manera limitativo en el caso de redes 25a, 25b de formación de haces de tipo desfasador («*phase shifter*» en la literatura anglosajona).

Por tanto, cada red 25a, 25b de formación de haces puede incluir, de una manera conocida por los expertos de la técnica, circuitos desfasadores adecuados para introducir un desfase de valor controlable, amplificadores de ganancia controlable, y circuitos duplicadores que duplican una señal para emitir y/o circuitos sumadores que suman las señales recibidas.

Una de las dos redes 25b de formación de haces está configurada para la emisión de datos. Incluye uno o más puertos de entrada en los cuales recibe una o más señales que comprenden los datos por emitir, y varios puertos de salida conectados a las fuentes 24 de la red 23. Esta red 25b de formación de haces proporciona en algunos puertos de salida réplicas de cada señal presentando las fases y las ganancias respectivas que permiten formar haces predeterminados, en colaboración con las fuentes 24 y el reflector 22 de la antena. Por tanto, cada señal de entrada es emitida por varias fuentes 24 («*Multiple Feeds Per Beam*» o MFPB en la literatura anglosajona).

La otra red 25a de formación de haces está configurada para la recepción de señales. Incluye varios puertos de entrada conectados a las fuentes 24 de la red 23 y uno o varios puertos de salida en los cuales se proporciona una o más señales que comprenden los datos recibidos. Las fases y ganancias particulares son aplicadas a las señales recibidas en algunos puertos de entrada, luego una señal correspondiente a la suma de señales obtenidas es proporcionada en un puerto de salida. Por tanto, cada señal de salida se obtiene a partir de señales recibidas a través de varias fuentes 24.

Cabe señalar que las dos redes 25a, 25b de formación de haces representadas en la Figura 2 corresponden a dos elementos funcionales diferentes que posiblemente podrían ser implementados por una sola y misma entidad física, especialmente en el caso de redes de formación de haces digitales.

Tal como se ilustra en la Figura 2, la carga 20 útil también incluye un módulo 26 de control de las dichas redes 25a, 25b de formación de haces, configurado para modificar los haces que deben activarse en un momento determinado para cada red 25a, 25b de formación de haces. El módulo 26 de control incluye, por ejemplo, uno o más procesadores y medios de memorización (disco duro magnético, memoria electrónica, disco óptico, etc.) en los cuales se memoriza un producto de programa informático, en forma de un conjunto de instrucciones de código de programa para ejecutar. De manera alternativa o en complemento, el módulo 26 de control incluye uno o más circuitos lógicos programables

(FPGA, PLD, etc.), y/o uno o más circuitos integrados especializados (ASIC, etc.), y/o un conjunto de componentes electrónicos discretos, etc.

En el ejemplo ilustrado por la Figura 2, y de manera no limitativa, el módulo 26 de control también proporciona las señales en la entrada de la red 25b de formación de haces en emisión, y recibe las señales en la salida de la red 25a de formación de haces en recepción. Sin embargo, siguiendo otros ejemplos, nada excluye que las señales en la entrada (respectivamente en la salida) de la red 25b de formación de haces en emisión (respectivamente de la red 25a de formación de haces en recepción) sean proporcionadas (respectivamente recibidas) por un equipo distinto del módulo 26 de control.

En el ejemplo no limitativo ilustrado en la Figura 2, y para la evolución de la descripción, cada red 25a, 25b de formación de haces está conectada al módulo 26 de control por enlaces Ln (la red 25b de formación de haces en emisión por lo tanto incluye puertos Ln de entrada, y la red 25a de formación de haces en recepción incluye puertos Ln de salida), y a la red 23 de fuentes 24 por enlaces Mn. El número Mn corresponde al número de fuentes 24 de la red 23. El número Ln corresponde al número máximo de haces que una red 25a, 25b de formación de haces puede activar simultáneamente para prestar servicio a las zonas geográficas respectivas en el interior de una región geográfica predeterminada de la superficie de la Tierra. Las zonas geográficas que pueden prestar servicio por haces en el interior de la región geográfica predeterminada pueden estar predefinidas ya sea según una distribución predefinida en el interior de la dicha región geográfica, o definidas de manera oportunista y dinámica con el fin, por ejemplo, de centrar uno o más haces en ciudades o zonas geográficas con muy alta demanda.

Aquí de nuevo, cabe señalar que el módulo 26 de control ilustrado en la Figura 2 representa un elemento funcional que puede implementarse opcionalmente mediante el mismo elemento de hardware que el que implementan las redes 25a, 25b de formación de haces.

El reflector 22 incluye dos superficies 22a, 22b reflectantes dispuestas una detrás de la otra, y al menos una de las dos superficies 22a, 22b reflectantes, es decir, la superficie 22a reflectante ubicada lo más cerca de la red 23 de fuentes 24, es transparente para el conjunto de señales recibidas en la banda Rx o para el conjunto de señales emitidas en la banda Tx.

Por ejemplo, la superficie 22a reflectante es adecuada para reflejar las señales recibidas en la banda Rx y para dejar pasar las señales emitidas en la banda Tx. Según otro ejemplo, la superficie 22a reflectante es adecuada para reflejar las señales emitidas en la banda Tx y para dejar pasar las señales recibidas en la banda Rx. Sin embargo, según aún otro ejemplo, nada excluye, que la superficie 22a reflectante sea transparente para el conjunto de señales recibidas en la banda Rx y que la otra superficie 22b reflectante sea transparente para el conjunto de señales emitidas en la banda Tx.

En el ejemplo ilustrado en la Figura 2, y para la evolución de la descripción, se considera a título de ejemplo de ninguna manera limitativo que la superficie 22a reflectante ubicada más cerca de la red 23 de fuentes 24 es adecuada para reflejar las señales recibidas en la banda Rx y para ser transparente a las señales emitidas en la banda Tx. La superficie 22b reflectante ubicada detrás de la superficie 22a reflectante con respecto a la red 23 de fuentes 24 es adecuada para reflejar las señales transmitidas en la banda Tx y, opcionalmente, puede ser transparente a las señales recibidas en la banda Rx. En efecto, es ventajoso que cada superficie 22a, 22b reflectante sea transparente respectivamente a la banda Tx y a la banda Rx ya que el rendimiento de la antena 21 es entonces mejor.

En modos particulares de realización, las señales recibidas por las fuentes 24 en la banda Rx siguen una polarización diferente de una polarización seguida por las señales emitidas por las fuentes 24 en la banda Tx, y al menos la superficie 22a reflectante es transparente eléctricamente a una de estas dos polarizaciones.

Por ejemplo, las señales recibidas en la banda Rx siguen una polarización lineal según una dirección denominada «vertical» y las señales emitidas en la banda Tx siguen una polarización lineal en una dirección denominada «horizontal» que es ortogonal a la dirección «vertical». La superficie 22a reflectante incluye por ejemplo, un conjunto de cintas conductoras de electricidad, por ejemplo, en metal, dispuestas de manera paralela entre sí y de manera paralela a la dirección vertical de la polarización de las señales recibidas en la banda Rx, por tanto, la dicha superficie 22a reflectante es transparente a las señales emitidas en la banda Tx con una polarización lineal horizontal, a la vez que refleja las señales recibidas en la banda Rx con una polarización lineal vertical. De manera opcional, para mejorar los rendimientos de la antena 21, la superficie 22b reflectante también puede incluir un conjunto de cintas metálicas dispuestas de manera paralela entre sí y de manera paralela a la dirección horizontal de la polarización de las señales emitidas en la banda Tx, por tanto, la dicha superficie 22b reflectante será transparente a las señales recibidas en la banda Rx con una polarización lineal vertical, a la vez que refleja las señales emitidas en la banda Rx con una polarización lineal horizontal.

En modos particulares de realización, el reflector 22 incluye además medios mecánicos para impulsar en rotación la o las superficies 22a, 22b reflectantes que comprenden cintas metálicas tal como se describió anteriormente. Por tanto, tales disposiciones permiten intercambiar la polarización entre las señales recibidas en la banda Rx y las señales emitidas en la banda Tx. Por ejemplo, considerando la superficie 22a reflectante que incluye cintas metálicas verticales para reflejar las señales recibidas en la banda Rx según una polarización lineal vertical y dejar pasar las señales

emitidas en la banda Tx según una polarización lineal horizontal, si la dicha superficie 22a reflectante sufre una rotación de un cuarto de giro, resulta adecuado para reflejar las señales recibidas en la banda Rx según una polarización lineal horizontal y para dejar pasar las señales emitidas en la banda Tx según una polarización lineal vertical.

Cabe señalar que se pueden implementar otros medios para intercambiar la polarización entre las señales recibidas en la banda Rx y las señales emitidas en la banda Tx. Por ejemplo, la superficie 22a reflectante o las dos superficies 22a, 22b reflectantes pueden incluir un conjunto de cintas metálicas en la dirección vertical, y un conjunto de cintas metálicas en la dirección horizontal, e incluir además componentes eléctricos de control, como por ejemplo diodos, permitiendo activar o desactivar en control el conjunto de cintas horizontales o el conjunto de cintas verticales. Por ejemplo, las cintas son cortadas en segmentos cuya longitud es inferior a la longitud de onda y conectadas entre sí a través de componentes activos que desempeñan la función de interruptores. Cuando los interruptores están cerrados, las cintas interactúan con la onda y forman una estructura polarizante. Cuando los interruptores están abiertos, las longitudes de los segmentos son, por el contrario, lo suficientemente pequeñas para que no interactúen con la onda. Para conmutar entre dos polarizaciones, entonces es necesario, por ejemplo, cerrar todos los interruptores de las cintas horizontales y abrir todos los interruptores de las cintas verticales, o de manera inversa.

En modos particulares de realización, al menos una de las dos superficies 22a, 22b reflectantes, es decir, la superficie 22a reflectante ubicada más cerca de la red 23 de fuentes 24, es una superficie selectiva en frecuencia, como por ejemplo un reflector dicroico. Un reflector dicroico presenta propiedades de transmisión y reflexión de una onda electromagnética que dependen en gran medida de la longitud de onda. Por ejemplo, la superficie 22a reflectante refleja las señales recibidas en una banda de frecuencia que pertenece a la banda Rx y deja pasar las señales emitidas en una banda de frecuencia que pertenece a la banda Tx. Opcionalmente, la superficie 22b reflectante refleja las señales emitidas en una banda de frecuencia que pertenece a la banda Tx y deja pasar las señales emitidas en una banda de frecuencia que pertenece a la banda Rx. De manera ventajosa, las dos superficies 22a, 22b reflectantes son selectivas en frecuencia.

En modos de realización preferidos, la superficie 22a reflectante y la superficie 22b reflectante son ambas selectivas en frecuencia, y las fuentes 24 de la red 23 están además adecuadas para generar señales según polarizaciones diferentes en la banda Rx y/o en la banda Tx. Por tanto, se trata de poder utilizar simultáneamente dos polarizaciones diferentes en Rx y dos polarizaciones diferentes en Tx. Por ejemplo, se entiende por «dos polarizaciones diferentes» una polarización lineal vertical y una polarización lineal horizontal, o bien una polarización circular izquierda (LHCP para «*Left Hand Circular Polarization*» en la literatura anglosajona) y una polarización circular derecha (RHCP para «*Right Hand Circular Polarization*» en la literatura anglosajona).

La Figura 3 representa esquemáticamente un tal modo de realización. Tal como se ilustra en la Figura 3, la carga 20 útil del satélite 12 incluye cuatro redes de formación de haces. Una primera red 251 de formación de haces está configurada para recibir señales en la banda Rx según una polarización lineal en una dirección denominada vertical, una segunda red 252 de formación de haces está configurada para recibir señales en la banda Rx según una polarización lineal en un dirección denominada horizontal ortogonal a la dirección vertical, una tercera red 253 de formación de haces está configurada para emitir señales en la banda Tx según una polarización lineal en la dirección vertical, y una cuarta red 254 de formación de haces está configurada para emitir señales en la banda Tx según una polarización lineal en la dirección horizontal. Tales disposiciones permiten reutilizar simultáneamente una misma frecuencia o una misma sub-banda de frecuencias en la banda Rx o en la banda Tx según dos polarizaciones diferentes en un mismo haz o en dos haces que prestan servicio a zonas geográficas cercanas. Una polarización diferente para dos señales que utilizan una misma frecuencia o una misma sub-banda de frecuencias permite, en efecto, discriminar las dichas señales, a la vez que las interferencias serían demasiado elevadas para poder discriminar las dichas señales sin esta diferencia de polarización.

Aquí de nuevo, cabe señalar que las cuatro redes 251 a 254 de formación de haces ilustradas en la Figura 3 podrían posiblemente ser implementadas por una sola y misma entidad física, especialmente si se trata de redes de formación de haces digitales. Son representadas de manera separada en la Figura 3 ya que corresponden a elementos funcionales distintos.

Por otro lado, cabe señalar que el ejemplo descrito en la Figura 3 utiliza polarizaciones lineales vertical y horizontal, pero también es posible utilizar otros tipos de polarización. Especialmente, en una variante, es posible utilizar polarizaciones circulares izquierda (LHCP) y derecha (RHCP).

Las dos superficies 22a, 22b reflectantes son, por ejemplo, paraboloides de revolución y presentan diferentes curvaturas. Por tanto, cada superficie 22a, 22b reflectante produce una imagen aumentada (en el sentido óptico del término) de la red 23 de fuentes 24 con un factor de aumento diferente. Como se explicará con más detalle más adelante, para tener zonas geográficas cubiertas por los haces similares en recepción y en emisión, la relación entre los dichos factores de aumento se define ventajosamente con base en las frecuencias de la banda Rx y las frecuencias de la banda Tx.

La red 23 de fuentes 24 está por ejemplo desplazada con respecto a un plano focal de cada superficie 22a, 22b reflectante del reflector 22, y está dispuesta entre el dicho plano focal y el reflector 22 (antena de tipo DAFR, acrónimo inglés de «*Defocused Array Fed Reflector*», o bien, de tipo IPA, acrónimo ingles de «*Imaging Phased Array*»). En una

antena de tipo DAFR, solo un subconjunto de las fuentes 24 de la red 23 participa simultáneamente en la formación de un haz. En una antena de tipo IPA, la red 23 de fuentes 24 está generalmente más desplazada con respecto al plano focal que para una antena de tipo DAFR, y todas las fuentes 24 de la red 23 participan simultáneamente en la formación de un haz. En la descripción se ubica a título de ejemplo de ninguna manera limitativo, en el caso de una antena 21 de tipo DAFR.

En los ejemplos ilustrados en la Figura 2 y la Figura 3, cada fuente 24 de la red 23 participa tanto en la emisión como en la recepción de señales. Por tanto, cada fuente 24 está asociada, por ejemplo, a un amplificador de bajo ruido (LNA para «*Low Noise Amplifier*» en la literatura anglosajona) para la recepción de señales, y de un amplificador de potencia de tipo SSPA («*Solid State Power Amplifier*» en la literatura anglosajona) para la emisión de señales. Por tanto, la complejidad, el coste, la masa y el volumen de la carga 20 útil están fuertemente relacionados al número de fuentes 24 en la red 23, así como al número de elementos (LNA, amplificadores de potencia) conectados a estas fuentes. Es conveniente reducir este número tanto como sea posible conservando los rendimientos y la flexibilidad necesarios para la misión del satélite 12.

El hecho de utilizar una sola y misma red 23 de fuentes 24 para la emisión y la recepción de señales es un medio de limitar el número de fuentes 24 por incorporar en la carga 20 útil del satélite 12, en comparación con las soluciones que incorporan, por ejemplo, dos redes de fuentes diferentes, una para la recepción y otra para la emisión.

Sin embargo, de una manera conocida por los expertos en la técnica, existen restricciones en las dimensiones y el espaciamiento de las fuentes 24 con base en las frecuencias a las cuales operan, que en principio obstruyen la posibilidad de utilizar una misma red 23 de fuentes 24 para la emisión y la recepción, en particular si se desea cubrir zonas geográficas idénticas, o casi idénticas, en emisión y en recepción, y si la banda Rx y la banda Tx están separadas entre sí con una separación importante, por ejemplo superior a 1 GHz, que es especialmente el caso para la banda Ka.

Una primera limitación se apoya en la relación existente entre la directividad de una antena, la apertura de la dicha antena, y la longitud de onda de la frecuencia de trabajo de la antena.

Por directividad, se entiende la relación entre la potencia radiada por una antena en una dirección determinada y la potencia que irradia una antena isotrópica. Por apertura, se entiende aquí la superficie ocupada aproximadamente por el conjunto de fuentes 24 de la red 23 (esto corresponde al término inglés «*aperture*» utilizado algunas veces en francés en el campo de las antenas).

Por tanto, es conocido por los expertos en la técnica, que la directividad de una antena es sustancialmente proporcional a su apertura y contraria del cuadrado de la longitud de onda utilizada. En otras palabras, si la apertura se asimila a la superficie de un disco, para formar haces direccionales una antena debe presentar un diámetro de apertura tanto mayor cuanto mayor sea la longitud de onda utilizada. Por tanto, un valor de directividad deseado y una longitud de onda máxima en una banda de frecuencia determinada imponen un tamaño mínimo para el diámetro de la apertura.

Una segunda limitación se apoya en la relación entre la distancia que separa dos fuentes 24 de la red 23 y la aparición de los lóbulos denominados “de red” en la radiación de la antena. Los lóbulos de red se vuelven más cercanos (en términos de diferencia de dirección angular con respecto a la dirección angular de un lóbulo principal correspondiente al haz que se desea formar) y más fuertes (en términos de directividad) cuando la distancia que separa dos fuentes 24 de la red 23 aumenta. Estos lóbulos de red pueden ser fuente de interferencia para las señales intercambiadas en los diferentes haces. Esta relación también depende de la longitud de onda utilizada. Cuanto menor sea la longitud de onda utilizada, menor será la distancia que separa dos fuentes 24 de la red 23 para limitar la presencia de lóbulos de red. Por tanto, los valores umbrales para los lóbulos de red (en términos de dirección angular y/o directividad) y una longitud de onda mínima en una banda de frecuencias determinada imponen una distancia máxima que separa dos fuentes 24 de la red 23.

Las Figuras 4 a 6 ilustran esquemáticamente en la técnica anterior la dificultad de utilizar una sola y misma red 23 de fuentes 24 para la emisión y la recepción de señales cuando la banda Rx y la banda Tx están separadas una de la otra por una separación importante, por ejemplo, superior a 1 GHz (que es especialmente el caso para la banda Ka), y cuando se desea cubrir zonas geográficas idénticas, o casi idénticas, en emisión y en recepción. Para simplificar la explicación, se ubica para las Figuras 4 a 6 en el caso de una antena sin reflector de tipo DRA («*Direct Radiating Array*» en la literatura anglosajona). Sin embargo, cabe señalar que cada red de fuentes ilustrada en las Figuras 4 a 6 también podría verse como la imagen producida por un reflector convencional de una red de fuentes de una antena con reflector.

La parte a) de la Figura 4 representa esquemáticamente una red 231 de fuentes 241 adecuadas para emitir señales en la banda Tx de la banda Ka según los haces predeterminados. En el ejemplo considerado, las fuentes 241 están dispuestas de tal modo que se integren en un círculo cuya superficie se asimila a la apertura de la red 231. Las fuentes 241 son adyacentes entre sí, pero una distancia máxima que separa los centros de dos fuentes 241 adyacentes (y por lo tanto la superficie máxima de una fuente 241 y el número mínimo de fuentes 241 en la red) está impuesta por las restricciones vinculadas a los lóbulos de la red.

Cabe señalar que, en el ejemplo considerado, de ninguna manera limitativo, las fuentes 241 están en forma de disco. En las variantes, las fuentes 241 podrían tener otras formas, como, por ejemplo, cuadrados, hexágonos, etc. Además, la disposición de las fuentes 241 podría ser diferente de la ilustrada en la parte a) de la Figura 4.

Tal como se ilustra en la parte c) de la Figura 4, los haces están predeterminados, por ejemplo, de modo que cada haz cubra una zona 31 geográfica de una región 30 geográfica de la superficie de la Tierra, y de modo que el conjunto de la dicha región geográfica sea cubierto por el conjunto de los haces. Las restricciones vinculadas a la apertura de la red 231 y al espaciamiento de las fuentes 241 descritas anteriormente permiten entonces determinar una distancia máxima d_{Tx} que separa el centro de dos fuentes 241 adyacentes y un diámetro mínimo D_{Tx} de la apertura de la red 231 de fuentes 241 utilizada en emisión, con base en, respectivamente, la longitud de onda mínima y la longitud de onda máxima de las frecuencias de la banda Tx. Entonces, un número de fuentes 241 también puede ser determinado. En el ejemplo considerado, la red 231 de fuentes 241 para la emisión contiene 144 (ciento cuarenta y cuatro) fuentes 241, presenta un diámetro D_{Tx} de 75 cm, y la distancia d_{Tx} que separa los centros de dos fuentes 241 adyacentes es de 5,41 cm. La longitud de onda mínima, y máxima, en la banda Tx es de 1,49 cm, y 1,73 cm respectivamente.

Cabe señalar que la Figura 4 es esquemática y que el número de fuentes 241 representadas no corresponde estrictamente con la realidad (en otras palabras, no se representan todas las fuentes 241). Es lo mismo para las otras figuras que representan una red de fuentes.

De manera similar, es posible, a partir de las mismas restricciones y para cubrir zonas 31 geográficas idénticas o casi idénticas, determinar una distancia máxima d_{Rx} que separa el centro de dos fuentes 242 y un diámetro mínimo D_{Rx} de la apertura de una red 232 de fuentes 242 utilizada en recepción con base en, respectivamente, la longitud de onda mínima y la longitud de onda máxima de las frecuencias de la banda Rx. La parte b) de la Figura 4 representa esquemáticamente una tal red 232 de fuentes 242 adecuadas para recibir señales en la banda Rx de la banda Ka. En el ejemplo considerado, la red 232 de fuentes 242 para la recepción contiene entonces 127 (ciento veintisiete) fuentes 242, presenta un diámetro D_{Rx} de 48 cm y una distancia d_{Rx} que separa los centros de dos fuentes 242 adyacentes de 3,71 cm. La longitud de onda mínima, y máxima en la banda de Rx es de 1,02 cm, y 1,11 cm respectivamente.

Por tanto, parece que la diferencia importante entre las longitudes de onda mínima o máxima de la banda Rx y de la banda Tx conduce a incompatibilidades en términos de dimensionamiento de una red de fuentes para prestar servicio a zonas 31 geográficas determinadas en emisión y en recepción.

La parte a) de la Figura 5 representa esquemáticamente una red 233 de fuentes 243 similar a la ilustrada en la parte a) de la Figura 4, pero utilizada tanto en emisión como en recepción. Presenta un diámetro D_{Tx} y una distancia que separa los centros de dos fuentes igual a d_{Tx}.

De manera similar a la parte b) de la Figura 4, la parte b) de la Figura 5 representa esquemáticamente la región 30 geográfica cubierta por los haces formados en emisión por esta red 233 de fuentes 243, cada haz presta servicio a una zona 31 geográfica determinada de la región 30 geográfica.

La parte c) de la Figura 5 representa esquemáticamente las zonas 32 geográficas correspondientes a los haces que pueden ser recibidos por la red 233 de fuentes 243, cada haz presta servicio a una zona 32 geográfica particular. Como la longitud de onda máxima de la banda Rx es inferior a la longitud de onda máxima de la banda Tx, para una apertura determinada, la directividad de los haces en recepción es más fuerte que la de los haces en emisión (en otras palabras, el ángulo de apertura para los haces en recepción es menor que la de los haces en emisión). Por tanto, cada zona 32 geográfica cubierta en recepción por un haz es más pequeña que la zona 31 geográfica correspondiente cubierta en emisión. En consecuencia, los haces en recepción no permiten cubrir la totalidad de la región 30 geográfica.

La Figura 6 representa esquemáticamente una red 234 de fuentes 244 de diámetro D_{Tx} igual al diámetro de la red 231 de fuentes 241 descrita con referencia a la parte a) de la Figura 4, y para la cual la distancia entre los centros de dos fuentes 244 adyacentes es igual a la distancia d_{Rx} correspondiente para la red 232 de fuentes 242 descrita con referencia a la parte b) de la Figura 4. Una tal red 234 de fuentes 244 incluye 308 (trescientas ocho) fuentes, de las cuales 127 (ciento veintisiete) pueden ser utilizadas en recepción, y la totalidad pueden ser utilizadas en emisión. Una tal red 234 de fuentes 244 permite entonces prestar servicio a zonas 31 geográficas equivalentes a las descritas con referencia a la parte c) de la Figura 4 tanto en emisión como en recepción. Sin embargo, una tal red 234 de fuentes 244 está sobredimensionada ya que incluye 308 (trescientas ocho) fuentes, y 435 (cuatrocientos treinta y cinco) amplificadores: 127 (ciento veintisiete) amplificadores de tipo LNA y 308 (trescientos ocho) amplificadores de tipo SSPA. Un tal número de elementos penaliza significativamente la carga 20 útil del satélite 12 en términos de coste, complejidad, masa y volumen.

Para resolver el problema descrito anteriormente con referencia a las Figuras 4 a 6, la carga 20 útil según la invención incorpora una misma red 23 de fuentes 24 adecuadas para operar en dos bandas diferentes, por ejemplo, en emisión y en recepción, así como el reflector 22 presenta dos superficies 22a, 22b reflectantes.

La Figura 7 representa esquemáticamente un modo de realización preferido de una red 23 de fuentes 24 de la carga 20 útil según la invención. La red 23 incluye fuentes 24 adecuadas para operar en emisión y en recepción (por tanto, cada fuente 24 está, por ejemplo, asociada a un amplificador de tipo LNA y a un amplificador de tipo SSPA). Las dimensiones y la disposición de las fuentes 24 por un lado, y la curvatura y disposición de las superficies 22a, 22b

reflectantes por otro lado, son tales que la imagen 24b de la red 23 de fuentes 24 producida por la superficie 22b reflectante del reflector 22 es sustancialmente equivalente a la red 231 de fuentes 241 de la parte a) de la Figura 4, y que la imagen 24a de la red 23 de fuentes 24 producida por la superficie 22a reflectante del reflector 22 es sustancialmente equivalente a la red 232 de fuentes 242 de la parte b) de la Figura 4.

En otros términos, si se señala:

• M_{Tx} el factor de aumento de la superficie 22b reflectante,

• M_{Rx} el factor de aumento de la superficie 22a reflectante,

• D el diámetro de la apertura de la red 23 de fuentes 24,

• d la distancia que separa los centros de dos fuentes 24 adyacentes de la red 23,

entonces las siguientes fórmulas son verificadas:

• $D \times M_{Tx} \approx D_{Tx}$

• $d \times M_{Tx} \approx d_{Tx}$

• $D \times M_{Rx} \approx D_{Rx}$

• $d \times M_{Rx} \approx d_{Rx}$

donde «A ≈ B» significa «A es sustancialmente igual a B», por ejemplo, con un margen de error del 10% (en otras palabras $|A - B| \leq \frac{A}{10}$).

Como se explicó anteriormente, para los valores de umbral en términos por un lado de directividad de un haz, y por otro lado de dirección angular y/o directividad de los lóbulos de red, el diámetro D_{Tx} (respectivamente D_{Rx}) está impuesto por la longitud de onda máxima de la banda Tx (respectivamente de la banda Rx), y la distancia d_{Tx} (respectivamente d_{Rx}) entre los centros de dos fuentes 24 adyacentes está impuesta por la longitud de onda mínima de la banda Tx (respectivamente de la banda Rx).

Para poder cubrir una zona geográfica predeterminada con un haz en recepción y un haz en emisión similares (o, en otras palabras, para que un haz en emisión y un haz en recepción puedan cubrir zonas geográficas sustancialmente idénticas), la relación entre los factores de aumento se puede definir ventajosamente como siendo sustancialmente iguales a una relación entre una longitud de onda particular de la banda Rx y una longitud de onda particular de la banda Tx.

En el ejemplo considerado, los factores M_{Tx} y M_{Rx} de aumento se eligen de tal modo que su relación sea sustancialmente igual a la relación entre la longitud de onda mínima $\lambda_{mín,Tx}$ de la banda Tx y la longitud de onda mínima $\lambda_{mín,Rx}$ de la banda Rx. Para la banda Ka, $\lambda_{mín,Tx}$ es de aproximadamente 1,49 cm y $\lambda_{mín,Rx}$ es de aproximadamente 1,02 cm. Entonces, se elige, por ejemplo, el valor 2,5 para M_{Tx} y el valor 1,7 para M_{Rx}. La red 23 incluye entonces 144 (ciento cuarenta y cuatro) fuentes, el diámetro D es de aproximadamente 28 cm y la distancia d es de aproximadamente 2,1 cm.

Cabe señalar que se pueden emplear otros procedimientos para definir los factores M_{Tx} y M_{Rx} de aumento con base a las frecuencias de la banda Rx y las frecuencias de la banda Tx. Por ejemplo, en una variante, los factores M_{Tx} y M_{Rx} de aumento pueden elegirse de tal modo que su relación sea sustancialmente igual a la relación entre la longitud de onda máxima de la banda Tx y la longitud de onda máxima de la banda Rx. Según otro ejemplo, los factores M_{Tx} y M_{Rx} de aumento pueden elegirse de tal modo que su relación sea sustancialmente igual a la relación entre la longitud de onda media de la banda Tx y la longitud de onda media de la banda Rx. Según aún otro ejemplo, los factores M_{Tx} y M_{Rx} de aumento pueden elegirse de tal modo que su relación sea sustancialmente igual a la relación entre la suma de la longitud de onda mínima de la banda Tx con la longitud de onda mínima de la banda Rx y la suma de la longitud máxima de la banda Tx con la longitud máxima de la banda Rx.

La Figura 8 representa esquemáticamente la disposición de las superficies 22a, 22b reflectantes del reflector 22 con respecto a la red 23 de fuentes 24 para un modo de realización preferido de la carga 20 útil según la invención.

La superficie 22a reflectante es adecuada para reflejar las señales recibidas en la banda Rx y para dejar pasar las señales emitidas en la banda Tx. La curvatura de la superficie 22a reflectante es tal que presenta una distancia focal F_{Rx}. La red 23 de fuentes 24 está desplazada con respecto a un plano 42a focal de la superficie 22a reflectante de una distancia señalada como δ_{Rx}.

La superficie 22b reflectante es adecuada para reflejar señales emitidas en la banda Tx y para dejar pasar las señales recibidas en la banda Rx. La curvatura de la superficie 22b reflectante es tal que presenta una distancia focal F_{Tx}. La

red 23 de fuentes 24 está desplazada con respecto a un plano 42b focal de la superficie 22b reflectante de una distancia indicada como δ_{Tx}.

Las dos superficies 22a, 22b reflectantes presentan sustancialmente un mismo eje 40 focal y la distancia entre las dos superficies 22a, 22b reflectantes según este eje 40 focal se señala como δ.

Los valores de F_{Tx}, F_{Rx}, δ_{Tx}, δ_{Tx} se eligen entonces de tal modo que verifiquen la siguiente ecuación (1):

$$\frac{M_{TX}}{M_{RX}} = \frac{F_{TX}}{\delta_{TX}} \cdot \frac{\delta_{RX}}{F_{RX}} \qquad (1)$$

Por ejemplo, se eligen los siguientes valores:

- $M_{Tx} = 2,5$
- $M_{Rx} = 1,7$
- $F_{Tx} = 5$ m
- $F_{Rx} = 6,8$ m
- $\delta_{Tx} = 2$ m
- $\delta_{Rx} = 4$ m

Entonces, el valor de δ puede ser calculado como se indica a continuación:

$$\delta = F_{TX} - (F_{RX} - \cdot \delta_{RX} + \delta_{TX})$$

Entonces se obtiene δ = 0,2 m.

Puede haber varios procedimientos para elegir estos valores. Por ejemplo, los valores F_{Tx}, F_{Rx} y $5_{R}x$ son fijados arbitrariamente, luego los valores δ_{Tx} y δ son deducidos para satisfacer la fórmula (1). Según otro ejemplo, los valores δ_{Rx}, δ_{Tx} y F_{Tx} son fijados arbitrariamente, luego los valores F_{Rx} y δ son deducidos para satisfacer la fórmula (1).

En modos particulares de realización, el reflector 22 y/o la red 23 de fuentes 24 es orientable con el fin de poder cubrir diferentes regiones 30 geográficas a lo largo de la misión del satélite 12.

En modos particulares de realización, por ejemplo, si el satélite 12 debe cubrir diferentes regiones geográficas en emisión y en recepción, las superficies 22a, 22b reflectantes pueden ser puestas en forma y dispuestas de tal modo que las zonas geográficas cubiertas por los haces en emisión sean diferentes (por ejemplo, en forma, tamaño, posición) de las zonas geográficas cubiertas por los haces en recepción.

En modos particulares de realización, una de las dos superficies 22a, 22b reflectantes puede ser sustancialmente plana (factor de aumento sustancialmente igual a 1), por ejemplo, si la red 23 de fuentes 24 presenta directamente dimensiones apropiadas para formar haces adecuados a las zonas 31 geográficas por cubrir en emisión o en recepción.

En modos particulares de realización, la carga 20 útil del satélite 12 puede incorporar otro reflector utilizado en asociación con el reflector 22 de doble superficie reflectante según la invención. Tales sistemas que emplean un reflector denominado «primario» y un reflector denominado «secundario» (o «subreflector») son conocidos por los expertos en la técnica, por ejemplo, los sistemas de tipo Cassegrain o Gregoriano, o bien, los sistemas denominados como «Antenas confocales».

La Figura 9 ilustra esquemáticamente un modo de realización con un sistema confocal. En un sistema confocal, el punto focal de un reflector primario debe coincidir sustancialmente con el punto focal del reflector secundario. Por otro lado, se conoce que el factor de aumento de un sistema confocal convencional corresponde a la relación entre la distancia focal del reflector primario y la distancia focal del reflector secundario.

Tal como se ilustra en la Figura 9, un reflector 27 primario coopera con un reflector 22 secundario para emitir y o recibir las señales provenientes o con destino a las fuentes 24. El reflector 22 secundario es un reflector que presenta dos superficies 22a, 22b reflectantes. Cabe señalar que en el ejemplo ilustrado en la Figura 9, y a diferencia del ejemplo ilustrado en la Figura 8, es la superficie 22a reflectante más cercana de la red 23 de fuentes 24 la que es más curvada y la que opera en emisión en la banda Tx. La otra superficie 22b reflectante está menos curvada y opera en la banda Rx.

Siendo la superficie 22a reflectante más curvada, presenta una distancia focal más corta que la otra superficie 22b reflectante, entonces es posible, eligiendo adecuadamente la distancia que separa las dos superficies 22a y 22b reflectantes tratar de que el punto focal de cada superficie 22a, 22b reflectante coincida sustancialmente con el punto focal del reflector 27 principal. Además, se señala:

• F: la distancia focal del reflector 27 primario

• F_{Tx} y F_{Rx}: las distancias focales respectivas de las superficies 22a y 22b reflectantes del reflector 22 secundario, en tal caso, los respectivos factores de aumento, M_{Tx} en emisión y M_{Rx} en recepción se definen de la siguiente manera:

$$M_{TX} = \frac{F}{F_{TX}}$$

$$M_{RX} = \frac{F}{F_{RX}}$$

Entonces es posible obtener los valores de aumento deseados Para M_{Tx} y M_{Rx} eligiendo de manera apropiada las distancias focales F, F_{Tx} y F_{Rx}.

En el ejemplo ilustrado en la Figura 9, el reflector 22 secundario es un reflector 22 de doble superficie reflectante según la invención, y el reflector 27 primario es un reflector convencional que presenta una sola superficie reflectante. Sin embargo, en una variante, nada impide, que el reflector primario sea un reflector 22 de doble superficie reflectante y que el reflector secundario sea un reflector convencional que presenta una sola superficie reflectante, o incluso que los dos reflectores primario y secundario sean reflectores 22 de doble superficie reflectante.

La descripción anterior ilustra claramente que, por sus diferentes características y sus ventajas, la presente invención logra los objetivos fijados.

En particular, la utilización de una antena multihaz de tipo MFPB con una red 23 de fuentes 24 y una o más redes 25a, 25b de formación de haces ofrece la flexibilidad requerida en términos de cobertura y capacidad gracias a la repartición de la potencia y del ancho de banda disponibles al nivel de la carga 20 útil del satélite 12. Por otro lado, la solución propuesta es poco compleja y particularmente compacta, tanto al nivel de la red 23 de fuentes 24 como al nivel del reflector 22. En efecto, el hecho de utilizar una sola y misma red 23 de fuentes 24 para la emisión y para la recepción permite limitar el número de fuentes 24. Además, la invención permite utilizar un número total de amplificadores (LNA, SSPA) comparable con la correspondiente a una solución que utiliza dos redes de fuentes distintas, una en recepción y la otra en emisión. Este número total de amplificadores es mucho menor que el correspondiente a una solución «ingenua» tal como la descrita con referencia a la Figura 6. Esto conduce a una ganancia en términos de complejidad, volumen y masa. Además, la utilización de un reflector de doble superficie reflectante permite limitar considerablemente el volumen ocupado por la antena, así como su masa, en comparación, por ejemplo, con los sistemas para los cuales se deben utilizar varios reflectores distintos y colocarlos en línea de vista directa con una red de fuentes. Por tanto, el conjunto de estas características confiere a la carga 20 útil según la invención una ventaja importante en términos de complejidad, volumen y masa.

De manera más general, cabe señalar que los modos de realización considerados anteriormente se han descrito a título de ejemplos no limitativos, y que otras variantes son por consiguiente viables.

Especialmente, la invención ha sido descrita considerando que la antena 21 de la carga 20 útil del satélite 12 está configurada para emitir y recibir señales respectivamente en la banda Tx y la banda Rx de la banda Ka. Pero de manera general, la invención es aplicable en el caso donde una antena 21 de la carga 20 útil del satélite 12 se utilice para la emisión o la recepción de datos en una primera banda de frecuencias, denominada «banda B1», y para la emisión o la recepción de datos en una segunda banda de frecuencias, denominada «banda B2», en el caso donde la banda B1 y la banda B2 tengan una separación frecuencial importante, por ejemplo, superior al 10% de la frecuencia central de la banda B1.

Además, la forma, disposición o dimensiones de las fuentes 24 o de la red 23 han sido dadas a título de ejemplo no limitativo. Otras opciones para estos parámetros corresponden a variaciones de la invención. Por ejemplo, las fuentes 24 podrían tener una forma cuadrada o hexagonal, y podrían estar dispuestas dentro de la red 23 de manera diferente como en forma de un disco, por ejemplo, con base en la forma de la región geográfica por cubrir.

De la misma manera, la curvatura y la disposición de las superficies 22a, 22b reflectantes en los ejemplos descritos no deben considerarse como limitativos. Otros valores pueden ser en efecto, elegidos, por ejemplo, para las distancias focales de las superficies 22a, 22b reflectantes, para las distancias entre la red 23 de fuentes 24 y los planos focales de las superficies reflectantes, o también para la distancia que separa las dos superficies reflectantes.

Se han propuesto dos ejemplos de selectividad para las superficies 22a, 22b reflectantes: por polarización, o por frecuencia. Aquí también, se puede considerar elegir otras soluciones que permitan hacer una superficie reflectante transparente para las señales transportadas en una banda de frecuencias. Tales soluciones alternativas deben considerarse como variantes de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Carga (20) útil de satélite (12) de un sistema (10) de telecomunicaciones por satélite, comprendiendo la dicha carga (20) útil un reflector (22), una red (23) de fuentes (24), y una red (25a, 25b) de formación de haces conectada a las dichas fuentes (24), siendo la dicha red (23) de fuentes (24) adecuada para formar haces para transportar señales tanto en una primera banda de frecuencias, denominada banda B1, como en una segunda banda de frecuencias, denominada banda B2, siendo la dicha banda B2 de frecuencias diferente de la banda B1 de frecuencias, estando cada haz formado por varias fuentes (24) de la dicha red (23) de fuentes (24), siendo cada fuente (24) de la red (23) de fuentes (24) adecuada para la banda B1 y para la banda B2, comprendiendo el dicho reflector (22) dos superficies (22a, 22b) reflectantes posicionadas una detrás de la otra con respecto a la red (23) de fuentes (24) y presentando diferentes curvaturas de modo que cada superficie (22a, 22b) reflectante sea adecuada para producir una imagen de la red (23) de fuentes (24) con un factor de aumento diferente, siendo la superficie (22a) reflectante la más cercana de la red (23) de fuentes (24) siendo transparente para el conjunto de las señales transportadas en la banda B2 y adecuada para reflejar las señales transportadas en la banda B1, y siendo la otra superficie (22b) reflectante adecuada para reflejar las señales transportadas en la banda B2.

2. Carga (20) útil según la reivindicación 1, en la cual la superficie (22b) reflectante más alejada de la red (23) de fuentes (24) es además transparente para el conjunto de señales transportadas en la banda B1.

3. Carga (20) útil según una de las reivindicaciones 1 a 2 en la cual las señales transportadas en la banda B1 siguen una polarización diferente de una polarización seguida por las señales transportadas en la banda B2, y una superficie (22a, 22b) reflectante transparente es eléctricamente inoperante para una de estas dos polarizaciones.

4. Carga (20) útil según la reivindicación 3 en la cual una superficie (22a, 22b) reflectante transparente incluye cintas conductoras de la electricidad dispuestas de manera paralela entre sí.

5. Carga (20) útil según la reivindicación 4 en la cual el reflector (22) incluye además medios adecuados para impulsar en rotación la o las superficies (22a, 22b) reflectantes que comprenden las cintas conductoras.

6. Carga (20) útil según una de las reivindicaciones 1 a 2 en la cual una superficie (22a, 22b) reflectante transparente es una superficie selectiva en frecuencia.

7. Carga (20) útil según la reivindicación 6 en la cual las fuentes (24) están además adecuadas para emitir o recibir señales según las diferentes polarizaciones en la banda B1 y/o en la banda B2.

8. Carga (20) útil según una de las reivindicaciones 1 a 7 en la cual la relación entre los factores de aumento se define en función de las frecuencias de las bandas B1 y B2 de modo que los haces formados en la banda B1 y los haces formados en la banda B2 cubran zonas geográficas idénticas.

9. Carga (20) útil según la reivindicación 8 en la cual la relación entre los factores de aumento está comprendida entre el 90% y el 110% de una relación entre una longitud de onda particular de la banda B1 y una longitud de onda particular de la banda B2.

10. Carga (20) útil según la reivindicación 9 en la cual la relación entre los factores de aumento está comprendida entre el 90% y el 110% de una relación $\frac{\lambda_{\min,B1}}{\lambda_{\min,B2}}$, donde $\lambda_{mín,B1}$ y $\lambda_{mín,B2}$ son respectivamente la longitud de onda más pequeña de la banda B1 y la longitud de onda más pequeña de la banda B2.

11. Carga (20) útil según una de las reivindicaciones 1 a 10 en la cual la banda B1 y/o la banda B2 pertenecen a una de las bandas Ku, Ka, Q o V.

12. Carga (20) útil según una de las reivindicaciones 1 a 10 en la cual la banda B1 y la banda B2 corresponden respectivamente al conjunto de frecuencias ascendentes y al conjunto de frecuencias descendentes de una de las bandas Ku, Ka, Q o V.

13. Carga (20) útil según una de las reivindicaciones 1 a 12 en la cual el reflector (22) y/o la red (23) de fuentes (24) son orientables.

14. Carga (20) útil según una de las reivindicaciones 1 a 13 en la cual el reflector (22) que comprende dos superficies (22a, 22b) reflectantes corresponde a un reflector primario o a un reflector secundario de un sistema de dos reflectores.

15. Satélite (12) de un sistema de telecomunicaciones por satélite, comprendiendo el dicho satélite una carga (20) útil según una de las reivindicaciones 1 a 14.

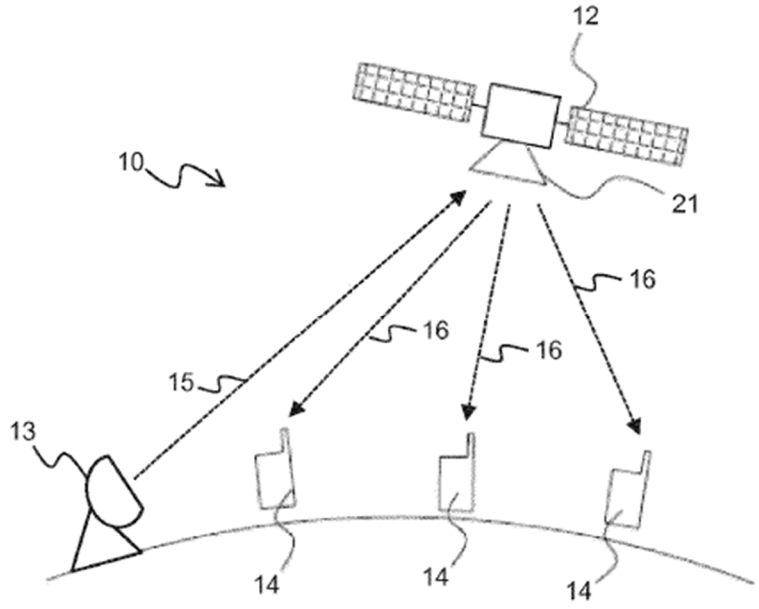

12
10
21
16
16
16
15
13
14
14
14

Fig. 1

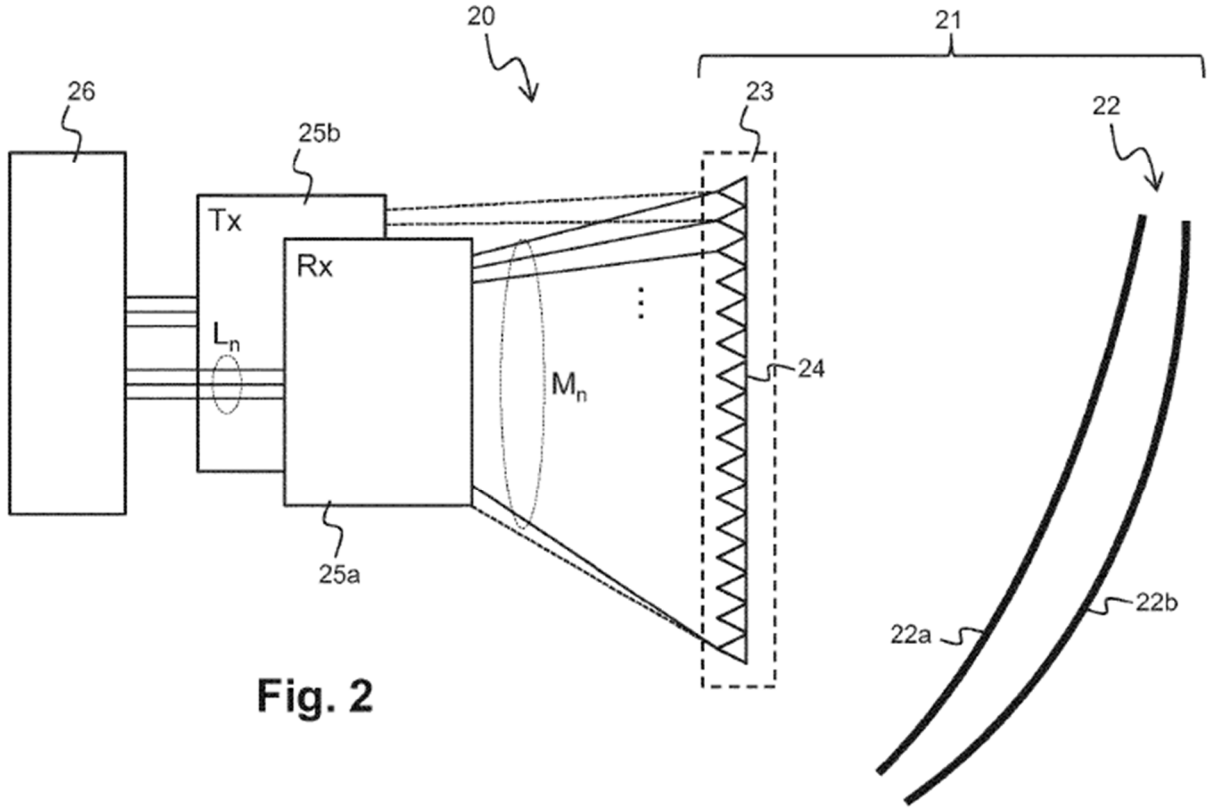

20
21
26
23
22
25b
Tx
Rx
L_n
M_n
24
25a
22a
22b

Fig. 2

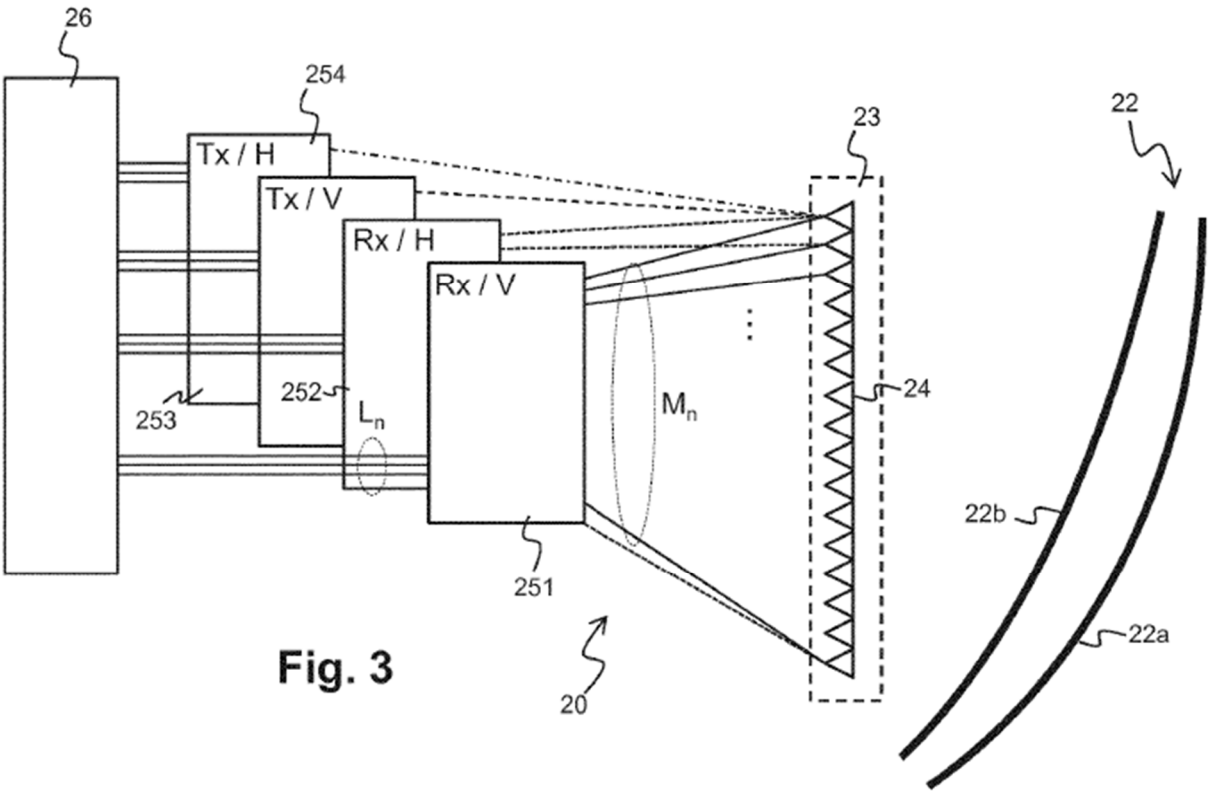

26
254
Tx / H
Tx / V
Rx / H
Rx / V
23
22
24
253
252
L_n
M_n
22b
22a
251
20

Fig. 3

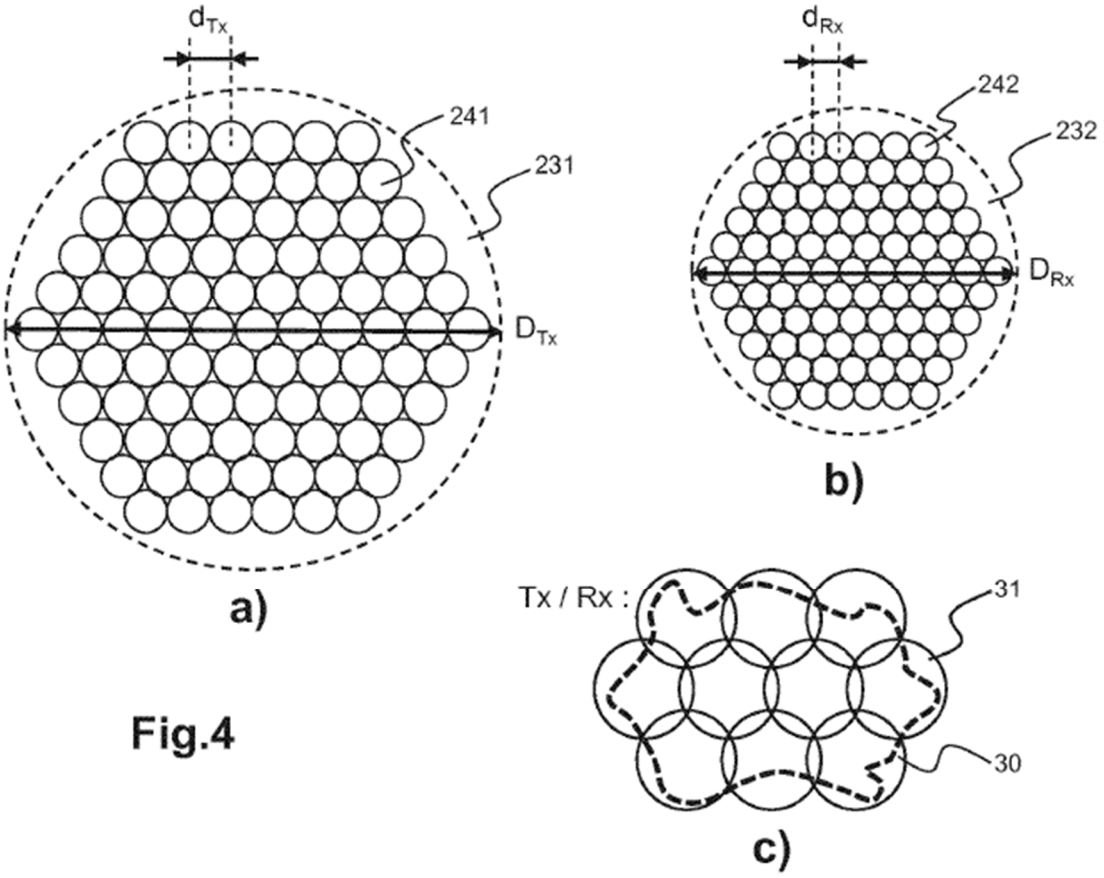

d_{Tx}
241
231
D_{Tx}
a)
d_{Rx}
242
232
D_{Rx}
b)
Tx / Rx :
31
30
c)

Fig.4

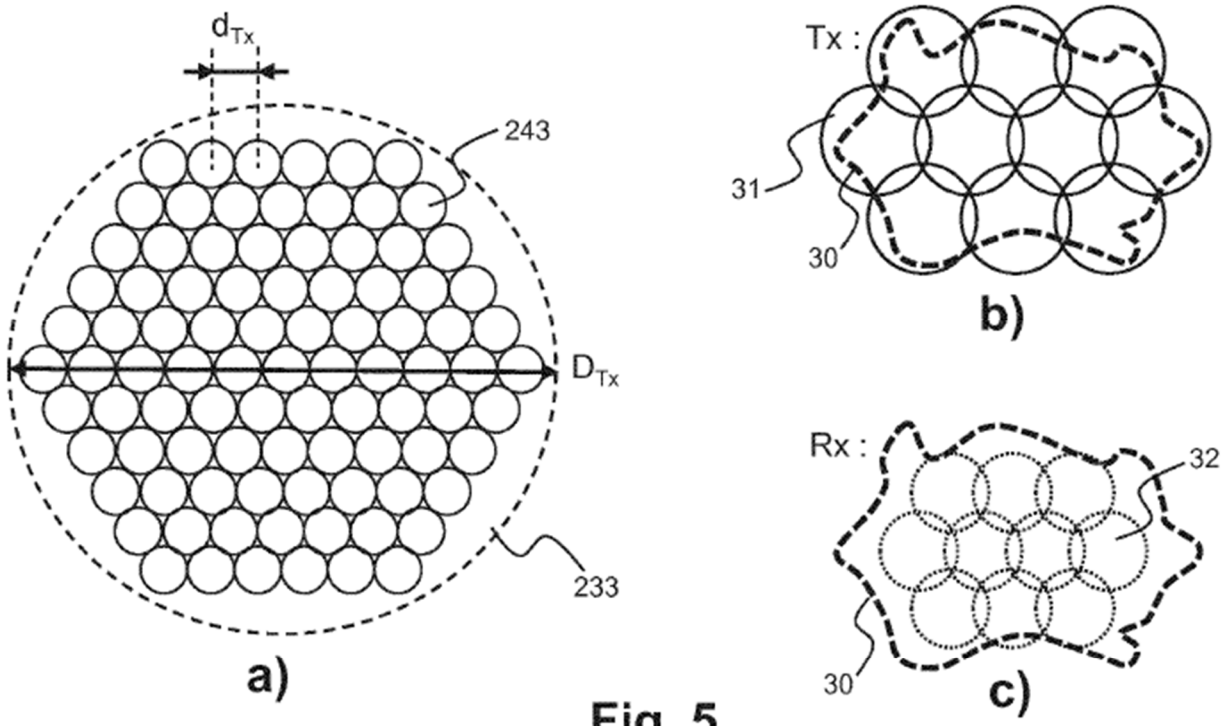


Fig. 5

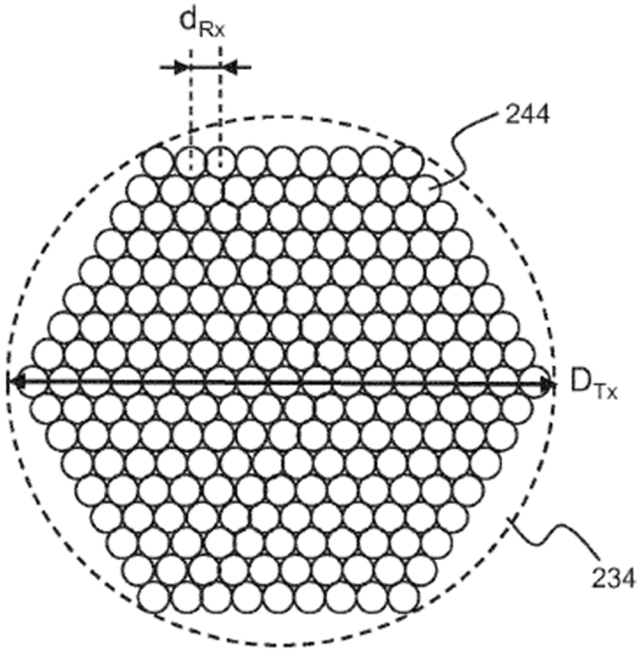


Fig.6

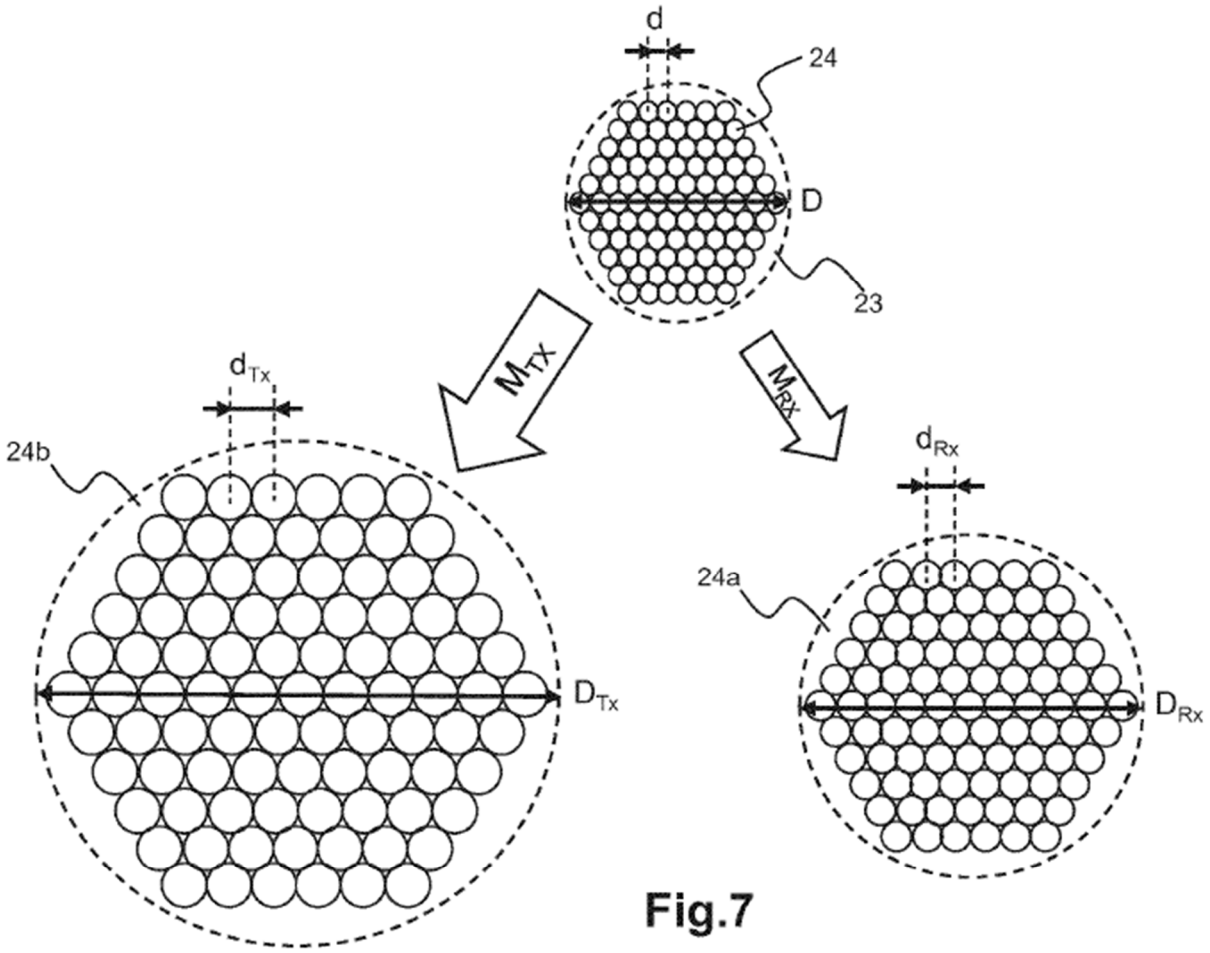

d
24
D
23
M_{TX}
M_{RX}
d_{Tx}
24b
D_{Tx}
d_{Rx}
24a
D_{Rx}

Fig.7

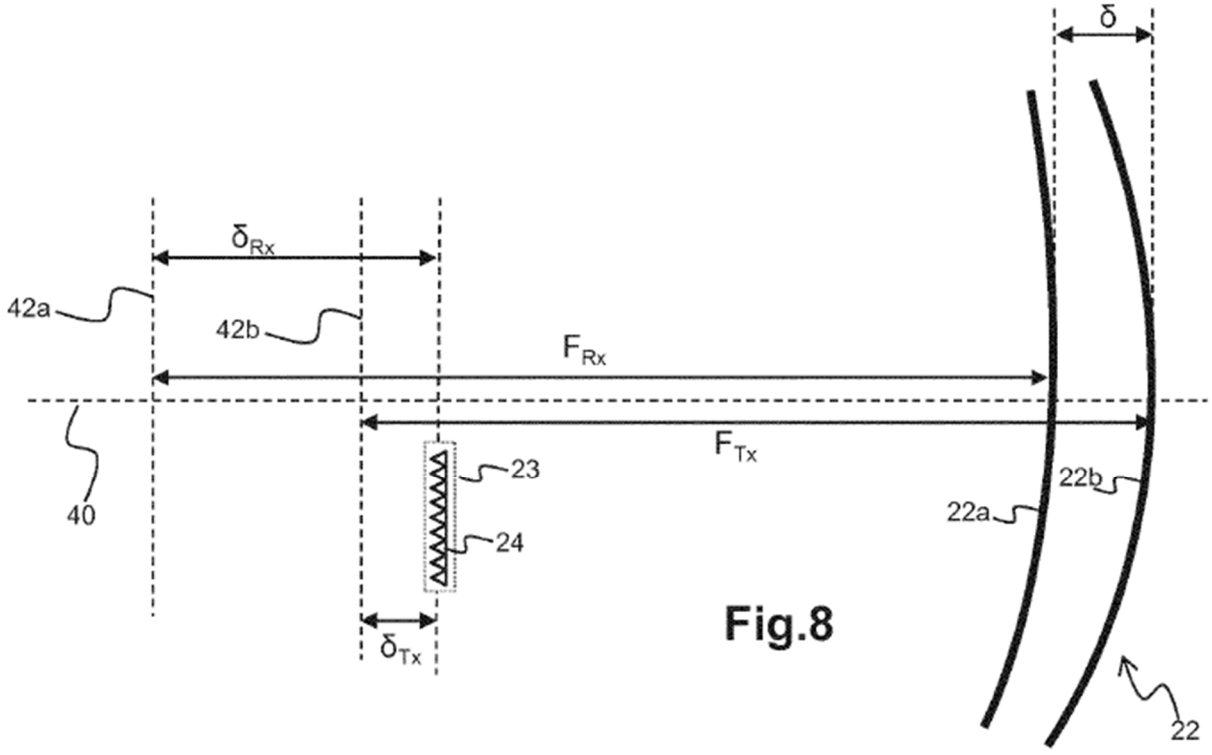

δ
δ_{Rx}
42a
42b
F_{Rx}
F_{Tx}
40
23
24
δ_{Tx}
22b
22a
22

Fig.8

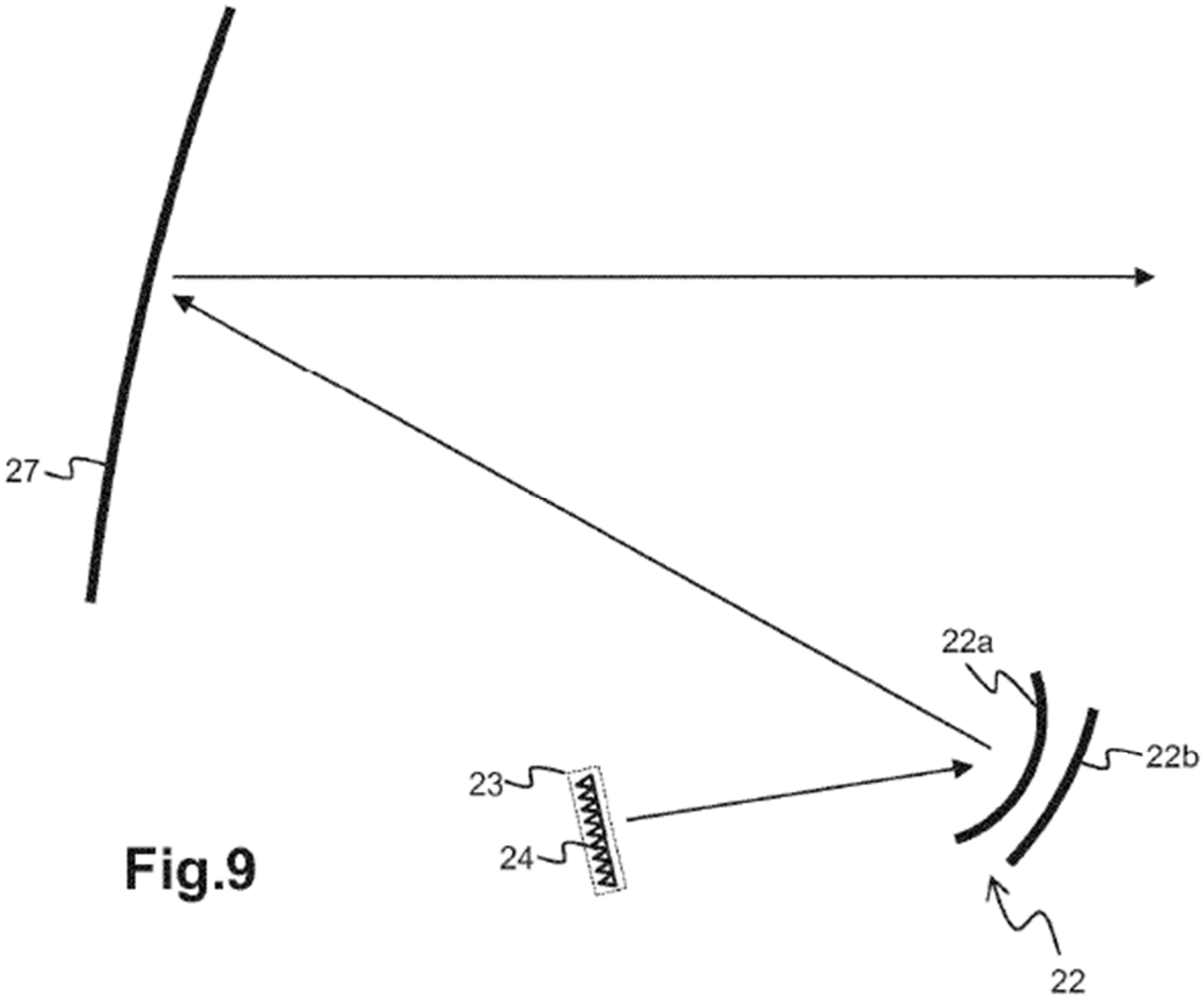


Fig.9