

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 960 587**

51 Int. Cl.:

H04B 7/185 (2006.01)

H04B 10/112 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2020** **E 20214829 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2023** **EP 3840250**

54 Título: **Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO en el dominio de longitud de onda infrarroja**

30 Prioridad:

20.12.2019 FR 1915154

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.03.2024

73 Titular/es:

THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem Place des Corolles - Esplanade Nord
92400 Courbevoie, FR

72 Inventor/es:

MAHO, ANAËLLE;
SOTOM, MICHEL;
DELGA, ALEXANDRE y
FAUGERON, MICKAËL

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 960 587 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO en el dominio de longitud de onda infrarroja

5 La presente invención se refiere a un sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO (en inglés «Free Space Optical») en el dominio de longitud de onda infrarroja, configurado para transmitir:

- datos de enlace ascendente de alta velocidad desde un primer terminal terrestre o aeronáutico situado en un entorno atmosférico a un segundo terminal espacial situado en el espacio alrededor de la Tierra, los datos de enlaces ascendentes de alta velocidad pueden ser perturbados por nubes y/o turbulencias atmosféricas a cierta altitud y/o

10 • datos de enlace descendente de alta velocidad, transmitidos por el segundo terminal espacial, ubicado en el espacio, al primer terminal terrestre o aeronáutico, los datos de enlace descendente de alta velocidad pueden ser perturbados por nubes y/o turbulencias atmosféricas a cierta altitud.

15 La presente invención también se refiere a una plataforma de retransmisión para retransmitir los datos de enlace ascendente desde el primer terminal al segundo terminal y/o retransmitir los datos de enlace descendente desde el segundo terminal al primer terminal, y reducir la atenuación de los datos de alta velocidad de bits por perturbaciones, creadas por nubes y turbulencias atmosféricas, interpuestas entre el primer terminal y el segundo terminal.

En general, la distancia que separa un primer terminal de un segundo terminal es grande, igual a al menos 200 kilómetros, y posiblemente alcanza varios cientos, incluso varios miles o decenas de miles de kilómetros. Esta distancia define la longitud mínima del enlace óptico.

20 Por definición, un primer terminal es un terminal de transmisión de datos por medios ópticos, “terrestre” o “aeronáutico”. El primer terminal se llama “terrestre” en el caso en que se encuentra en tierra, y “aeronáutico” en el caso en que se encuentra en la atmósfera que puede ser estático o móvil.

25 Por definición, un segundo terminal es un terminal de transmisión espacial de datos por medios ópticos de alta velocidad, ubicado fuera de la atmósfera, a bordo de un satélite que evoluciona en una órbita incluida en el conjunto de órbitas geoestacionarias GSO (en inglés GeoStationary Orbit), órbitas medias MEO (en inglés Medium Earth Orbit) y órbitas bajas LEO (en inglés Low Earth Orbit).

Preferentemente, la invención se refiere a las aplicaciones espaciales para la transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO (en inglés “Free Space Optical”) entre un primer terminal de transmisión terrestre, es decir, situado en tierra, y un segundo terminal de transmisión espacial, es decir, a bordo de un satélite.

30 En términos más generales, la invención también se refiere a las aplicaciones espaciales para la transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre entre un primer terminal de transmisión aeronáutica, es decir, situado en la atmósfera y que evoluciona sobre el suelo, y un segundo terminal de transmisión espacial, es decir, a bordo de un satélite.

35 Las comunicaciones ópticas de larga distancia en el espacio libre se definen comúnmente con longitudes de onda, en el infrarrojo cercano, por longitudes de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de longitud de onda corta SWIR (en inglés “Short Wavelength Infrared”) de entre 1 μm y 3 μm , Y en el infrarrojo lejano por longitudes de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda larga LWIR (en inglés Long Wave Infrared”) de entre 8 μm y 12 μm y/o longitudes de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda media MWIR (en inglés Medium Wave Infrared”) entre 3 μm y 5 μm .

40 De una manera conocida e independientemente del dominio de longitud de onda utilizado (LWIR o SWIR), la propagación de una señal óptica, asociada con una transmisión de datos de alta velocidad de bits en el espacio libre FSO (en inglés Free Space Optics), se ve obstaculizada por perturbaciones atmosféricas del canal de transmisión, las perturbaciones atmosféricas están incluidas en el conjunto formado por turbulencias y aerosoles.

45 **[0010]** Como primer tipo de perturbación, nubes densas, neblinas severas y diversos aerosoles causan, por diversos fenómenos de dispersión, en particular Rayleigh y Mie, atenuaciones de señal que son tanto mayores como gotas de agua u otros líquidos, tienen un tamaño comparable al de las longitudes de onda ópticas utilizadas, y pueden superar los 30 dB por kilómetro.

50 Como segundo tipo de perturbación mayor que sufren los enlaces ópticos en el espacio libre FSO, la centelleo, debido a las fluctuaciones en el índice de refracción de la atmósfera, se refleja a nivel del receptor de transmisión por las atenuaciones fluctuantes de la señal recogida, una pérdida de la eficiencia de alineación y acoplamiento al receptor, y una pérdida de la eficiencia de mezcla en el caso de un receptor homodino o heterodino.

Por lo tanto, la difusión y el centelleo degradan en gran medida el rendimiento de la transmisión de la señal y actúan directamente sobre el balance del enlace.

Estos dos fenómenos de perturbación preponderantes atenúan y causan el desvanecimiento de la señal, conducen a desviaciones aleatorias de la dirección de propagación, así como una "dispersión" del haz y degradan en general el rendimiento de la transmisión.

Cuando la cobertura de nubes es demasiado alta, el rendimiento mínimo requerido para una transmisión exitosa ya no es alcanzable y el enlace puede estar bloqueado.

Hasta la fecha, solo se producen y operan sistemas espaciales civiles para comunicaciones ópticas de larga distancia en el espacio libre FSO que utilizan longitudes de onda ubicadas en el dominio infrarrojo cercano SWIR.

Como se describe en el artículo de T. Planck et al., titulado "Recent developments on the free space optical links and wavelength analysis", publicado en la International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS) Santa Mónica, CA 2011, formando un primer documento, y como se describe en el artículo de E. Leitgeb et al., titulado "Analysis and evaluation of optimum wavelengths for free-space optical transceivers", publicado en ICTON 2010, formando un segundo documento, se sabe que el uso de longitudes de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda larga LWIR, incluso para aplicaciones espaciales, Reduce los efectos de la dispersión de Mie y Rayleigh, así como los efectos de centelleo experimentados por una señal de comunicación óptica de larga distancia en el espacio libre FSO.

Con el fin de superar el problema de la indisponibilidad, creado por perturbaciones atmosféricas en un enlace de transmisión en el espacio libre FSO entre un primer y un segundo terminal, se conocen varias soluciones.

Una primera solución consiste en implementar la diversidad geográfica mediante el despliegue de al menos dos primeros terminales de transmisión óptica en varias ubicaciones geográficas, lo suficientemente distantes entre sí para garantizar la disponibilidad del enlace óptico en el espacio libre FSO con respecto a al menos un terminal. Esta solución es costosa y costosa para el sistema de transmisión debido a la duplicación de los primeros terminales. Además, además de cumplir con los exigentes criterios meteorológicos, los primeros terminales deben ubicarse cerca de los núcleos de la red y en áreas geográficas autorizadas.

Una segunda solución conocida para superar la falta de disponibilidad del enlace óptico FSO es reemplazar el enlace óptico FSO por enlaces de radiofrecuencia RF a altas frecuencias. Sin embargo, el aumento deseado en las velocidades de transmisión de datos hace necesario considerar bandas de frecuencia cada vez más altas para estos enlaces que también son sensibles a perturbaciones atmosféricas. Además de ser pesadas, voluminosas y consumir más, estas tecnologías de RF también tienen la desventaja de estar reguladas por estándares y licencias, que son vinculantes y costosas. Finalmente, el uso de soluciones híbridas FSO/RF no permite capitalizar las ventajas de las soluciones FSO en términos de capacidad de transmisión, masa y consumo, ya que requiere que los dos tipos de terminales estén embarcados en un satélite.

Cabe señalar que para atenuar los efectos del desvanecimiento debido a la turbulencia atmosférica, una tercera solución es el uso de técnicas digitales como el intercalado y los códigos de corrección de errores. Al separar y/o repetir los paquetes, permiten limitar los errores debidos a pérdidas durante atenuaciones fuertes. Sin embargo, estas técnicas numéricas solo corrigen pequeñas perturbaciones y desvanecimiento corto, y no corrigen atenuaciones fuertes y/o prolongadas.

También cabe señalar que otras soluciones conocidas permiten corregir los efectos de centelleo, deflexión y ensanchamiento del haz óptico, en particular los sistemas de óptica adaptativa y los sistemas ópticos de apertura múltiple. Sin embargo, estos métodos son complejos de implementar, no corrigen atenuaciones atmosféricas fuertes y permanecen limitados a ciertas aplicaciones.

El problema técnico consiste en mejorar el rendimiento de la transmisión en términos de rendimiento y disponibilidad de un sistema espacial de transmisión de datos en el espacio entre un primer terminal terrestre o aeronáutico y un segundo terminal espacial, separados entre sí por al menos doscientos o incluso hasta varios miles de kilómetros, y para reducir la atenuación de la señal óptica por perturbaciones del canal de transmisión, definidas entre el primer terminal y el segundo terminal, estas perturbaciones son causadas por turbulencias atmosféricas, sin aumentar la complejidad del primer y segundo terminal.

A tal fin, el objeto de la invención es un sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO que comprende: un primer terminal para la transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO, terrestre o aeronáutico; un segundo terminal de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO, a bordo de un satélite; una plataforma de retransmisión, ubicada entre el primer terminal de transmisión y el segundo terminal de transmisión, y configurada para servir como retransmisión regenerativa para la transmisión de datos:

- entre un primer enlace de transmisión ascendente desde el primer terminal a la plataforma de retransmisión y un segundo enlace ascendente de transmisión de datos desde la plataforma de retransmisión al segundo terminal de transmisión, y,
- entre un tercer enlace descendente de enlace de transmisión desde el segundo terminal hasta la plataforma de retransmisión y un cuarto enlace descendente de enlace de transmisión desde la plataforma de retransmisión hasta el primer terminal.

El sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO se caracteriza porque la plataforma de retransmisión está configurada para operar a una altitud superior a las nubes y la turbulencia atmosférica, y la plataforma de retransmisión está configurada para:

- 10 • recibir datos transmitidos por el primer terminal, llevado por una primera señal óptica del primer enlace ascendente que utiliza una primera longitud de onda en el dominio MWIR/LWIR de las longitudes de onda largas LWIR, Entre 8 y 12 μm y/o MWIR de longitud de onda media entre 3 y 5 μm , Y transmitir los datos recibidos en una segunda señal óptica portadora del segundo enlace ascendente que utiliza una segunda longitud de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda corta SWIR; y/o
- 15 • recibir datos transmitidos por el segundo terminal, transportados por una tercera señal óptica del tercer enlace descendente que utiliza una tercera longitud de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda corta SWIR, Y transmitir los datos recibidos en una cuarta señal óptica que lleva el cuarto enlace descendente que utiliza una cuarta longitud de onda en el dominio MWIR/LWIR de longitud de onda larga LWIR y/o longitud de onda media MWIR.
- 20 Según las realizaciones particulares, el sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO comprende una o más de las siguientes características, tomadas solas o combinadas:
 - la altitud de la plataforma de retransmisión está a nivel de estratosfera o más allá; y/o la plataforma de retransmisión es un globo de aeronave o un dron que opera en la estratosfera o un satélite que opera en una órbita baja de LEO;
 - 25 - el primer terminal, terrestre o aeronáutica, está incluida en el conjunto formado por estaciones terrestres, barcos y aeronaves como drones, aviones y helicópteros;
 - el segundo terminal, el espacio, se transporta a bordo de un satélite que opera en una órbita geoestacionaria GEO o una órbita a media altitud MEO o una órbita a baja altitud LEO;
 - 30 - la plataforma de retransmisión comprende una primera cadena de conversión de enlace ascendente (que tiene una cadena de recepción de enlace ascendente), configurada para recibir en el dominio MWIR/LWIR la primera señal óptica del primer enlace ascendente, amplificando opcionalmente y/o demultiplexando opcionalmente la primera señal óptica recibida, detecte y demodule la señal amplificada y desmultiplexada en datos demodulados; Una cadena de transmisión de enlace ascendente, configurada para transmitir, amplificar opcionalmente y/o multiplexar opcionalmente en el dominio SWIR, la segunda señal óptica del
 - 35 segundo enlace ascendente, modulada por los datos demodulados del primer enlace ascendente, codificada con o sin intercalar o sin codificar;
 - la cadena de recepción del enlace ascendente incluye un primer telescopio que recibe el primer enlace ascendente, Una cadena de desmodulación de enlace ascendente con detección coherente por latido heterodino o homodino que comprende un oscilador local y un híbrido de 90° seguido de al menos un fotodetector incluido en el conjunto de fotodetectores de pozos cuánticos QWIPs, fotodetectores de pozos cuánticos QCDS, Y fotodetectores que utilizan un material incluido en el conjunto de materiales MCT, HgCdTe (mercurio cadmio telurio) y T2SL (InAs/GA tipo II superred).
 - 40 - la cadena de recepción de enlace ascendente también incluye un preamplificador óptico de semiconductor SOA de bajo ruido, y/o un demultiplexor de longitud de onda en el dominio MWIR/LWIR, basado en silicio, germanio, Fosforo de indio (InP) o calcogenuro o en elementos ópticos discretos, como rejillas de difracción o filtros de interferencia, colocados antes o después del preamplificador, y/o en donde el conjunto de al menos un fotodetector es un par de fotodetector equilibrado;
 - 45 - la cadena de transmisión de enlace ascendente comprende un transmisor óptico en el dominio de longitud de onda SWIR con modulación externa o modulación directa, un amplificador de potencia óptico con fibra dopada con erbio EDFA y, opcionalmente, un multiplexor de longitud de onda, colocado antes o después del amplificador de potencia, y un segundo telescopio transmitiendo desde el segundo enlace ascendente;
 - 50 - la primera cadena de conversión de enlace ascendente comprende un primer módulo electrónico para procesar datos demodulados del primer enlace ascendente conectado entre la cadena de recepción de

enlace ascendente y la cadena de transmisión de enlace ascendente, opcionalmente para decodificar, corregir errores de bits y volver a codificar estos datos;

- la plataforma de retransmisión incluye una segunda cadena de conversión de enlace descendente que tiene: Una cadena de recepción de enlace descendente, configurada para recibir en el dominio SWIR la tercera señal óptica del tercer enlace descendente, amplificar opcionalmente y/o demultiplexar la primera señal óptica recibida, detectar y demodular la señal amplificada y demultiplexada en datos demodulados; Una cadena de transmisión de enlace descendente, configurada para transmitir, amplificar y, opcionalmente, multiplexar en el dominio MWIR/LWIR la cuarta señal óptica del cuarto enlace descendente, modulada por los datos demodulados del tercer enlace descendente, codificada con o sin intercalación o sin codificación;

- la cadena de recepción de enlace descendente en el dominio SWIR comprende un tercer telescopio en recepción del tercer enlace descendente, un preamplificador óptico de bajo ruido, en particular un amplificador de fibra dopada con erbio EDFA, opcionalmente un demultiplexor de longitud de onda en el dominio SWIR, una cadena de enlace descendente de detección y demodulación compuesta por un fotorreceptor de detección directa, un demodulador óptico y un fotorreceptor en serie, y un receptor coherente compuesto por un oscilador local y un híbrido de 90° seguido de un par de fotorreceptores equilibrados;

- la cadena de transmisión de enlace descendente comprende un transmisor óptico en el dominio de longitud de onda MWIR/LWIR con modulación directa o externa, uno o más amplificadores de potencia de semiconductores SOA, opcionalmente un multiplexor de longitud de onda, basado en silicio, germanio, Fosforo de indio (InP) o calcogenuro o en elementos ópticos discretos como rejillas de difracción o filtros de interferencia, y un cuarto telescopio en emisión del cuarto enlace descendente;

- el transmisor óptico de la cadena de transmisión de enlace descendente con modulación externa, funciona en el dominio de longitud de onda MWIR/LWIR e incluye un láser QCL con modulación externa, modulado por un modulador de fase o amplitud o modulador de amplitud y fase, Incluido en el paquete de moduladores de electroabsorción EAM y moduladores Mach Zehnder MZM;

- el transmisor óptico de la cadena de transmisión del enlace descendente comprende un láser QCL con modulación externa, modulado por un modulador de fase o amplitud o amplitud y fase incluido en el conjunto formado por moduladores de electro-absorción EAM y Mach-Zehnder moduladores MZM, preferiblemente un modulador MZM;

- la segunda cadena de conversión de enlace descendente comprende un segundo módulo electrónico para procesar los datos demodulados del tercer enlace descendente, conectado entre la cadena de recepción del enlace descendente y la cadena de transmisión del enlace descendente, opcionalmente para decodificar, corregir errores de bits y volver a codificar estos datos;

- el primer terminal comprende un transmisor y un receptor adicionales, configurados para recibir o transmitir al segundo terminal datos por medios ópticos directos a través del espacio libre sin utilizar la plataforma de retransmisión, Y la plataforma de retransmisión está configurada para activar el primer y segundo enlace ascendente y/o el tercer y cuarto enlace descendente cuando la transmisión directa de datos del canal entre el primer terminal y el segundo terminal es interrumpida permanentemente por fuentes de perturbaciones atmosféricas.

La invención también se refiere a una plataforma de retransmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO entre un primer terminal de transmisión óptica, terrestre o aeronáutica y un segundo terminal de transmisión óptica, a bordo de un satélite, dado que la plataforma de retransmisión está configurada para actuar como una retransmisión regenerativa para la transmisión de datos:

- entre un primer enlace de transmisión de enlace ascendente desde el primer terminal a la plataforma de retransmisión y un segundo enlace ascendente de transmisión de datos desde la plataforma de retransmisión al segundo terminal de transmisión, y,
- entre un tercer enlace de transmisión, enlace descendente desde el segundo terminal hasta la plataforma de retransmisión, y un cuarto enlace de transmisión, enlace descendente desde la plataforma de retransmisión hasta el primer terminal; y la plataforma de retransmisión puede moverse a una altitud superior a la de las turbulencias atmosféricas.

La plataforma de retransmisión se caracteriza porque está configurada para:

- recibir datos transmitidos por el primer terminal, llevado por una primera señal óptica del primer enlace ascendente que utiliza una primera longitud de onda en el dominio MWIR/LWIR de las longitudes de onda largas LWIR, Entre 8 y 12 μm y/o longitudes de onda medias MWIR entre 3 y 5 μm , Y transmitir los datos

recibidos en una segunda señal óptica portadora del segundo enlace ascendente que utiliza una segunda longitud de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda corta SWIR; y/o

- 5
 - recibir datos transmitidos por el segundo terminal, transportados por una tercera señal óptica del tercer enlace descendente que utiliza una tercera longitud de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda corta SWIR, Y transmitir los datos recibidos en una cuarta señal óptica que lleva el cuarto enlace descendente que utiliza una cuarta longitud de onda en el dominio MWIR/LWIR de longitud de onda larga LWIR y/o longitud de onda media MWIR.

Según realizaciones particulares, la plataforma de retransmisión comprende una o más de las siguientes características, tomadas sola o en combinación:

- 10
 - la plataforma de retransmisión está configurada para funcionar a una altitud en o por encima de la estratosfera; y/o.
 - la plataforma de relevos está incluida en el conjunto formado por aeronaves estratosféricas, drones de media o alta altitud y satélites que operan en órbita baja LEO; y/o
 - la plataforma de retransmisión incluye una primera cadena de enlace ascendente
- 15
 - * una cadena de recepción de enlace ascendente, configurada para recibir en el dominio MWIR/LWIR la primera señal óptica del primer enlace ascendente, amplificar opcionalmente y/o demultiplexar opcionalmente la primera señal óptica recibida, detectar y demodular la señal opcionalmente amplificada y/o opcionalmente demultiplexada en datos demodulados; y.
- 20
 - * una cadena de transmisión de enlace ascendente, configurada para transmitir, amplificar y opcionalmente multiplexar en el dominio SWIR la segunda señal óptica del segundo enlace ascendente, modulada por los datos demodulados del primer enlace ascendente, codificada con o sin intercalar o sin codificar; y/o
 - la plataforma incluye una segunda cadena de conversión de enlace descendente
- 25
 - * una cadena de recepción de enlace descendente, configurada para recibir en el dominio SWIR la tercera señal óptica del tercer enlace descendente, amplifica opcionalmente y/o demultiplexa opcionalmente la primera señal óptica recibida, detecta y desmodula la señal opcionalmente amplificada y/o demultiplexada en datos demodulados; y.
 - * una cadena de transmisión de enlace descendente, configurada para transmitir, amplificar y opcionalmente multiplexar en el dominio MWIR/LWIR la cuarta señal óptica del cuarto enlace descendente, modulada por los datos demodulados del tercer enlace descendente, codificada con o sin intercalado o no codificado.
- 30

El documento «Classification Framework for Free Space Optical Communication Links and Systems» (HAMZA ABDELBASET S ET AL., IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, Vol. 21, no 2, 1 de abril de 2019) revela un sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre.

- 35 La invención se entenderá mejor al leer la siguiente descripción de varias realizaciones, dada únicamente a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos en los que:

La figura 1 es una visión de la arquitectura de una primera realización de un sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según la invención;

- 40 La figura 2 es una visión de la arquitectura de una segunda realización, más compleja que la primera realización, de un sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según la invención;

La figura 3 es una visión de un ejemplo de arquitectura de una cadena de conversión de primera arriba de una plataforma de retransmisión según la invención de un sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO, como los descritos en las figuras 1 y 2;.

- 45 La figura 4 es una vista de una arquitectura ejemplar de una segunda cadena de conversión de enlace descendente de la plataforma de retransmisión de un sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO, como las descritas en las figuras 1 y 2.

La invención se basa en una plataforma de retransmisión para enlaces entre un satélite, ubicado en un ambiente sin perturbaciones, y una estación óptica terrestre ubicada en un ambiente perturbado por nubes, niebla y/o turbulencias atmosféricas, la plataforma de retransmisión forma una interfaz para la conversión óptica de señales recibidas en el

50

infrarrojo cercano, típicamente a una longitud de onda igual a 1,55 μm , al infrarrojo lejano, típicamente a una longitud de onda igual a 10 μm .

Las longitudes de onda en el dominio LWIR del infrarrojo lejano son menos sensibles a las perturbaciones atmosféricas, en particular a la dispersión y centelleo de Rayleigh y Mie, su uso reducido, a menor costo, la frecuencia y duración de las interrupciones de un enlace de transmisión perturbado por nubes y turbulencias atmosféricas.

Esta solución de plataforma aprovecha en su implementación los beneficios que brindan los materiales semiconductores y en particular la posibilidad de integrar componentes fotónicos (láser, modulador, etc.) pueden ahorrarle masa y volumen.

Además, la seguridad ocular se mejora mediante el uso de una longitud de onda más alta.

Según la figura 1 y según la invención, un sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO 2 comprende un primer terminal 4 para la transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO, terrestre o aeronáutico, y un segundo terminal 6 para la transmisión de datos por medios ópticos en espacio libre FSO, a bordo de un satélite 8.

El sistema espacial de transmisión 2 según la invención también comprende una plataforma de retransmisión 12, situada entre el primer terminal de transmisión 4 y el segundo terminal de transmisión 6.

La plataforma de retransmisión 12 está configurada para servir como una retransmisión regenerativa para la transmisión de datos entre un primer enlace de transmisión ascendente 22 desde el primer terminal 2 a la plataforma de retransmisión 12, y un segundo enlace de transmisión 24, enlace ascendente de la plataforma de retransmisión 12 al segundo terminal de transmisión 6.

La plataforma de retransmisión 12 también está configurada para servir como retransmisión regenerativa para la transmisión de datos entre un tercer enlace de transmisión 32, enlace descendente desde el segundo terminal 6 a la plataforma de retransmisión 12, y un cuarto enlace de transmisión 34, enlace descendente desde la plataforma de retransmisión 12 hasta el primer terminal 4.

La plataforma de retransmisión 12 está configurada para moverse a una altitud superior a la de las nubes y/o turbulencias atmosféricas 42.

La plataforma de retransmisión 12 está configurada para recibir los datos transmitidos por el primer terminal 4, llevado por una primera señal óptica del primer enlace ascendente 22 que utiliza una primera longitud de onda en el dominio de longitudes de onda infrarrojas de onda larga LWIR, Y transmitir los datos recibidos en una segunda señal óptica que lleva el segundo enlace ascendente (24) que utiliza una segunda longitud de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda corta de SWIR.

La plataforma de retransmisión 12 está configurada para recibir los datos transmitidos por el segundo terminal 6, transportada por una tercera señal óptica del tercer enlace descendente 32 que utiliza una tercera longitud de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda corta SWIR, Y transmitir los datos recibidos en una cuarta señal óptica que lleva el cuarto enlace descendente (34) que utiliza una cuarta longitud de onda en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda larga LWIR.

La plataforma de retransmisión 12 comprende aquí una primera cadena de conversión 52 y una segunda cadena de conversión 54.

Según la figura 1 y en particular, el primer terminal 4 es una estación óptica terrestre OGS (en inglés "Optical Ground Station"), la plataforma de retransmisión 12 es un globo aerostático estratosférico HAPS (en inglés "High Altitude Platform Systems/stations"), El satélite 8 que transporta el segundo terminal 6 es un satélite geoestacionario GSO.

En general, la altitud de la plataforma de retransmisión está a nivel de la estratosfera o más allá, y la plataforma de retransmisión es un globo aerostático o un dron que opera en la estratosfera o un satélite que opera en una órbita baja de LEO.

En general, el primer terminal, terrestre o aeronáutico, está incluido en el conjunto formado por estaciones terrestres, barcos y aeronaves como drones, aviones y helicópteros.

En general, el segundo terminal espacial está a bordo de un satélite que evoluciona en una órbita geoestacionaria GSO o una órbita de altitud media MEO o una órbita de baja altitud LEO.

Ventajosamente, la plataforma de retransmisión 12 del sistema espacial de transmisión 2 permite aumentar la disponibilidad y la capacidad de transmisión de enlace ascendente y / o descendente entre el primer terminal y el segundo terminal. Su implementación es simple y económica.

Más generalmente, la primera señal óptica del primer enlace ascendente puede utilizar una primera longitud de onda en el dominio MWIR/LWIR de longitudes de onda infrarrojas de onda larga LWIR que van desde 8 a 12 μm y/o longitudes de onda media MWIR, entre 3 y 5 μm .

5 Más generalmente, la cuarta señal óptica el cuarto enlace descendente 34 puede utilizar una primera longitud de onda en el dominio MWIR / LWIR de longitudes de onda infrarrojas de onda larga LWIR, comprendidas entre 8 y 12 μm y longitudes de onda medias MWIR, entre 3 y 5 μm .

Ventajosamente, la parte del sistema espacial de transmisión, ubicada fuera del medio perturbado, es transparente.

10 Además, dado que los componentes tecnológicos están hechos de materiales semiconductores, las soluciones fotónicas integradas, que por lo tanto son más ligeras y compactas, permiten realizar las cadenas de conversión hacia arriba y hacia abajo de la plataforma de retransmisión.

También debe tenerse en cuenta que las longitudes de onda en el LWIR infrarrojo lejano y en el dominio infrarrojo medio MWIR también son menos peligrosas desde el punto de vista ocular.

15 Además, el primer terminal 2 comprende un transmisor y un receptor adicionales, que no se muestran en la Fig. 1, y configurados para recibir o transmitir al segundo terminal datos por medios ópticos directos en el espacio libre en el dominio de longitud de onda del infrarrojo cercano sin utilizar la plataforma de retransmisión 12 .

La plataforma de retransmisión 12 está configurada para activar el primer y segundo enlace ascendente y/o el tercer y cuarto enlace descendente cuando la transmisión directa de datos del canal entre el primer terminal y el segundo terminal es interrumpida permanentemente por fuentes atmosféricas de perturbaciones.

20 A modo de ejemplo, un segundo primer terminal óptico 62 se ilustra en la figura 1 en comunicación directa con el segundo terminal 6 del satélite 8 a través de un enlace bidireccional 64 que opera en el dominio de longitud de onda infrarroja de onda corta SWIR.

En tiempo claro, la transmisión es directa con la capacidad máxima. En caso de perturbaciones, la transmisión continúa en el dominio de infrarrojos lejanos LWIR, normalmente a 10 μm , a través de la plataforma de retransmisión 12 , con una capacidad de transmisión posiblemente reducida.

25 Según la figura 2 y una segunda realización, un sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO 102 comprende:

- 30 • un conjunto de primeros terminales de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO 104₁, 104₂, 104₃, formados respectivamente por una primera estación óptica terrestre OGS situada a la izquierda en la figura 2 , un avión, y una segunda estación óptica terrestre situada a la derecha en la fig. 2; y.
- un segundo terminal 106 para la transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO, aquí a bordo de un satélite geoestacionario GSO 108 .

35 El sistema espacial de transmisión 102, según la invención, comprende también un conjunto de dos plataformas de retransmisión 122₁, 122₂, respectivamente formadas por una plataforma de gran altitud HAPS y un satélite LEO en órbita baja.

40 La primera plataforma de retransmisión 122₁ sirve como una retransmisión regenerativa entre la segunda estación óptica terrestre 104₃ y el segundo terminal 106 a bordo del satélite GSO 108, y utiliza, en la recepción de enlaces ascendentes y en la transmisión de enlaces descendentes, portadores en el dominio LWIR de infrarrojo lejano en el caso en que el primer enlace ascendente y cuarto enlace descendente correspondiente se degradan o interrumpen debido al bloqueo por nubes o turbulencia 145 .

45 La primera plataforma de retransmisión 122₁ también sirve como retransmisión regenerativa entre el terminal óptico 104₂, a bordo del avión, y el segundo terminal 106 a bordo del satélite GSO 108 , Y utiliza, en la recepción de enlaces ascendentes y en la transmisión de enlaces descendentes, portadores en el dominio LWIR de infrarrojo lejano en el caso en que el primer enlace ascendente y cuarto enlace descendente correspondiente se degradan o interrumpen debido al bloqueo por nubes o turbulencia 145 .

50 La segunda plataforma de retransmisión 122₂ sirve como una retransmisión regenerativa entre la primera estación óptica terrestre 104₁ y el segundo terminal 106 a bordo del satélite GSO 108, y utiliza, en la recepción de enlaces ascendentes y en la transmisión de enlaces descendentes, portadores en el dominio LWIR de infrarrojo lejano en el caso en que el primer enlace ascendente y cuarto enlace descendente correspondiente se degradan o interrumpen debido al bloqueo por nubes o turbulencia 145 .

La segunda plataforma de retransmisión 122₂ también sirve como una retransmisión regenerativa entre el terminal óptico 104₂ a bordo del avión y el segundo terminal 106 a bordo del satélite GSO 108 , Y utiliza, en la recepción de

enlaces ascendentes y en la transmisión de enlaces descendentes, portadores en el dominio LWIR de infrarrojo lejano en el caso en que el primer enlace ascendente y cuarto enlace descendente correspondiente se degradan o interrumpen debido al bloqueo por nubes o turbulencia 145 .

- 5 Hay que señalar que la aeronave a bordo que lleva el primer terminal 104₂ sirve aquí como una retransmisión a un terminal de transmisión marítimo 152 y a la segunda estación óptica terrestre GSO, sin embargo, esta retransmisión no es una plataforma de retransmisión dentro del significado de la invención porque no evoluciona por encima de la atmósfera y cualquier perturbación de la misma.

Se debe tener en cuenta que el uso del dominio LWIR descrito en la figura 2 es un uso preferido, pero este uso puede extenderse más generalmente al dominio MWIR/LWIR.

- 10 Según la figura 3, la primera cadena de conversión de enlace ascendente 52 comprende una cadena de recepción de enlace ascendente 202 y una cadena de envío de enlace ascendente 204.

La cadena de recepción de enlace ascendente 202 está configurada para recibir en el dominio LWIR la primera señal óptica del primer enlace ascendente 22 , amplificar y demultiplexar la primera señal óptica recibida, detectar y demodular la señal amplificada y demultiplexada en datos demodulados.

- 15 La cadena de transmisión de enlace ascendente 204 está configurada para transmitir, amplificar y multiplexar en el dominio SWIR la segunda señal óptica del segundo enlace ascendente 24 , modulada por los datos demodulados del primer enlace ascendente, codificada con o sin intercalado o sin codificación.

- 20 La cadena de recepción de enlace ascendente 202 comprende un primer telescopio 206 que recibe el primer enlace ascendente 22 , un amplificador óptico de semiconductor de bajo ruido SOA 208 (amplificador óptico de bajo ruido), Un demultiplexor de longitud de onda (210) en el dominio LWIR y una cadena de demodulación de enlace ascendente (212) con detección coherente por latido heterodino o homodino.

El demultiplexor de longitud de onda 210 en el dominio LWIR se basa en tecnologías de semiconductores de silicio, germanio, indium phosphide (InP) o calcogenuro o en elementos ópticos discretos como rejillas de difracción o filtros de interferencia, y se coloca antes o después del preamplificador.

- 25 La cadena de demodulación aguas arriba con detección coherente por latido heterodino o homodino comprende un oscilador local y un híbrido de 90° seguido de un par de fotodetectores equilibrados basados en fotodetectores incluidos en el conjunto de fotodetectores infrarrojos de pozos cuánticos QWIP (en inglés "Quantum Well Infrared Photodetectors"), de fotodetectores de pozos cuánticos QCDS (en inglés "Quantum Cascade Detectors"), fotodetectores que utilizan uno de los materiales incluidos en el conjunto de materiales MCT, HgCdTe (mercurio-cadmio telurio) y
- 30

- La cadena de transmisión de enlace ascendente 204 comprende un transmisor óptico 222 en el dominio de longitud de onda SWIR con modulación externa, un amplificador de potencia óptica 224 HPOA (en inglés "High Power Optical Amplifier") con una fibra dopada con erbio EDFA (en inglés "erbium Doped Fiber Amplifier"), un multiplexor de longitud de onda 226 colocado antes o después del amplificador de potencia 224 , y un segundo telescopio 228 transmitiendo el segundo enlace ascendente 24 .
- 35

Además, la primera cadena de conversión de enlace ascendente 52 comprende un primer módulo electrónico 232 para procesar los datos demodulados del primer enlace ascendente conectado entre la cadena de recepción de enlace ascendente 202 y la cadena de transmisión de enlace ascendente 204.

- 40 Como variante, el preamplificador óptico SOA de bajo ruido 208 y/o el demultiplexor de longitud de onda 210 pueden omitirse.

- En términos más generales, el par de fotodetectores de pozos cuánticos equilibrados, QWIP o QCDS, o utilizando uno de los materiales incluidos en el conjunto de materiales MCT, HgCdTe (mercurio cadmio telurio) y T2SL (InAs/Gas tipo II superred, Puede ser reemplazado por un conjunto de uno o más de dos fotodetectores de pozos cuánticos QWIP o QCD, o utilizando uno de los materiales incluidos en el conjunto de MCT, HgCdTe (mercurio cadmio telurio) y T2SL (InAs/Gas tipo II superred.
- 45

Más generalmente, la cadena de recepción de enlace ascendente 202 y sus componentes están configurados para operar en el dominio de longitud de onda MWIR/LWIR.

- Según la figura 3, la conversión se lleva a cabo en dos etapas con la recepción de la señal óptica en una longitud de onda del dominio infrarrojo LWIR y su conversión en una señal electrónica por el fotorreceptor 212 . La señal electrónica se somete opcionalmente al procesamiento de la señal y, en un segundo paso, se convierte de nuevo en una señal óptica a otra longitud de onda mediante un láser con modulación externa.
- 50

La invención permite eludir los límites físicos de las longitudes de onda del infrarrojo cercano mientras se integra con los sistemas actualmente previstos. También es compatible y complementario con las soluciones existentes. Tiene un impacto moderado en el costo, el consumo y el volumen del sistema en general.

Preferiblemente, la retransmisión podría estar entre una estación terrestre y un satélite GEO a través de un HAPS.

- 5 Según la figura 4, la segunda cadena de conversión de enlace descendente 54 comprende una cadena de recepción de enlace descendente 252 y una cadena de envío de enlace descendente 254.

La cadena de recepción de enlace descendente 252 está configurada para recibir en el dominio de longitud de onda SWIR la tercera señal óptica del tercer enlace descendente 32, amplificar y demultiplexar en longitud de onda la primera señal óptica recibida, detectar y demodular la señal amplificada y demultiplexada en datos demodulados.

- 10 La cadena de transmisión de enlace descendente 252 está configurada para transmitir, amplificar y multiplexar en el dominio LWIR la cuarta señal óptica del cuarto enlace descendente 34, modulada por los datos demodulados del tercer enlace descendente 32, codificada con o sin intercalación o no codificada.

- 15 La cadena de recepción de enlace descendente 252 comprende un tercer telescopio 256 que recibe el tercer enlace descendente 32, un amplificador óptico de bajo ruido 258 LNOA (en inglés "Low Noise Optical Amplifier"), en particular un amplificador de fibra dopada con erbio EDFA (en inglés "Erbium doped Fiber Amplifier"), un demultiplexor de longitud de onda 260 en el dominio SWIR, y una cadena de detección y demodulación de enlace ascendente 262.

- 20 La cadena 262 de detección y demodulación aguas abajo está incluida en el conjunto formado por un fotorreceptor de detección directa, un demodulador óptico y un fotorreceptor conectado en serie, y un receptor coherente que comprende un oscilador local y un híbrido de 90° seguido de un par de fotorreceptores equilibrados.

La cadena de transmisión de enlace descendente 254 comprende un transmisor óptico 272 en el dominio de longitud de onda LWIR basado en un láser QCL monolíticamente integrado con un modulador Mach-Zehnder MZM, uno o más amplificadores ópticos semiconductores de potencia SOA 274 HPOA, un multiplexor de longitud de onda 276, y un cuarto telescopio de transmisión 278 del cuarto enlace descendente 34.

- 25 El multiplexor de longitud de onda 276 se basa en tecnologías de semiconductores de silicio, germanio, fósforo índico (InP) o calcogenuro, o en elementos ópticos discretos como rejillas de difracción o filtros de interferencia.

Como variante, la integración del modulador Mach-Zehnder MZM puede ser discreta o híbrida.

Como variante, el transmisor óptico 272 es de modulación directa y utiliza un láser directamente modulado.

- 30 Como variante, el modulador Mach-Zehnder MZM, que es una realización preferida, puede ser reemplazado por un modulador de electro-absorción EAM, y más generalmente por un modulador de fase o amplitud o amplitud y fase.

Como variante, el multiplexor de longitud de onda 276 puede omitirse.

Más generalmente, la cadena de transmisión de enlace descendente 254 y sus componentes están configurados para operar en el dominio de longitud de onda MWIR/LWIR.

- 35 Además, la segunda cadena de conversión de enlace descendente 54 comprende un segundo módulo electrónico 282 para procesar los datos demodulados del tercer enlace descendente, conectado entre la cadena de recepción del enlace descendente y la cadena de transmisión del enlace descendente.

Las aplicaciones industriales de la invención se refieren en particular a todas las transmisiones ópticas en un medio turbulento donde uno de los terminales se encuentra en el medio turbulento.

- 40 Las aplicaciones de la invención son diversas y se relacionan en primer lugar con enlaces ascendentes de transmisión de alta capacidad. También se trata de enlaces descendentes de transmisión con capacidades moderadas para la observación de satélites LEO/MEO.

REIVINDICACIONES

1. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO, Free Space Optical, que comprende:

un primer terminal (4) de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO, terrestre o aeronáutico;
 un segundo terminal (6) de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO, a bordo de un satélite (8) ;
 una plataforma de retransmisión (12), situada entre el primer terminal de transmisión (4) y el segundo terminal de transmisión (6), y configurada para servir como retransmisión regenerativa para la transmisión de datos:

- entre un primer enlace de transmisión (22), enlace ascendente desde el primer terminal (4) a la plataforma de retransmisión (12), y un segundo enlace de transmisión (24), enlace ascendente para la transmisión de datos, desde la plataforma de retransmisión (12) al segundo terminal de transmisión (6), y/o
- entre un tercer enlace de transmisión (32), enlace descendente desde el segundo terminal (6) a la plataforma de retransmisión (12), y un cuarto enlace de transmisión (34), enlace descendente desde la plataforma de retransmisión (12) al primer terminal (4);

estando el sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en espacio libre FSO **caracterizado porque**

la plataforma de retransmisión (12) está configurada para evolucionar a una altitud superior a las nubes y la turbulencia atmosférica (42), y.

la plataforma de retransmisión (12) está configurada para:

- recibir los datos transmitidos por el primer terminal (4), transportados por una primera señal óptica del primer enlace ascendente (22) que utiliza una primera longitud de onda en el dominio MWIR/LWIR, Medium Wave Infrared/Long Wave Infrared, longitudes de onda desde el infrarrojo hasta las longitudes LWIR, comprendidas entre 8 y 12 μm y/o longitudes de onda de ondas medias MWIR, comprendidas entre 3 y 5 μm , y transmitir los datos recibidos en una segunda señal óptica que transporta el segundo enlace ascendente (24) que utiliza una segunda longitud de onda en el dominio desde el infrarrojo hasta ondas cortas SWIR, Short Wave Infrared; y/o
- recibir los datos transmitidos por el segundo terminal (6), transportados por una tercera señal óptica del tercer enlace descendente (32) que utiliza una tercera longitud de onda en el dominio desde el infrarrojo hasta ondas cortas SWIR, y transmitir los datos recibidos en una cuarta señal óptica que transporta el cuarto enlace descendente (34) que utiliza una cuarta longitud de onda en el dominio MWIR/LWIR de longitudes de onda desde el infrarrojo hasta ondas largas LWIR y/o longitudes de onda de ondas medias MWIR.

2. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según la reivindicación 1, en el que

la altitud de la plataforma de retransmisión (12) se encuentra en el nivel de la estratosfera o más allá; y/o.

la plataforma de retransmisión (12) es un globo aerostático o dron que evoluciona en la estratosfera o un satélite que evoluciona en una órbita baja LEO.

3. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el primer terminal (4), terrestre o aeronáutico, está incluido en el conjunto formado por estaciones terrestres, barcos y aeronaves como drones, aviones y helicópteros.

4. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el segundo terminal, (6), espacial, está embarcado a bordo de un satélite (8) que evoluciona en una órbita geoestacionaria GEO o una órbita de altitud media MEO o una órbita de baja altitud LEO.

5. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la plataforma de retransmisión (12) comprende una primera cadena de conversión de enlace ascendente (52) que tiene

- una cadena de recepción de enlace ascendente (202), configurada para recibir en el dominio MWIR/LWIR la primera señal óptica del primer enlace ascendente (22), amplificar opcionalmente y/o demultiplexar opcionalmente en longitud de onda la primera señal óptica recibida, detectar y demodular la señal amplificada y demultiplexada en datos demodulados;

- una cadena de transmisión de enlace ascendente (204), configurada para transmitir, amplificar opcionalmente, y/o multiplexar opcionalmente en el dominio SWIR, la segunda señal óptica del segundo

enlace ascendente (24), modulada por los datos demodulados del primer enlace ascendente (22), codificada con o sin entrelazado o sin codificar.

6. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según la reivindicación 5, en el que la cadena de recepción de enlace ascendente (202) comprende:

5 un primer telescopio (204) que recibe el primer enlace ascendente (22),
una cadena de desmodulación de enlace ascendente (212) con detección coherente por latido heterodino u homodino que comprende un oscilador local y un híbrido de 90° seguido de un conjunto de al menos un fotodetector incluido en el conjunto de fotodetectores de pozos cuánticos QWIP, fotodetectores de pozos cuánticos QCD, Y fotodetectores que utilizan un material incluido en el conjunto de materiales MCT, HgCdTe (mercurio-cadmio telurio) y T2SL (InAs/GA tipo II superred).

7. El sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según la reivindicación 6, en el que la cadena de recepción de enlace ascendente (202) comprende además

15 un preamplificador óptico de semiconductor SOA de bajo ruido (208), y/o
un demultiplexor de longitud de onda (210) en el dominio MWIR/LWIR, basado en tecnologías de semiconductores de silicio, germanio, fosforo de indio (InP) o calcogenuro o en elementos ópticos discretos como rejillas de difracción o filtros de interferencia, colocados antes o después del preamplificador, y/o en el que el conjunto de al menos un fotodetector es un par de fotodetectores equilibrados.

8. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según una de las reivindicaciones 5 a 7, en el que la cadena de transmisión de enlace ascendente (204) comprende

20 un transmisor óptico (222) en el dominio de longitudes de onda SWIR con modulación externa o modulación directa,
un amplificador óptico de potencia de fibra dopada con erbio EDFA (224), y
opcionalmente, un multiplexor de longitud de onda (226), colocado antes o después del amplificador de potencia (224), y.
25 un segundo telescopio (228) transmitiendo desde el segundo enlace ascendente.

9. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según una de las reivindicaciones 5 a 8, en el que la primera cadena de conversión de enlace ascendente (52) comprende un primer módulo electrónico (232) para procesar los datos demodulados del primer enlace ascendente conectado entre la cadena de recepción de enlace ascendente (202) y la cadena de transmisión de enlace ascendente (204), opcionalmente para la decodificación, corregir los errores de bit y volver a codificar estos datos.

10. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la plataforma de retransmisión (12) comprende una segunda cadena de conversión de enlace descendente (54) que tiene:

35 - una cadena de recepción de enlace descendente (252), configurada para recibir en el dominio SWIR la tercera señal óptica del tercer enlace descendente (32), amplificar opcionalmente y/o demultiplexar opcionalmente en longitud de onda la primera señal óptica recibida, detectar y demodular la señal amplificada y demultiplexada en datos demodulados;
- una cadena de transmisión de enlace descendente (254), configurada para transmitir, amplificar y opcionalmente multiplexar en el dominio MWIR/LWIR la cuarta señal óptica del cuarto enlace descendente (34), modulada por los datos demodulados del tercer enlace descendente (32), codificada con o sin entrelazado o sin codificar.

11. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según la reivindicación 10, en el que la cadena de recepción de enlace descendente (252) en el dominio SWIR comprende

45 un tercer telescopio (256) que recibe desde el tercer enlace descendente (32),
un preamplificador óptico de bajo ruido (258), como un amplificador de fibra dopada con erbio EDFA, opcionalmente, un demultiplexor de longitud de onda (260) en el dominio SWIR, una cadena de detección y demodulación de enlace descendente (262) incluida en el conjunto formado por un fotorreceptor de detección directa, un demodulador óptico y un fotorreceptor conectado en serie, y un receptor coherente que comprende un oscilador local y un híbrido de 90° seguido de un par de fotorreceptores equilibrados.

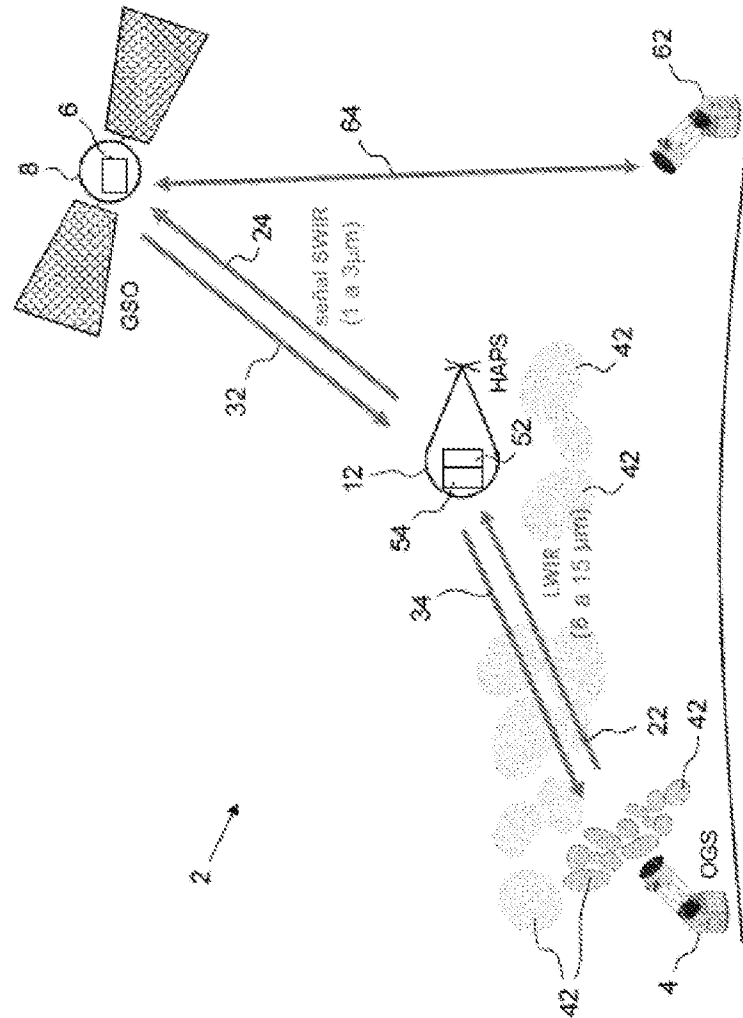
12. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según la reivindicación 10 o la reivindicación 11, en el que la cadena de transmisión de enlace descendente (254) comprende

50 un transmisor óptico (272) en el dominio de longitud de onda MWIR/LWIR con modulación directa o externa, uno o más amplificadores ópticos semiconductores de potencia SOA (274),
opcionalmente, un multiplexor de longitud de onda (276) basado en tecnologías de semiconductores de silicio, germanio, fosforo de indio (InP) o calcogenuro o en elementos ópticos discretos como rejillas de
55

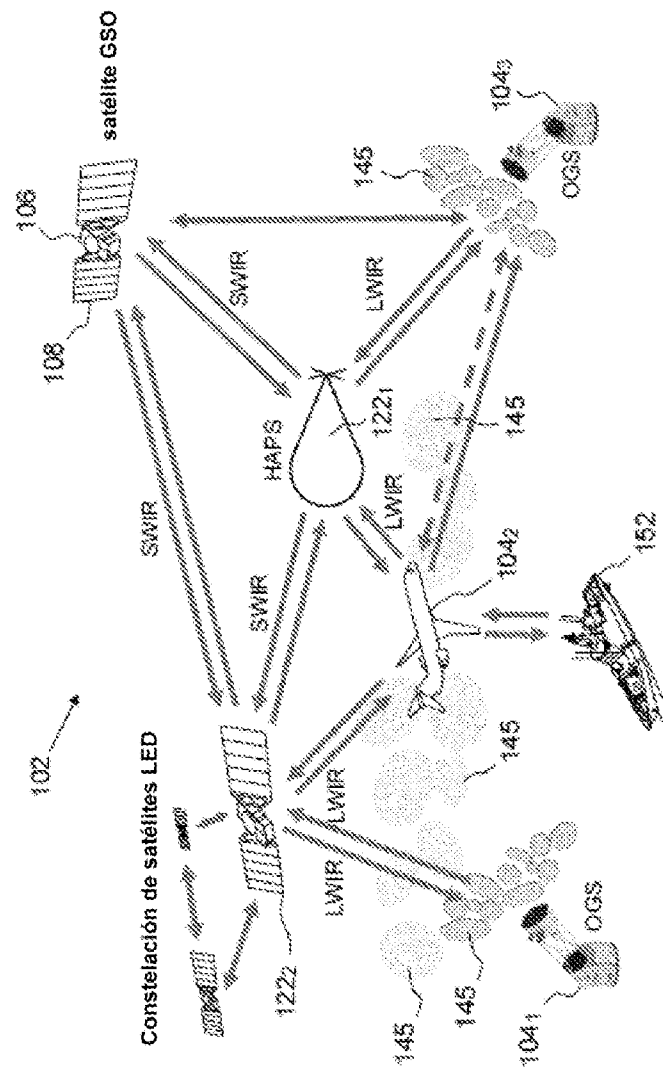
difracción o filtros de interferencia, y un cuarto telescopio (278) que transmite desde el cuarto enlace descendente.

- 5 13. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos FSO según la reivindicación 12, en el que el transmisor óptico (272) de la cadena de transmisión de enlace descendente (254) con modulación externa, opera en el dominio de longitud de onda MWIR/LWIR y comprende un láser QCL con modulación externa, modulado por un modulador de fase o amplitud o modulador de amplitud y fase, incluido en el conjunto formado por moduladores de electro-absorción EAM y moduladores Mach-Zehnder MZM.
- 10 14. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según la reivindicación 13, en el que el transmisor óptico (272) de la cadena de transmisión de enlace descendente (254) comprende un láser QCL con modulación externa, modulado por un modulador de fase o amplitud o amplitud y fase incluido en el conjunto formado por moduladores de electroabsorción EAM y moduladores Mach-Zehnder MZM, preferiblemente un modulador MZM.
- 15 15. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según una de las reivindicaciones 10 a 14, en el que la segunda cadena de conversión de enlace descendente (54) comprende un segundo módulo electrónico (282) para procesar los datos demodulados del tercer enlace descendente (32). conectado entre la cadena de recepción de enlace descendente (252) y la cadena de transmisión de enlace descendente (254), opcionalmente para decodificar, corregir errores de bits y volver a codificar estos datos.
- 20 16. Sistema espacial de transmisión de datos por medios ópticos en el espacio libre FSO según una de las reivindicaciones 1 a 15, en el que
25 el primer terminal incluye un transmisor y un receptor adicionales configurados para recibir o transmitir datos al segundo terminal a través de un canal óptico en el espacio libre sin utilizar la plataforma de retransmisión, y,
la plataforma de retransmisión (12) está configurada para activar el primer y segundo enlace ascendente y/o el tercer y cuarto enlace descendente cuando la transmisión directa de datos entre el primer terminal y el segundo terminal se interrumpe permanentemente por fuentes de perturbaciones atmosféricas.

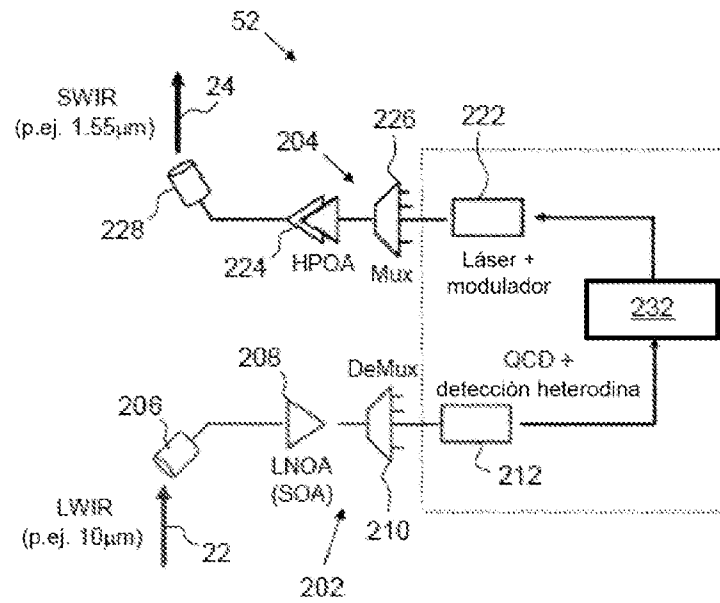
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]

