(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 840 152**

(51) Int. CI.:

H04B 7/185 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2017 PCT/EP2017/081228**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2018 WO18100180**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2017 E 17809264 (9)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.11.2020 EP 3494653**

(54) Título: **Sistemas de telecomunicaciones por satélite que comprenden una conexión de pasarela óptica y una conexión de pasarela radioeléctrica, procedimiento de control**

(30) Prioridad:

02.12.2016 FR 1661846

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.07.2021

(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:

LAURENT, BERNARD

(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

Sistemas de telecomunicaciones por satélite que comprenden una conexión de pasarela óptica y una conexión de pasarela radioeléctrica, procedimiento de control

Campo técnico

La presente invención pertenece al campo de los sistemas de telecomunicaciones por satélite, y se refiere a una carga útil de satélite, un sistema de telecomunicaciones por satélite que comprende satélite con dicha carga útil, así como un procedimiento de control y un procedimiento de aumento de capacidad de un sistema de telecomunicaciones por satélite.

Estado de la técnica

De manera convencional, un satélite de telecomunicaciones comprende una carga útil equipada de medios adaptados para intercambiar datos con una o varias estaciones de pasarelas terrestres, y con uno o varios terminales de usuario terrestres. Por “terrestres”, se entiende la superficie de la Tierra, en especial en el suelo, en lo alto de un edificio, de un poste, etc., y móvil 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, datos con destino a un terminal de usuario los emite con destino al satélite que los retransmite con destino a dicho terminal de usuario. De manera análoga, el terminal de usuario puede emitir datos con destino al satélite, que los retransmite con destino a una estación de pasarela, que los retransmite hacia el núcleo de red.

Los intercambios de datos entre, por un lado, el satélite y los terminales de usuario y, por otro lado, entre el satélite y las estaciones de pasarelas, se hacen en forma de señales radioeléctricas. Por “señal radioeléctrica”, se entiende una onda electromagnética cuyas frecuencias están comprendidas en el efecto tradicional de las ondas radioeléctricas (algunos hercios a varias centenas de gigahercios).

Hoy en día, existe una necesidad importante de aumentar la capacidad de los sistemas de telecomunicaciones por satélite existentes, en especial para ofrecer servicios de alta velocidad, denominados de banda ancha (“*broadband*” en la literatura anglosajona), y para servir a más terminales de usuario, etc.

Sin embargo, la capacidad de los sistemas de telecomunicaciones por satélite existentes está limitada, en especial, por el hecho de que las bandas de frecuencias radioeléctricas constituyen un recurso limitado y por tanto la utilización está sometida a una autorización administrativa que es incierta y debe ser solicitada numerosos años por adelantado. Además, las bandas de frecuencias radioeléctricas están sometidas a numerosas interferencias, en especial generadas por sistemas de telecomunicaciones terrestres. Finalmente, el aumento de la capacidad de un sistema de telecomunicaciones por satélite existente debe, con preferencia, realizarse asegurando una compatibilidad con los terminales de usuario existentes.

Existen sistemas de telecomunicaciones por satélites que utilizan comunicaciones ópticas, que autorizan por tanto, velocidades de transmisiones sensiblemente más elevadas que las comunicaciones por radiofrecuencias. En particular, la solicitud de patente WO 2016/022579 divulga un módulo de satélite que comprende un transmisor óptico para transmitir datos a un terminal a distancia, un receptor para adquirir una baliza óptica de este terminal, y un módulo de apuntado de precisión configurado para apuntar al transmisor óptico hacia el terminal a distancia de manera que se obtiene un enlace de comunicaciones entre el módulo por satélite y el terminal a distancia.

Estos sistemas tienen sin embargo por inconveniente requerir el establecimiento de una conexión óptica, vulnerable a falta de disponibilidad de dicha conexión.

Descripción de la invención

La presente invención tiene por objetivo remediar en su totalidad o en parte las limitaciones de las soluciones de la técnica anterior, en especial las expuestas anteriormente.

Con tal fin, según un primer aspecto, la invención se refiere a una carga útil de satélite de un sistema de telecomunicaciones por satélite, comprendiendo dicha carga útil un módulo de comunicación, denominado módulo de usuario, adaptado para intercambiar datos con al menos un terminal de usuario terrestre. Dicha carga útil comprende un módulo de comunicación, denominado módulo de pasarela, adaptado para intercambiar datos en forma de señales ópticas con al menos una estación de pasarela óptica terrestre.

Por tanto, la carga útil está configurada para intercambiar datos, con estaciones de pasarelas ópticas, en forma de señales ópticas. Por “señal óptica”, se entiende una onda electromagnética cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 0,4 micrómetros (µm) y 11 µm.

La utilización de una conexión óptica para los intercambios de datos entre la carga útil del satélite y las estaciones de pasarelas presenta numerosas ventajas. En especial, una conexión óptica permite tener velocidades de datos muy

elevadas, y la utilización de bandas de frecuencias ópticas no necesita requerir de una autorización administrativa anterior.

Además, la utilización de bandas de frecuencias ópticas puede que sólo se refieran a intercambios de datos con estaciones de pasarelas terrestres, en un enlace de pasarela de satélite ("*feeder link*" en la literatura anglosajona). Los intercambios de datos con los terminales de usuario, en un enlace de usuario del satélite ("*user link*" en la literatura anglosajona), pueden realizarse en forma de señales radioeléctricas y, con preferencia, ser compatibles con los terminales de usuario existentes que por tanto no tienen que ser modificados o intercambiados.

En los modos particulares de realización, la carga útil puede comprender además una o varias de las características siguientes, tomadas de forma aislada o según cualquiera de las combinaciones técnicamente posibles.

En modos de realización particulares, el módulo de pasarela está adaptado además para intercambiar datos en forma de señales radioeléctricas con al menos una estación de pasarela radioeléctrica terrestre.

De hecho, en caso de ausencia de trayecto óptico entre el satélite que embarca la carga útil y la estación de pasarela óptica (por ejemplo debido a la presencia de nubes entre el satélite y la estación de pasarela óptica) no es posible intercambiar datos con la estación de pasarela óptica en forma de señales ópticas. En tal caso, los intercambios de datos pueden sin embargo hacerse en forma de señales radioeléctricas con destino a una estación de pasarela radioeléctrica, con sin embargo una capacidad baja con respecto a la capacidad posible en la conexión óptica.

En modos de realización particulares, el módulo de usuario está adaptado para intercambiar datos en forma de señales radioeléctricas con el terminal de usuario.

En modos de realización particulares, el módulo de usuario está adaptado para intercambiar datos en forma de señales ópticas con al menos un terminal de usuario óptico terrestre.

En modos de realización particulares, el módulo de usuario es un módulo de comunicación multihaz, pudiendo implementar cualquier técnica conocida de formación de haces (que utiliza una fuente por haz, "*Single Feed Per Beam*" en la literatura anglosajona, o que utiliza varias fuentes por haz, "*Multi Feed Per Beam*" en la literatura anglosajona, con una red de formación de haces fija o variable o que utiliza una antena activa, etc.), comprendida en la misma utilizando una técnica de salto de haces ("*beam hopping*" en la literatura anglosajona).

Según un segundo aspecto, la invención se refiere a un sistema de telecomunicaciones por satélite que comprende al menos un terminal de usuario terrestre, y al menos un satélite en órbita terrestre, denominado satélite de pasarela óptica, que comprende una carga útil según uno cualquiera de los modos de realización de la invención. El módulo de usuario de dicha carga útil se adapta para intercambiar datos con dicho terminal de usuario, y el módulo de pasarela de dicha carga útil se adapta para intercambiar datos con al menos una estación de pasarela óptica.

En modos de realización particulares, el sistema de telecomunicaciones por satélite puede comprender además una o varias de las características siguientes, tomadas de forma aislada o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

En modos de realización particulares, el sistema de telecomunicaciones por satélite comprende un módulo de control configurado para determinar si un trayecto óptico entre satélite con pasarela óptica y una estación de pasarela óptica y, el módulo de pasarela de satélite con pasarela óptica están adaptados para intercambiar datos en forma de señales radioeléctricas con una estación de pasarela radioeléctrica, para enrutar los datos del terminal de usuario hacia una estación de pasarela radioeléctrica en caso de ausencia de trayecto óptico.

En los modos de realización particulares, el satélite con pasarela óptica está en órbita terrestre a baja altitud ("*Low Earth Orbit*" o LEO en la literatura anglosajona).

En modos de realización particulares, el sistema de telecomunicaciones por satélite comprende al menos dos estaciones de pasarela óptica distantes dispuestas de manera que permiten la existencia simultánea de trayectos ópticos entre el satélite con pasarela óptica y cada una de las dos estaciones de pasarelas ópticas. Dichas disposiciones permiten utilizar más a menudo una conexión óptica. De hecho, incluso en caso de presencia de nubes, las mismas pueden bloquear únicamente uno de los trayectos ópticos, de manera que se aumenta la probabilidad de tener al menos un trayecto óptico no bloqueado.

En modos particulares de realización, el sistema de telecomunicaciones por satélite comprende al menos un satélite, denominado satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica, que comprende un módulo de comunicación, denominado módulo de usuario, adaptado para intercambiar datos con dicho terminal de usuario, y un módulo de comunicación, denominado módulo de pasarela, adaptado para intercambiar datos únicamente en forma de señales radioeléctricas con al menos una estación de pasarela radioeléctrica. Dichos modos de realización corresponden, en especial, al caso de un aumento de la capacidad de un sistema de telecomunicaciones por satélite existente, por la adición de un satélite que comprende una carga útil según uno cualquiera de los modos de realización de la invención.

En modos de realización particulares, el sistema de telecomunicaciones por satélite comprende un módulo de control configurado para determinar si un trayecto óptico existe entre el satélite con pasarela óptica y una estación de pasarela óptica, y para enrutar los datos del terminal de usuario hacia el satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica en caso de ausencia de trayecto óptico.

En modos de realización particulares, el sistema de telecomunicaciones por satélite comprende una pluralidad de terminales de usuario adaptados para intercambiar datos con el satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica y con el satélite con pasarela óptica, y un módulo de control configurado para repartir los terminales de usuario entre el satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica y el satélite con pasarela óptica en caso de existencia de trayecto óptico entre el satélite con pasarela óptica y una estación de pasarela óptica.

Por tanto, en caso de existencia de un trayecto óptico entre el satélite con pasarela óptica y una estación de pasarela óptica, los terminales de usuario pueden ser servidos por los satélites diferentes, uno con pasarela exclusivamente radioeléctrica, el otro con pasarela óptica. Dichos terminales de usuario pueden por tanto ser repartidos entre el satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica y el satélite con pasarela óptica, implementando técnicas de asignación de recursos, y teniendo en cuenta la capacidad de conexión óptica más grande entre el satélite con pasarela óptica y la estación de pasarela óptica.

En modos de realización particulares, el módulo de control está configurado para repartir dichos terminales de usuario entre el satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica y el satélite con pasarela óptica en función de al menos un parámetro entre los parámetros siguientes:

- velocidad de datos requerida para cada terminal de usuario,

- nivel de calidad de servicio requerido para cada terminal de usuario,

- tipo de aplicación utilizada por cada terminal de usuario,

- número de terminales de usuario a servir por haz, etc.

En modos de realización particulares, el módulo de control está configurado para controlar la velocidad de datos de cada terminal de usuario en función de la existencia o de la ausencia de un trayecto óptico entre el satélite con pasarela óptica y la estación de pasarela óptica.

Según un tercer aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de control de un sistema de telecomunicaciones por satélite que comprende al menos un satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica y al menos un satélite con pasarela óptica. Estando adaptados varios terminales de usuario para intercambiar datos con el satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica y con el satélite con pasarela óptica, el procedimiento de control comprende:

- una determinación de si existe un trayecto óptico entre satélite con pasarela óptica y una estación de pasarela óptica terrestre,

- en caso de ausencia de trayecto óptico: un enrutado de los datos de los terminales de usuario hacia el satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica,

- en caso de existencia de trayecto óptico. Un reparto de los terminales de usuario entre el satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica y el satélite con pasarela óptica.

En modos de implementación particulares, el procedimiento de control puede comprender además una o varias de las características siguientes, tomadas de forma aislada o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

En modos de implementación particulares, el reparto de los terminales de usuario entre el satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica y satélite con pasarela óptica se determina en función de al menos un parámetro entre los parámetros siguientes:

- velocidad de datos requerida para cada terminal de usuario,

- nivel de calidad de servicio requerido para cada terminal de usuario,

- tipo de aplicación utilizada por cada terminal de usuario,

- número de terminales de usuario a servir por haz, etc.

En modos de implementación particulares, el procedimiento de control comprende un control de una velocidad de datos de cada terminal de usuario en función de la existencia o de la ausencia de un trayecto óptico entre el satélite con pasarela óptica y una estación de pasarela óptica.

Según un cuarto aspecto, la invención se refiere a un producto de programa de ordenador que comprende un conjunto de instrucciones de código de programa que, cuando son ejecutadas por un procesador, configuran dicho procesador para implementar un procedimiento de control según uno cualquiera de los modos de implementación de la invención.

Según un quinto aspecto, la invención se refiere a un procedimiento de aumento de capacidad de un sistema de telecomunicaciones por satélite que comprende al menos un terminal de usuario terrestre y al menos un satélite en órbita terrestre, denominado satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica, que comprende un módulo de comunicación, denominado módulo de usuario, adaptado para intercambiar datos con dicho terminal de usuario, y un módulo de comunicación, denominado módulo de pasarela, adaptado para intercambiar datos únicamente en forma de señales radioeléctricas con al menos una estación de pasarela radioeléctrica. El procedimiento de aumento de capacidad comprende una puesta en órbita terrestre de al menos un satélite, denominado satélite con pasarela óptica, que comprende un módulo de comunicación, denominado módulo de usuario, adaptado para intercambiar datos con dicho terminal de usuario y un módulo de comunicación, denominado módulo de pasarela, adaptado para intercambiar datos en forma de señales ópticas con al menos una estación de pasarela óptica terrestre.

En modos de implementación particulares, el procedimiento de aumento de capacidad puede comprender además una o varias de las características siguientes, tomadas de forma aislada o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

En modos de implementación particulares, el procedimiento de aumento de capacidad comprende un despliegue progresivo de estaciones de pasarela óptica.

En modos de implementación particulares, el procedimiento de aumento de capacidad comprende además, después de la colocación de satélite con pasarela óptica, un control del sistema de telecomunicaciones por satélite de acuerdo con un procedimiento de control según uno cualquiera de los modos de implementación de la invención.

Presentación de las figuras

La invención se comprenderá mejor de la lectura de la descripción siguiente, dada a título de ejemplo en ningún caso limitativo, y hecha refiriéndose a las figuras que representan:

- La figura 1: una representación esquemática de una carga útil de satélite con pasarela óptica,

- La figura 2: una representación esquemática de un ejemplo de realización de un sistema de comunicaciones por satélite,

- La figura 3: una representación esquemática de una variante de realización del sistema de telecomunicaciones por satélite de la figura 2,

- La figura 4: una representación esquemática de un modo preferido de realización de un sistema de telecomunicaciones por satélite,

- La figura 5: un diagrama que representa las principales etapas del procedimiento de control de un sistema de telecomunicaciones por satélite.

En estas figuras, referencias idénticas de una figura otra designan elementos idénticos o análogos. Por razones de claridad, los elementos representados no están a escala, salvo mención en contrario.

Descripción detallada de modos de realización

La figura 1 representa, de forma esquemática, un ejemplo de realización de una carga 10 útil para un satélite destinado a ser colocado en órbita terrestre, denominado satélite 22 con pasarela óptica.

Tal como se ilustra por la figura 1, la carga 10 útil comprende un módulo de comunicación, denominado módulo 11 de usuario, adaptado para intercambiar datos en un enlace de usuario con terminales 21 de usuario terrestres. La carga 10 útil comprende del mismo modo un módulo de comunicación, denominado módulo 12 de pasarela, adaptado para intercambiar datos en un enlace de pasarela en forma de señales ópticas con al menos una estación 23 de pasarela óptica terrestre.

Tal y como se indicó anterior mente, la estación 23 de pasarela óptica realiza, para el satélite 22 de pasarela óptica, un punto de acceso en un núcleo 30 de red terrestre. Por tanto, una estación 23 de pasarela óptica que recibe, a partir del núcleo 30 de red, datos de destino de un terminal 21 de usuario los emite con destino al módulo 12 de pasarela del satélite 22 con pasarela óptica que los retransmite por el módulo 11 de usuario con destino a dicho terminal 21 de usuario. De manera análoga, el terminal de usuario puede emitir datos con destino al módulo 11 de usuario del satélite 22 con pasarela óptica, que los retransmite por el módulo 12 de pasarela con destino a una estación 23 de pasarela óptica, que los retransmite a su vez hacia el núcleo 30 de red.

La carga 10 útil comprende, del mismo modo, otros equipos, como por ejemplo un módulo 13 de demultiplexado /multiplexado, que realiza la interconexión entre el módulo 11 de usuario y el módulo 12 de pasarela, así como un módulo 14 de control del módulo 13 de demultiplexado/multiplexado. El módulo 14 de control y el módulo 13 de demultiplexado/multiplexado salen del ámbito de la invención, y pueden tomar cualquier forma adaptada.

El módulo 12 de pasarela comprende por ejemplo un circuito óptico adaptado para intercambiar datos en forma de señales ópticas. Los datos intercambiados en forma de señales ópticas por dicho módulo 12 de pasarela comprenden, con preferencia, a la vez datos útiles y datos de control. Se ha de observar que el módulo 12 de pasarela puede comprender varios circuitos ópticos que permiten establecer, de forma simultánea, varias conexiones ópticas con estaciones 23 de pasarelas ópticas respectivas diferentes.

En modos de realización particulares, el módulo 12 de pasarela está adaptado además para intercambiar datos en forma de señales radioeléctricas con al menos una estación 24 de pasarela radioeléctrica. Con tal fin, el módulo 12 de pasarela comprende por ejemplo además uno o varios circuitos radioeléctrico adecuados para intercambiar datos en forma de señales radioeléctricas, por ejemplo en una o varias bandas de frecuencias radioeléctricas entre las bandas Q, V, Ka, Ku, L, etc.

En otras palabras, en dichos modos de realización, el módulo 12 de pasarela es híbrido ya que permite intercambiar en el enlace de pasarela datos a la vez en forma de señales ópticas y en forma de señales radioeléctricas. Dichas disposiciones son ventajosas ya que no es siempre posible establecer una conexión óptica entre el satélite 22 con pasarela óptica y una estación 23 de pasarela óptica. En especial, en caso de presencia de nubes entre el satélite 22 con pasarela óptica y la estación 23 de pasarela óptica, no existe trayecto óptico que permita establecer una conexión óptica en el enlace de pasarela. En tal caso, el módulo 12 de pasarela de satélite 22 con pasarela óptica puede establecer una conexión radioeléctrica con una estación 24 de pasarela radioeléctrica. De hecho, una conexión radioeléctrica es menos sensible a las perturbaciones meteorológicas que una conexión óptica, y por tanto está más a menudo disponible que una conexión óptica. Dicha solución permite por tanto beneficiarse, en el enlace de pasarela, a la vez de la disponibilidad más grande de la conexión radioeléctrica y la capacidad más grande de la conexión óptica, cuando esté disponible.

El módulo 11 de usuario comprende por ejemplo uno o varios circuitos radioeléctricos adaptados para intercambiar datos en forma de señales radioeléctricas, por ejemplo en una o varias bandas de frecuencias radioeléctricas entre las bandas Q, V, Ka, Ku, L, etc. Los datos intercambiados por el módulo 11 de usuario comprenden con preferencia a la vez datos útiles y datos de control.

Con preferencia, el módulo 11 de usuario es un módulo de comunicación multihaz, es decir adaptado para formar en el enlace de usuario una pluralidad de haces que sirven de zonas geográficas diferentes en la superficie de la Tierra. De manera general, cualquier técnica conocida de formación de haces (que utiliza una fuente por haz, "*Single Feed Per Beam*" en la literatura anglosajona, o que utiliza varias fuentes por haz, "*Multi Feed Per Beam*" en la literatura anglosajona, con una red de formación de haces fija o variable o que utiliza una antena activa, etc.) Se puede implementar en el enlace de usuario, comprendida en la misma utilizando una técnica de salto de haz ("*beam hopping*" en la literatura anglosajona).

La utilización de un módulo 11 de usuario multihaz es particularmente ventajosa ya que permite utilizar al menos un aumento de capacidad ofrecida por la conexión óptica en el enlace de pasarela. De hecho, la utilización de haces permite reutilizar, de un haz a otro, las mismas bandas de frecuencias radioeléctricas. Por tanto, si se designa por N_F el número de haces y por D_{MAX} la velocidad de datos máxima en cada haz, por tanto la velocidad de datos máxima en el enlace de usuario puede ser igual a $N_F.D_{MAX}$. En los sistemas de telecomunicaciones por satélite convencionales, no es posible que funcionen a la velocidad D_{MAX} de datos máxima en cada haz ya que, la conexión en el enlace de pasarela que es una conexión radioeléctrica, la velocidad de datos máxima en el enlace de usuario es generalmente demasiado importante para el enlace de pasarela. Este no es el caso con una conexión óptica en el enlace de pasarela de manera que, cuando el mismo esté disponible, es posible que funcione con velocidad de datos máxima en cada haz.

De forma alternativa o complementaria, el módulo 11 de usuario comprende uno o varios circuitos ópticos y está adaptado para intercambiar datos en forma de señales ópticas con al menos un terminal de usuario óptico. Dichas disposiciones permiten ofrecer a dicho terminal de usuario óptico (que puede ser un terminal de usuario híbrido, es decir, a la vez radioeléctrico y óptico) una velocidad de datos máxima más importante cuando la conexión óptica está disponible a la vez entre el módulo 11 de usuario y el terminal de usuario óptico, y entre el módulo 12 de pasarela y la estación 23 óptica de pasarela.

La figura 2 representa de forma esquemática un ejemplo de realización de un sistema 20 de telecomunicaciones por satélite que comprende un satélite 22 de pasarela óptica que comprende una carga 10 útil tal como se describe con referencia a la figura 1, considerando el caso en el que el módulo 12 de pasarela es híbrido (a la vez óptico y radioeléctrico). En el ejemplo ilustrado por la figura 2, el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite comprende además:

- un terminal 21 de usuario,
- una estación 24 de pasarela radioeléctrica,
- una estación 23 de pasarela óptica.

La estación 24 de pasarela radioeléctrica y la estación 23 de pasarela óptica están conectadas a un núcleo 30 de red. En el ejemplo ilustrado por la figura 2, la estación 23 de pasarela óptica y la estación 24 radioeléctricas son distintas. Nada excluye sin embargo, según otros ejemplos, tener una sola y única estación de pasarela híbrida, a la vez óptica y radioeléctrica.

Los sistemas de telecomunicaciones para satélite de alta velocidad convencionales comprenden en general varias estaciones 24 de pasarelas radioeléctricas. En un sistema 20 de telecomunicaciones por satélite según la invención, es posible desplegar varias estaciones 23 de pasarela óptica. Con el fin de reducir el número (y los costes de explotación) de los lugares a desplegar para una operadora, es preferible desplegar la o las estaciones 23 de pasarela óptica en los mismos lugares que los utilizados para las estaciones 24 de pasarela radioeléctrica, por ejemplo, en los lugares que permiten asegurar la mejor disponibilidad de la conexión óptica.

El satélite 22 de pasarela óptica está, por ejemplo, en órbita geoestacionaria ("*Geostationary Orbit*" o GEO en literatura anglosajona), o en órbita de baja altitud ("*Low Earth Orbit*" o LEO), o en órbita de media altitud ("*Medium Earth Orbit*" o LEO), etc.

En la parte a) de la figura 2, existe un trayecto óptico entre el satélite 22 con pasarela óptica y la estación 23 de pasarela óptica, de manera que es posible establecer una conexión óptica. En este caso, los intercambios de datos en el enlace de pasarela se hacen con preferencia con la estación 23 de pasarela óptica, en forma de señales ópticas (en línea discontinua en la figura 2), con el fin de beneficiarse de una mayor capacidad. Los intercambios de datos en el enlace de usuario con el terminal 21 de usuario se hacen por ejemplo en forma de señales radioeléctricas (línea continua en la figura 2), por ejemplo, en la banda Ka o la banda Q/V, etc. Del mismo modo, es posible, en caso de existencia de trayecto óptico, utilizar a la vez el enlace de pasarela con la estación 23 de pasarela óptica y el enlace de pasarela con la estación 24 de pasarela radioeléctrica. En particular, cuando varios terminales 21 de usuario intercambian datos con el satélite 22 con pasarela óptica, los datos del terminal 21 de usuario pueden repartirse entre el enlace de pasarela con la estación 23 de pasarela óptica y el enlace de pasarela con la estación 24 de pasarela radioeléctrica.

En la parte b) de la figura 2, no existe trayecto óptico entre el satélite 22 con pasarela óptica y la estación 23 de pasarela óptica debido a la presencia de nubes, de manera que sólo es posible establecer una conexión eléctrica en el enlace de pasarela. En este caso, los intercambios de datos en el enlace de pasarela se hacen con la estación 24 de pasarela radioeléctrica, en forma de señales radioeléctricas.

La figura 3 representa, de forma esquemática, una variante de realización del sistema 20 de telecomunicaciones por satélite de la figura 2, en el cual el módulo de pasarela del satélite 22 con pasarela óptica es únicamente óptico.

Con respecto al ejemplo ilustrado en la figura 2, el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite comprende además un satélite en órbita terrestre, denominado satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica. El satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica comprende un módulo de comunicación, denominado módulo de usuario (no representado en las figuras), adaptado para intercambiar datos con el terminal 21 de usuario. Con preferencia, el módulo de usuario del satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica es un módulo de comunicación multihaz. El satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica comprende, del mismo modo, un módulo de comunicación, denominado módulo de pasarela (no representado en las figuras) adaptado para intercambiar datos únicamente en forma de señales radioeléctricas en el enlace de pasarela, con la estación 24 de pasarela radioeléctrica.

El ejemplo ilustrado por la figura 3 corresponde, en especial, al caso de un aumento de la capacidad de un sistema de telecomunicaciones por satélite convencional existente, por la adición de un satélite 22 con pasarela óptica y de una estación 23 de pasarela óptica.

En modos preferibles de realización, el módulo de usuario del satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica y el módulo 11 de usuario del satélite 22 con pasarela óptica, que sirven eventualmente diferentes haces, funciona ambas en la misma banda de frecuencias radioeléctricas, como por ejemplo la banda Ka o la banda Q/V, etc. Dichas soluciones ventajosa, en particular en el caso de un aumento de capacidad de un sistema de telecomunicaciones por satélite existente, ya que es compatible con los terminales de usuario existentes que no tienen por tanto que ser modificados o intercambiados, con la condición sin embargo de ser equipados de medios de apuntado que permitan apuntar o bien hacia el satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica o bien hacia el satélite 22 con pasarela óptica. Sin embargo, en un sistema de telecomunicaciones por satélite existente que comprende satélites en órbita de desplazamiento (por ejemplo en órbita LEO), los terminales de usuario están pasando constantemente de un satélite a otro para intercambiar datos. Para hacer esto, dichos terminales de usuario disponen por tanto ya de medios de apuntado (mecánico y/o electrónicos en el caso de una antena de red) para pasar de un satélite a otro.

Nada excluye sin embargo, según otros ejemplos, utilizar bandas de frecuencias radioeléctricas diferentes en el enlace de usuario del satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica (por ejemplo, la banda Ka) y en el enlace de usuario del satélite 22 con pasarela óptica (por ejemplo la banda Q(V). Dicha solución puede sin embargo no ser compatible con los terminales de usuario existentes, de manera que el aumento de capacidad puede que sólo beneficie por tanto a algunos terminales de usuario capaces de funcionar en bandas de frecuencia radioeléctricas diferentes. Sin embargo, la utilización de bandas de frecuencias radioeléctricas diferentes permite simplificar la gestión de las

interconexiones entre los dos tipos de enlaces de usuario durante el aumento de capacidad, debido a que los mismos estarían por tanto lo suficientemente separados en el campo de frecuencias.

En la parte a) de la figura 3, existe un trayecto óptico entre el satélite 22 con pasarela óptica y la estación 23 de pasarela óptica, de manera que es posible establecer una conexión óptica. En este caso, el terminal 21 de usuario intercambia con preferencia datos con el satélite 22 con pasarela óptica y los intercambios de datos en el enlace de pasarela se hacen con la estación 23 de pasarela óptica (en línea discontinua en la figura 3).

En la parte b) de la figura 3, no existe trayecto óptico entre la estación 22 con pasarela óptica y el satélite 23 de pasarela óptica debido a la presencia de nubes, de manera que sólo es posible establecer una conexión óptica en el enlace de pasarela. En este caso, el terminal 21 de usuario intercambia datos con el satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica, y los intercambios de datos en el enlace de pasarela se hacen con la estación 24 de pasarela radioeléctrica (en línea continua en la figura 3).

Nada excluye, según otros ejemplos, tener un satélite 22 con pasarela óptica que comprende un módulo 12 de pasarela híbrido (a la vez óptico y radioeléctrico). En dicho caso, si no es posible establecer una conexión óptica en el enlace de pasarela del satélite 22 con pasarela óptica (parte b) de la figura 3), entonces los datos del terminal 21 de usuario pueden intercambiarse con la estación 24 de pasarela radioeléctrica por medio del satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica y/o por medio del satélite 22 con pasarela óptica.

Además, en el ejemplo ilustrado por la figura 3 el módulo 11 de usuario del satélite 22 con pasarela óptica podría del mismo modo reemplazarse por un módulo de comunicación entre satélites, con preferencia óptico, adaptado para intercambiar datos en un enlace entre satélites con el satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica. En dicho caso, si existe un trayecto óptico entre el satélite 22 con pasarela óptica y la estación 23 de pasarela óptica, el terminal 21 de usuario intercambia con preferencia datos con la estación 23 de pasarela óptica, por medio del satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica y del satélite 22 con pasarela óptica, las cuales intercambian datos entre sí en el enlace entre satélites.

En los ejemplos ilustrados por las figuras 2 y 3, el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite comprende un terminal 21 de usuario, un satélite 22 con pasarela óptica, una estación 23 de pasarela óptica, una estación 24 de pasarela radioeléctrica y, en la figura 3, un satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica. Por supuesto, el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite puede comprender, según otros ejemplos, varios terminales 21 de usuario y/o varias estaciones 24 de pasarelas radioeléctricas y/o varias estaciones 23 de pasarela óptica y/o varios satélites 22 de pasarela óptica y/o varios satélites 25 de pasarela exclusivamente radioeléctrica.

En modos de realización preferidos, el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite comprende al menos dos estaciones 23 de pasarela óptica separadas dispuestas de manera que permiten la existencia simultánea de trayectos ópticos entre el satélite 22 con pasarela óptica y cada uno de la pluralidad de estaciones 23 de pasarela óptica. En dichos modos de realización, la probabilidad de tener la posibilidad de establecer una conexión óptica en el enlace de pasarela del satélite 22 con pasarela óptica se mejora. De hecho, incluso en presencia de nubes entre satélite 22 con pasarela óptica y una estación 23 de pasarela óptica, puede existir un trayecto óptico entre dicho satélite 22 con pasarela óptica y otra estación 23 de pasarela óptica. Dichas disposiciones permiten mejorar la disponibilidad de la conexión óptica en enlace de pasarela. Con preferencia, las estaciones de pasarelas ópticas están separadas una distancia suficiente (por ejemplo superior a 50 km, incluso superior a 100 km) para asegurar una descorrelación de los fenómenos meteorológicos.

Se ha de observar que, cuando el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite comprende varias estaciones 23 de pasarela óptica, las mismas no están necesariamente todas activas de forma simultánea. Por ejemplo, una de las estaciones 23 de pasarelas ópticas puede que sólo esté activada como reemplazo de otra estación 23 de pasarela óptica, cuando esta otra estación 23 de pasarela óptica está averiada o está ocultada por nubes. Una estación 23 de pasarela óptica que no está activa aumenta por tanto la capacidad máxima del sistema 20 de telecomunicaciones por satélite, ya que no sólo es utilizada en reemplazo de otra estación 23 de pasarela óptica, sino permite mejorar la capacidad media por una mejora de la disponibilidad de una conexión óptica en el enlace de pasarela.

Para ofrecer una capacidad óptica máxima C_{OPT} a nivel del sistema 20 de telecomunicaciones por satélite, es ventajoso desplegar una pluralidad (normalmente entre dos y cinco) estaciones 23 de pasarelas ópticas activas de capacidad baja (y por tanto de coste reducido), es decir que ofrezcan, cada una, una capacidad inferior a u C_{OPT}, en lugar de una sola estación 23 de pasarela óptica de capacidad alta (y por tanto de coste alto) que ofrezca sólo la capacidad C_{OPT}.

Dicha pluralidad de estaciones 23 de pasarela óptica es por ejemplo reagrupada en el seno de una red que puede o bien ser operada por la operadora que poseen los satélites, o bien operada por otra entidad que permita el acceso a su red, por ejemplo como un servicio.

La separación geográfica de las estaciones 23 de pasarelas ópticas permite aumentar, de forma significativa, la capacidad óptica media. De hecho, la disponibilidad de una conexión óptica entre el enlace de pasarela se mejora ya que la probabilidad de que, en un instante dado, no esté disponible ninguna conexión óptica es bastante más baja que en el caso en el que el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite sólo comprenda una sola estación 23 de pasarela óptica de capacidad alta. Para mejorar la capacidad óptica media y la disponibilidad de una conexión óptica, es posible

prever dos estaciones 23 de pasarelas ópticas de capacidad alta, una de las cuales solamente está activa en cada instante. Sin embargo, resultará en general más económico desplegar una pluralidad de estaciones 23 de pasarelas ópticas activas de capacidad baja en lugar de dos estaciones de pasarela óptica de capacidad alta de las cuales solamente una está activa. Además, el despliegue de una pluralidad de estaciones 23 de pasarelas ópticas de capacidad baja se puede hacer de forma más progresiva, con el fin de repartir la inversión a lo largo de la evolución de la demanda de capacidad.

La figura 4 representa, de forma esquemática, un modo preferido de realización de un sistema 20 de telecomunicaciones por satélite, que comprende una pluralidad de satélites 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica y una pluralidad de satélites 22 con pasarela óptica en órbita LEO.

Con preferencia, los satélites 22 con pasarela óptica se colocan, en un plano de la constelación, de tal manera que existe siempre uno o varios satélites 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica intercalados entre dos satélites 22 con pasarela óptica. Desde un punto de vista de funcionamiento, una operadora puede por ejemplo desplegar en primer lugar una constelación de satélites 25 con pasarela exclusivamente eléctrica. A continuación, con el fin de aumentar la capacidad de su sistema de telecomunicaciones por satélite, la operadora puede lanzar satélites 22 con pasarela óptica, intercalados entre los satélites 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica anteriores.

En el ejemplo no limitativo ilustrado por la figura 4, el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite comprende además una pluralidad de estaciones 24 de pasarela radioeléctrica si una pluralidad de estaciones 23 de pasarela ópticas. Se ha de observar que las estaciones 23 de pasarela ópticas son distintas entre sí. Sin embargo, una estación 23 de pasarela óptica puede, en el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite, ser confundida con una estación 24 de pasarela radioeléctrica. Las estaciones 23 de pasarela ópticas están con preferencia situadas en zonas geográficas donde la densidad de tráfico de datos es más fuerte (para aumentar la capacidad) y/o donde la disponibilidad de la conexión óptica es la más favorable (por ejemplo en zonas geográficas secas o en fronteras de zonas geográficas húmedas).

Por ejemplo, los intercambios de datos con los terminales 21 de usuarios se hacen exclusivamente en forma de señales radioeléctricas. Según un ejemplo no limitativo:

- los intercambios de datos en los enlaces de usuario de satélites 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica se hacen en la banda Ka,

- los intercambios de datos en los enlaces de pasarelas de satélites 25 con pasarelas exclusivamente radioeléctricas se hacen en las bandas Q (sentido ascendente) y V (sentido descendente),

- los intercambios de datos en los enlaces de usuario de satélites 22 con pasarela óptica se hacen en las bandas Q (sentido ascendente) y V (sentido descendente).

Nada excluye sin embargo, según otros ejemplos considerar otras bandas de frecuencias radioeléctricas. En especial, es posible considerar la o las mismas bandas de frecuencias radioeléctricas en los enlaces de usuario de los satélites 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica y de los satélites con pasarela óptica, por ejemplo la banda Ka.

Un terminal 21 de usuario puede intercambiar datos de forma simultánea con uno o dos satélites, por consiguiente a través de uno o dos enlaces de usuario. Estos datos pueden provenir de una pluralidad de estaciones de pasarelas o bien exclusivamente radioeléctricas, o bien exclusivamente ópticas, o bien de dos tipos a la vez. De manera análoga, un mismo haz puede contener terminales 21 de usuario que intercambian datos con estaciones de pasarelas o bien exclusivamente radioeléctricas, o bien exclusivamente ópticas, o bien de los dos tipos a la vez.

En el ejemplo no limitativo ilustrado por la figura 4, el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite sólo comprende a la vez al menos un satélite 22 con pasarela óptica cuyo módulo 12 de pasarela es exclusivamente óptico (parte derecha de la figura 4) y al menos un satélite 22 con pasarela óptica cuyo módulo 12 de pasarela es híbrido, es decir a la vez óptico y radioeléctrico (parte derecha de la figura 4). Nada excluye, según otros ejemplos, tener un sistema 20 de telecomunicaciones por satélite cuyo el o los satélites 22 con pasarela óptica comprenden todos un módulo 12 de pasarela exclusivamente radioeléctrico, y por tanto el o los satélites 22 con pasarela óptica comprenden todos un módulo 12 de pasarela híbrida.

En los modos particulares de realización, el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite comprende, del mismo modo, un módulo de control (no representado en las figuras) de dicho sistema 20 de telecomunicaciones por satélite. En particular, el módulo de control determina si los datos de uno o de varios terminales 21 de usuario deben ser intercambiados con una estación 24 de pasarela radioeléctrica o con una estación 23 de pasarela óptica, y enruta por consiguiente dichos datos, hacia dicha estación 24 de pasarela radioeléctrica o hacia dicha estación 23 de pasarela óptica.

El módulo de control comprende por ejemplo uno o varios procesadores y medios de memorización (disco duro magnético, memoria electrónica, disco óptico, etc.) en los cuales se memoriza un producto de programa de ordenador, en forma de un conjunto de instrucciones de código de programa a ejecutar. De forma alternativa o como complemento,

el módulo de control comprende uno o circuitos lógicos programables (FPGA, PLD, etc.) y/o uno circuitos integrados especializados (ASIC, etc.), y/o un conjunto de componentes electrónicos discretos, etc.

En otras palabras, el módulo de control comprende un conjunto de medios configurados a modo de software (producto del programa de ordenador específico) y a modo de hardware (FPGA, PLD, ASIC, componentes electrónicos discretos, etc.) para controlar el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite.

El módulo de control está, por ejemplo, completamente integrado en uno de los equipos del sistema 20 de telecomunicaciones por satélite, o incluso distribuido en varios de dichos equipos. Por ejemplo, en el caso ilustrado por la figura 2, el módulo de control puede estar completamente integrado en el satélite 22 de pasarela óptica.

En modos preferidos de realización, el módulo de control está integrado en una estación en tierra, y controla por ejemplo a distancia diferentes equipos del sistema 20 de telecomunicaciones por satélite, para, en especial, enrutar los datos de los terminales 21 de usuario hacia una estación 24 de pasarela radioeléctrica y/o hacia una estación 23 de pasarela óptica.

La figura 5 representa, de forma esquemática, las principales etapas de un procedimiento 50 de control de un sistema 20 de telecomunicaciones por satélite, implementado por el módulo de control. Tal como se ilustra por la figura 5, cuando varios terminales 21 de usuario son adaptados para intercambiar datos con un satélite 22 con pasarela óptica y con un satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica, dicho procedimiento 50 de control comprende las etapas de:

- 51 determinación si un trayecto óptico existe entre el satélite 22 compases elástica y una estación 23 de pasarela óptica,

- en caso de ausencia de trayecto óptico (referencia 510 en la figura 5): un enrutado 52 de datos de los terminales 21 de usuario hacia una estación 24 de pasarelas radioeléctrica,

- en caso de existencia de trayecto óptico (referencia 511 en la figura 5): un enrutado 53 de al menos una parte de los datos de los terminales de usuario hacia la estación 23 de pasarela óptica.

En el trascurso de la etapa 51, se determina si existe un trayecto óptico entre el satélite 22 con pasarela óptica y una estación 23 de pasarela.

Por ejemplo, es posible probar a establecer una conexión óptica entre el satélite 22 con pasarela óptica y una estación 23 de pasarela. Si el establecimiento de la conexión óptica falla, esto significa que no existe trayecto óptico. Si el establecimiento de la conexión óptica sucede, esto significa por el contrario que existe un trayecto óptico.

Se ha de observar que la etapa 51 no busca necesariamente determinar si un trayecto existe en el instante presente, sino que puede al contrario buscar determinar si el trayecto óptico es susceptible de existir en un instante posterior, con el fin de anticipar el enrutado de datos de terminales 21 de usuario. Por ejemplo, es posible tomar en cuenta previsiones meteorológicas con el fin de determinar, si, en un instante posterior, el trayecto óptico es susceptible de estar bloqueado por nubes, evitando el establecimiento de la conexión óptica. Esto es particularmente útil, en especial, en el caso de satélites en órbita LEO, con el fin de determinar si será posible establecer una conexión óptica cuando el satélite 22 con pasarela óptica sobrevuela una zona geográfica dada. En el caso de un sistema 20 de telecomunicaciones por satélite que comprende una pluralidad de satélites 22 con pasarela óptica en órbita LEO, es del mismo modo posible, para determinar si será posible establecer una conexión óptica cuando un satélite 22 con pasarela óptica dado sobrevolar a posteriormente una zona geográfica dada, utilizar informaciones recabadas por otro satélite 22 con pasarela óptica que viene de o que está a punto de sobrevolar dicha zona geográfica. Además, el bloqueo del trayecto óptico puede informar al sistema 20 de telecomunicaciones por satélite de fenómenos meteorológicos que pueden degradar en parte la conexión radioeléctrica en los enlaces de usuario o en el enlace de pasarela con la estación 24 de pasarela radioeléctrico. El sistema 20 de telecomunicaciones por satélite puede utilizar técnicas de adaptación de velocidad de datos conocidas por el experto en la técnica (adaptación del nivel de codificación, del tipo de modulación y/o del ritmo de símbolo) permitiendo garantizar el intercambio de datos, a pesar de condiciones de propagación más difíciles.

Cuando no existe trayecto óptico (referencia 510 en la figura 5) los datos de los terminales de usuario son enrutados hacia una estación 24 de pasarela radioeléctrica. Cuando existe un trayecto óptico (referencia 511 en la figura 5), los datos de los terminales 21 de usuario se pueden enrutar hacia una estación de pasarela óptica y/o hacia una estación 24 de pasarela radioeléctrica. La decisión de enrutar los datos de un terminal 21 de usuario hacia la estación 23 de pasarela óptica y/o hacia la estación 24 de pasarela radioeléctrica puede tomar en cuenta al menos un parámetro entre los parámetros siguientes:

- velocidad de datos requerida para cada terminal 21 de usuario,

- nivel de calidad de servicio requerido para cada terminal de usuario,

- tipo de aplicación utilizada por cada terminal de usuario,

- número de terminales de usuario a servir por haz, etc.

En el caso de un sistema 20 de telecomunicaciones por satélite tal como se ilustra en la figura 3, es decir que comprende al menos un satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica, por tanto cuando no existe trayecto óptico (referencia 510 en la figura 5) la etapa 52 de enrutado va a por ejemplo enrutar los datos de los terminales 21 de usuario hacia un satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica (en particular si el satélite 22 con pasarela óptica no dispone de módulo 11 de usuario híbrido). Cuando existe un trayecto óptico (referencia 511 en la figura 5), la etapa 53 de enrutado va a repartir los terminales 21 de usuario entre el satélite 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica y el satélite 22 con pasarela óptica. El reparto puede consistir, por ejemplo, en enrutar los datos de todos los terminales 21 de usuario hacia el satélite 22 con pasarela óptica.

En modos preferidos de implementación, el procedimiento 50 de control comprende, de forma alternativa o como complemento a los modos de implementación descritos anteriormente, un control de la velocidad de datos de cada terminal 21 de usuario en función de la existencia o de la ausencia de un trayecto óptico entre el satélite 22 con pasarela óptica y una estación 23 de paralela óptica. Por ejemplo, la velocidad de datos de todos o parte de los terminales 21 de usuario se puede aumentar en caso de que no exista trayecto óptico entre el satélite 22 con pasarela óptica y una estación 23 de pasarela óptica, con el fin de tener en cuenta la capacidad en el enlace de pasarela (conexión óptica o conexión radioeléctrica). Del mismo modo, la velocidad de datos de todos o parte de los terminales 21 de usuario puede reducirse en caso de ausencia de trayecto óptico con el fin de tener en cuenta las perturbaciones meteorológicas en el enlace de pasarela, que son del mismo modo susceptibles de reducir la calidad de la conexión radioeléctrica en el enlace de pasarela.

Tal y como se indicó anterior mente, es posible aumentar la capacidad de un sistema de telecomunicaciones por satélite existente que comprende únicamente uno o varios satélites 25 con pasarela exclusivamente radioeléctrica. El aumento de la capacidad de un sistema de telecomunicaciones por satélite se describe a continuación para su componente espacial (colocación de satélites 22 con pasarela óptica) y para su componente terrestre (despliegue de estaciones 23 de pasarelas ópticas).

Es suficiente para ello colocar en órbita terrestre al menos un satélite 22 con pasarela óptica (es decir que comprende un módulo 12 de pasarela exclusivamente óptico o híbrido óptico/radioeléctrico) para completar la constelación de dicho sistema de telecomunicaciones por satélite existente, y añadir además al menos una estación 23 de pasarela óptica.

En el caso en el que el satélite 22 con pasarela óptica colocado comprenda un módulo 12 de pasarela híbrido (óptico/radioeléctrico), dichos satélite 22 con pasarela óptica puede utilizarse incluso cuando ninguna estación 23 de pasarela óptica haya sido aún desplegada, utilizando la conexión radioeléctrica en el enlace de pasarela. En dicho caso, el aumento de la capacidad en el enlace de pasarela sólo se obtiene cuando al menos una estación 23 de pasarela óptica es desplegada.

Se ha de observar que la conexión óptica en el enlace de pasarela sólo se utiliza cuando existe un trayecto óptico. Cuando no existe trayecto óptico, el sistema de telecomunicaciones por satélite funciona como funcionaría antes de la colocación de dichos satélite 22 con pasarela óptica, por medio de una estación 24 de pasarela radioeléctrica. El sistema de telecomunicaciones por satélite de capacidad aumentada puede por tanto funcionar con una sola estación 23 de pasarela óptica, y la adición de estaciones 23 de pasarela óptica suplementarias sólo tiene por objetivo mejorar la capacidad máxima y/o la capacidad media del sistema 20 de telecomunicaciones por satélite.

Designando por C_{MAX} la capacidad máxima ofrecida por el sistema 20 de telecomunicaciones por satélite, la misma va a aumentar a lo largo de los despliegues progresivos en tierra de las estaciones 23 de pasarela óptica activas.

Antes del aumento de capacidad, el sistema de telecomunicaciones por satélite comprende una o varias estaciones 24 de pasarelas radioeléctricas que ofrecen una capacidad radioeléctrica máxima C_{RF}, y la capacidad C_{MAX} es igual a la capacidad radioeléctrica máxima C_{RF} ($C_{MAX} = C_{RF}$).

Cuando la operadora desea aumentar la capacidad máxima del sistema de telecomunicaciones por satélite, puede desplegarse una o más estaciones 23 de pasarela óptica activas, ofreciendo juntas una capacidad C_{OPT} óptica máxima. La capacidad C_{MAX} máxima del sistema 20 de telecomunicaciones por satélite es por tanto aumentada $C_{MAX} = C_{RF} + C_{OPT}$.

A título de ejemplo, se puede tener por objetivo al final del despliegue completo de todas las estaciones paralelas, el reparto siguiente: $C_{RF} = 1/5 \times C_{MAX}$ y $C_{OPT} = 4/5 \times C_{MAX}$. La capacidad óptica máxima se va a distribuir entre todas las estaciones 23 de pasarelas ópticas activas desplegadas. Es posible desplegar una sola estación 23 de pasarela óptica activa con fuerte capacidad que ofrezca a la misma sólo una capacidad $4/5 \times C_{MAX}$, o bien desplegar por ejemplo cuatro estaciones 23 de pasarelas ópticas activas de capacidad baja y que solo ofrezcan cada una, una capacidad $1/5 \times C_{MAX}$, pero que permita mejorar la disponibilidad de una conexión eléctrica en el enlace de pasarela, y por tanto la capacidad óptica media del sistema 20 de telecomunicaciones por satélite. Es posible del mismo modo sobredimensionar ligeramente la capacidad de cada una de las estaciones 23 de pasarela óptica de capacidad baja, que ofrecerían cada uno capacidad ligeramente superior a $1/5 \times C_{MAX}$, con el fin de mejorar la capacidad óptica media.

De manera más general, se ha de observar que los modos de implementación y de realización considerados anteriormente han sido descritos a título de ejemplos no limitativos, y que por consiguiente se pueden contemplar otras variantes.

En especial, la invención descrita anteriormente se puede utilizar en cualquier banda de frecuencias radioeléctricas, se puede citar a título de ejemplos las bandas de frecuencias radioeléctricas utilizadas de forma clásica por los sistemas de telecomunicaciones por satélite, tales como: C, L, S, X, Ku, Ka, Q/V. La invención se puede utilizar del mismo modo en cualquier banda de frecuencias ópticas, y no está limitada a un tipo particular de órbita terrestre.

La descripción anterior ilustra claramente que por sus diferentes características y sus ventajas, la presente invención alcanza los objetivos que se había fijado. En particular, la presente invención permite beneficiarse, en el enlace de pasarela del sistema de telecomunicaciones por satélite, a la vez de la disponibilidad más alta de la conexión radioeléctrica y de la capacidad más alta de la conexión óptica, cuando esta esté disponible.

Además, la presente invención permite, según los modos de realización considerados:

- apoyarse en un sistema de telecomunicaciones por satélite existente para hacerlo evolucionar en capacidad a un menor coste, construyendo sobre las infraestructuras espaciales y terreno ya existentes y en funcionamiento; esta evolución se efectúa por tanto en un contexto de continuidad de funcionamiento para los terminales de usuario con una mejora posible de sus servicios y/o un aumento de la capacidad del sistema servida por la operadora;

- alcanzar puntualmente una capacidad muy importante (potencialmente superior a 1 terabyte/s) con un solo satélite con pasarela óptica con módulo 12 de pasarela híbrido, o con un solo satélite 22 con pasarela óptica y un solo satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica, por ejemplo en órbita GEO;

- limitar la infraestructura de tierra a añadir para la operadora (minimización de la complejidad de los módulos de pasarelas de los satélites, del número de estaciones de pasarelas), limitando el número de estaciones de pasarela óptica, gracias al enrutado de los datos de los terminales de usuario hacia las estaciones 24 de pasarelas radioeléctricas cuando la conexión óptica no está disponible;

- tener un despliegue progresivo de capacidad en función del uso y de los deseos de investigación por la operadora;

- tratar la disponibilidad a nivel de sistema y no a nivel de un solo enlace de pasarela, integrando el hecho de que el enlace de pasarela puede ser una conexión radioeléctrica y/o una conexión óptica; la variación de velocidad percibida por los terminales de usuario es interpretada como una tasa de contención variable a nivel de las estaciones de pasarela;

- ser compatible, en ciertos modos de realización, con los terminales de usuario existentes;

- prescindir de la necesidad de que una operadora presente un expediente reglamentario destinado a obtener una autorización administrativa ya que la utilización de bandas de frecuencias ópticas no requieren de la misma;

- en el caso de satélites en órbita LEO, la utilización de bandas de frecuencia ópticas que presentan la ventaja de no interferir con las conexiones radioeléctricas existentes de la constelación y del mismo modo no interferir con conexiones radioeléctricas de satélites en órbita GEO, lo que es ventajoso durante el paso de satélites en órbita LEO en el Ecuador.

REIVINDICACIONES

1. Sistema (20) de telecomunicaciones por satélite, que comprende al menos un terminal (21) de usuario terrestre, comprendiendo dicho sistema al menos un satélite en órbita terrestre, denominado satélite (22) con pasarela óptica, que comprende una carga (10) útil, comprendiendo dicha carga útil:

- un módulo de comunicación, denominado módulo (12) de pasarela, adaptado para intercambiar datos en forma de señales ópticas con al menos una estación (23) de pasarela óptica terrestre y para intercambiar datos en forma de señales radioeléctricas con al menos una estación (24) de pasarela radioeléctrica terrestre,

caracterizado porque:

- dicha carga (10) útil comprende un módulo de comunicación, denominado módulo (11) de usuario, adaptado para intercambiar datos con dicho terminal (21) de usuario terrestre,
- el sistema (20) de telecomunicaciones por satélite comprende además un módulo de control configurado para determinar si un trayecto óptico entre el satélite (22) con pasarela óptica y una estación (23) de pasarela óptica y para enrutar los datos del terminal (21) de usuario hacia una estación de pasarela radioeléctrica a través de al menos dicho módulo (12) de pasarela en caso de ausencia de trayecto óptico.

2. Sistema (20) según la reivindicación 1, en el cual el módulo (11) de usuario del satélite (22) con pasarela óptica está adaptado para intercambiar datos en forma de señales radioeléctricas con el terminal (21) de usuario.

3. Sistema (20) según la reivindicación 2, en el cual el módulo (11) de usuario de satélite (22) con pasarela óptica se adapta además para intercambiar datos en forma de señales ópticas con al menos un terminal de usuario óptico terrestre.

4. Sistema (20) según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual el módulo (11) de usuario del satélite (22) con pasarela óptica es un módulo de comunicación multihaz.

5. Sistema (20) según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual el satélite (22) con pasarela óptica está en órbita terrestre de baja altitud.

6. Sistema (20) según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende al menos dos estaciones (23) de pasarela óptica separada dispuesto de manera que permiten la existencia simultánea de trayectos ópticos entre el satélite con pasarela óptica y cada una de las dos estaciones de pasarela óptica.

7. Sistema (20) de telecomunicaciones por satélite, que comprende al menos un terminal (21) de usuario terrestre, y al menos un satélite en órbita terrestre, denominado satélite (22) con pasarela óptica, que comprende una carga (10) útil, caracterizado porque dicha carga útil comprende:

- un módulo de comunicación, denominado módulo (11) de usuario, adaptado para intercambiar datos con dicho terminal (21) de usuario terrestre,
- un módulo de comunicación, denominado módulo (12) de pasarela, adaptado para intercambiar datos en forma de señales ópticas con al menos una estación (23) de pasarela óptica terrestre,

y porque el sistema (20) de telecomunicaciones por satélite comprende además:

- al menos otro satélite, denominado satélite (25) con pasarela exclusivamente radioeléctrica, que comprende un módulo de comunicación, denominado módulo de usuario, adaptado para intercambiar datos con dicho terminal (21) de usuario, y un módulo de comunicación, denominado módulo de pasarela, adaptado para intercambiar datos únicamente en forma de señales radioeléctricas con al menos una estación (24) de pasarela radioeléctrica;
- un módulo de control configurado para determinar si un trayecto que existe entre el satélite (22) con pasarela óptica y una estación (23) de pasarela óptica y para enrutar los datos del terminal (21) de usuario hacia el satélite con pasarela exclusivamente radioeléctrica en caso de ausencia de trayecto óptico.

8. Sistema (20) según la reivindicación 7 que comprende una pluralidad de terminales (21) de usuario adaptados para intercambiar datos con el satélite (25) con pasarela exclusivamente radioeléctrica y con el satélite (22) con pasarela óptica, estando configurado el módulo de control para repartir los terminales de usuario entre el satélite (25) con pasarela exclusivamente radioeléctrica y el satélite (22) con pasarela óptica en caso de existencia de trayecto óptico entre el satélite (22) con pasarela óptica y una estación (23) de pasarela óptica.

9. Sistema (20) según la reivindicación 8, en el cual el módulo de control está configurado para repartir dichos terminales de usuario entre el satélite (25) con pasarela exclusivamente radioeléctrica y el satélite (22) con pasarela óptica en función de al menos un parámetro entre los parámetros siguientes:

- velocidad de datos requerida para cada terminal (21) de usuario,
- nivel de calidad de servicio requerido para cada terminal de usuario,
- tipo de aplicación utilizada por cada terminal de usuario,
- número de terminales de usuario a servir por haz.

10. Sistema (20) según una de las reivindicaciones 7 a 9, en el cual el módulo de control está configurado para controlar la velocidad de datos de cada terminal de usuario en función de la existencia o de la ausencia de un trayecto óptico entre el satélite (22) con pasarela óptica y la estación (23) de pasarela óptica.

11. Sistema (20) según una de las reivindicaciones 7 a 10, en el cual el satélite (22) con pasarela óptica está en órbita terrestre de baja altitud.

12. Sistema (20) según una de las reivindicaciones 7 a 11, que comprende al menos dos estaciones (23) de pasarelas ópticas distantes dispuestas de manera que permiten la existencia simultánea de proyectos ópticos entre el satélite con pasarela óptica y cada una de las dos estaciones de pasarela óptica.

13. Procedimiento de control de un sistema (20) de telecomunicaciones por satélite según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque dicho procedimiento comprende:

- una determinación de si existe un trayecto óptico entre el satélite (22) con pasarela óptica y una estación (23) de pasarela óptica terrestre,

- en caso de ausencia de trayecto óptico, un enrutado de los datos del terminal (21) de usuario a través de al menos dicho módulo (12) de pasarela hacia una estación (24) de pasarela radioeléctrica,

14. Procedimiento (50) de control de un sistema (20) de telecomunicaciones por satélite según una de las reivindicaciones 7 a 12, caracterizado porque varios terminales (21) de usuarios están adaptados para intercambiar datos con el satélite (25) con pasarela exclusivamente radioeléctrica y con el satélite (22) con pasarela óptica, dicho procedimiento comprende:

- una determinación (51) de si un trayecto óptico existe entre el satélite (22) con pasarela óptica y una estación (23) de pasarela óptica terrestre,
- en caso de ausencia de trayecto óptico: un enrutado (52) de datos de los terminales (21) de usuario hacia el satélite (25) con pasarela exclusivamente radioeléctrica,
- en caso de existencia de trayecto óptico: un enrutado (53) de los terminales de usuario entre el satélite (25) con pasarela exclusivamente radioeléctrica y el satélite (22) con pasarela óptica.

15. Procedimiento (50) según la reivindicación 14, en el cual en el reparto de los terminales (21) de usuario entre satélite (25) con pasarela exclusivamente radioeléctrica y el satélite (22) con pasarela óptica se determina en función de al menos un parámetro entre los parámetros siguientes:

- velocidad de datos requerida para cada terminal (21) de usuario,
- nivel de calidad de servicio requerido para cada terminal de usuario,
- tipo de aplicación utilizada por cada terminal de usuario,
- número de terminales de usuario a servir por haz.

16. Procedimiento (50) según una de las reivindicaciones 14 a 15, que comprende un control de una velocidad de datos de cada terminal (21) de usuario en función de la existencia o la ausencia de un trayecto óptico entre el satélite (22) con pasarela óptica y una estación (23) de pasarela óptica.

17. Producto de programa de ordenador caracterizado porque comprende un conjunto de instrucciones de código de programa que, cuando son ejecutadas por un procesador, configuran dicho procesador para implementar un procedimiento (50) de control según una de las reivindicaciones 13 a 16.

18. Procedimiento de aumento de capacidad de un sistema (20) de telecomunicaciones por satélite que comprende al menos un terminal (21) de usuario terrestre y al menos un satélite en órbita terrestre, denominado satélite (25) con pasarela exclusivamente radioeléctrica, que comprende un módulo de comunicación, denominado módulo de usuario, adaptado para intercambiar datos con dicho terminal (21) de usuario, y un modo de comunicación, denominado módulo de pasarela, adaptado para intercambiar datos únicamente en forma de señales radioeléctricas con al menos una estación (24) de pasarela radioeléctrica, caracterizado porque comprende:

- una colocación en órbita terrestre de al menos otro satélite, denominado satélite (22) con pasarela óptica, que comprende un módulo de comunicación, denominado módulo (11) de usuario, adaptado para intercambiar datos con dicho terminal (21) de usuario y un módulo de comunicación, denominado módulo (12) de pasarela, adaptado para intercambiar datos en forma de señales ópticas con al menos una estación (23) de pasarela óptica terrestre,
- después de la colocación del satélite (22) con pasarela óptica: un control de sistema (20) de telecomunicaciones por satélites de acuerdo con un procedimiento (50) de control según una de las reivindicaciones 14 a 16.

19. Procedimiento según la reivindicación 18, que comprende un despliegue progresivo de estaciones (23) de pasarela óptica.

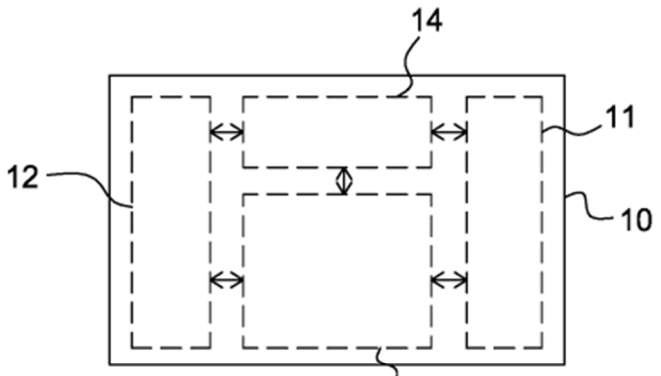


Fig.1

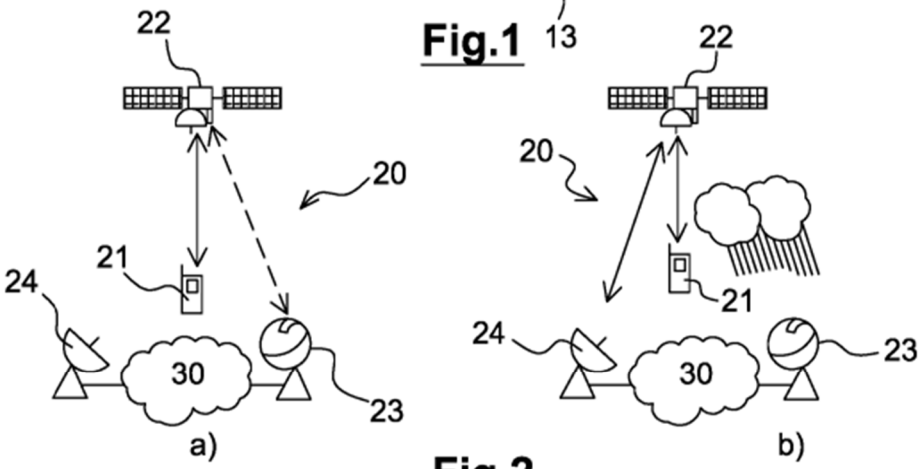


Fig.2

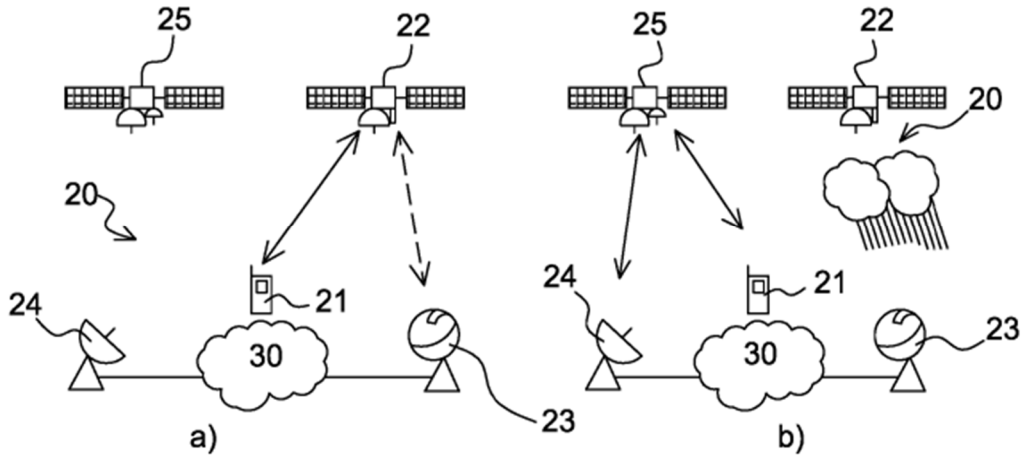


Fig.3

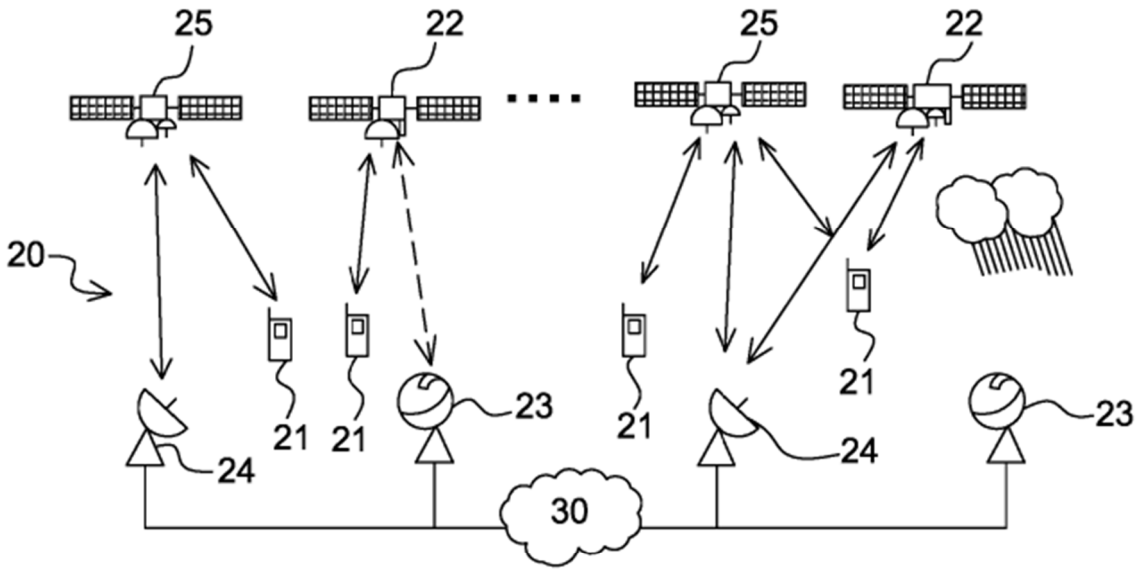


Fig.4

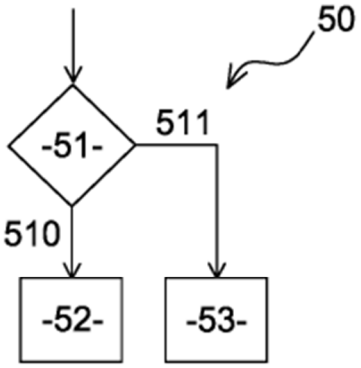


Fig.5