

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 692 654**

51 Int. Cl.:

B64G 3/00 (2006.01)

G01C 11/02 (2006.01)

G01V 8/00 (2006.01)

G02B 17/06 (2006.01)

G02B 23/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2011 PCT/EP2011/061570**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2012 WO12007362**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2011 E 11733827 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.09.2018 EP 2593368**

54 Título: **Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial para la vigilancia del espacio próximo**

30 Prioridad:

12.07.2010 FR 1055657

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

04.12.2018

73 Titular/es:

**ARIANEGROUP SAS (100.0%)
Tour Cristal 7-11 quai André Citroën
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**MARTIN, BERNARD;
LE BERRE, FRANÇOIS;
CAILLAU, DAMIEN y
LEVEQUE, LOUIS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 692 654 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

Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial para la vigilancia del espacio próximo

5 La presente invención concierne a un procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial para la vigilancia del espacio próximo a la tierra desde el suelo con el fin de detectar los objetos que se encuentran en este espacio, determinar sus trayectorias precisas y vigilar estas trayectorias.

Tal sistema permite seguir la evolución de las trayectorias de los objetos y catalogar estos objetos y sus trayectorias.

El espacio próximo a la tierra es definido como la parte del espacio situada hasta unos cientos de miles de km de la tierra.

10 La detección concierne por tanto a objetos que están esencialmente – pero no únicamente – en órbita alrededor de la tierra.

El contexto de la presente invención es el aumento que se constata del número de objetos en órbita alrededor de la tierra.

Estos objetos serán denominados residuos en lo que sigue del texto sabiendo que esta noción de residuos engloba los residuos propiamente dichos, satélites operativos o incluso meteoritos.

15 La invención está interesada de modo más particular en los residuos en órbita baja (LEO, de Low Earth Orbit según la terminología Anglosajona) de 200 km a 2000 km cuyo número induce un riesgo creciente de colisiones que pueden conducir a largo plazo a un incremento de la degradación de la situación, pero sobre todo a riesgos con respecto a medios espaciales operativos, sean estos militares, científicos o comerciales.

20 Con el fin de controlar estos riesgos, es primordial catalogar el conjunto de los residuos potencialmente peligrosos y asociarles parámetros orbitales válidos que permitan describir sus trayectorias.

Observados desde un punto fijo en la tierra, los objetos en órbita baja presentan la característica de pasar rápidamente sobre la bóveda celeste. Además, en cada instante varios objetos atraviesan la bóveda celeste en varios lugares.

Según sus parámetros orbitales, cada objeto atraviesa la bóveda celeste local a intervalos temporales más o menos regulares, que van desde unas decenas de minutos a varias horas.

25 Efectos diversos tales como marea, frenado atmosférico, presión de radiación, irregularidad del campo gravitatorio terrestre afectan a las órbitas.

Esto impide describir estas órbitas de modo preciso a largo plazo con una holgura invariante de parámetros orbitales.

30 Por otra parte, la distribución de tamaño de los residuos varía de un radio característico de unos milímetros, por ejemplo los residuos de propulsión, de pintura o los meteoritos a varias decenas de metros, especialmente los satélites o sistemas orbitales artificiales, estén estos operativos o no.

Vigilar la órbita baja necesita realizar las funciones siguientes:

- detectar los objetos en órbita baja, sin conocimiento a priori de su existencia, ni de su posición,
- definir su trayectoria o parámetros orbitales, con una precisión apropiada para la explotación considerada,
- actualizar en el transcurso del tiempo el conocimiento de sus parámetros orbitales.

35 Es además necesario readquirir los mismos objetos y refrescar la medición de sus parámetros orbitales regularmente a fin de que su precisión permanezca apropiada en función de la explotación que deba ser efectuada, por ejemplo poner en práctica los procesos de identificación y de consolidación de riesgos de colisión.

40 Finalmente, el sistema debe ser capaz de afinar a demanda la precisión del conocimiento de los parámetros orbitales de un objeto dado, de modo que se pueda predecir de modo preciso su posición en un futuro próximo, típicamente unos días, con miras por ejemplo a consolidar un riesgo de colisión y a planificar eventuales maniobras de evasión.

Los tres funciones primeras están tradicionalmente reagrupadas en el tema de la vigilancia espacial (Survey en inglés), objeto principal de la presente invención, mientras que la cuarta se refiere al tema del seguimiento espacial (Trackin en inglés).

Realizar estas funciones de vigilancia necesita disponer:

- 45
- de un amplio campo de visión,
 - de una sensibilidad que permita detectar los objetos de interés,

- de una precisión de medición de la evolución de los objetos que atraviesan este campo de visión suficiente para estimar sus parámetros orbitales con el nivel de eficiencia requerido.

Los parámetros orbitales se estiman sobre la base de una serie temporal de mediciones de los vectores posición/velocidades de los objetos adquiridos durante su tránsito en el campo de visión.

5 La patente US 7 319 556 trata de un telescopio de gran angular adaptado a un sistema que realiza estas funciones.

Las principales técnicas actualmente consideradas y puestas en práctica para realizar una vigilancia de la órbita baja se basan en radares con base en el suelo:

El documento Nicholas L. Johnson: "U.S. Space Surveillance", XP002617664, describe la utilización de una pluralidad de radares y de dispositivos ópticos alrededor del mundo para detectar, catalogar e identificar residuos espaciales.

10 - Radar de la « Space Fence » del DoD (Ministerio de la Defensa) americano,

- Radar GRAVES puesto en práctica por el Ministerio de Defensa francés (radar de barrido de fase « phased array », biestático, de emisión continua).

- Radar tipo alerta antimisil (radar de barrido de fase « phased array », monoestático, de emisión pulsada).

15 Las soluciones radar, aunque ofrecen numerosas ventajas (amplio campo de visión que permite interceptar zonas de 180° en acimut en unas decenas de grados en elevación, acceso simplificado a las informaciones de velocidad gracias a las mediciones Doppler, insensibilidad a la meteorología y al ciclo día/noche, etc...), padecen de numerosos inconvenientes, que residen principalmente en su coste de desarrollo, de operación y de mantenimiento, y en su balance ecológico:

- las frecuencias utilizadas son elevadas (banda L),

20 - hay generación importante de pérdidas magnéticas,

- se tiene necesidad de potencias de unas decenas de megavatios, con un bajo rendimiento.

- la duración media antes de defecto (MTBF) de los radares, como cualquier material eléctrico de gran potencia es pequeña y ocasiona costes de mantenimiento elevados.

25 - la población orbital accesible por cada radar está condicionada por su localización en el globo, lo que conduce a situarles en zona ecuatorial, la cual ofrece condiciones severas de temperatura y de humedad para los componentes eléctricos y electrónicos que aumentan otro tanto el coste de operación y de mantenimiento.

30 Como alternativa, se han considerado ya los sistemas ópticos para la vigilancia espacial. Puramente pasivos, su principio reside en la detección de la luz solar reflejada por los objetos naturales o artificiales en órbita alrededor de la Tierra o más allá, asteroides y planetoides por ejemplo. Tales sistemas dan acceso a series temporales de medición de las posiciones angulares de los objetos por ejemplo en acimut y en elevación.

Para medir estas posiciones se aplican diversos métodos, basándose el más interesante en la medición en cada instante de la posición de los objetos detectados con respecto a las estrellas presentes en el campo de visión, estrellas cuya posición se conoce con una precisión muy grande.

35 La ventaja mayor de los sistemas ópticos sobre los sistemas radar reside en su bajo coste tanto en desarrollo, en producción, en operación y en mantenimiento, en su fiabilidad y en su simplicidad de puesta en práctica.

Y, puramente pasivos, necesitan poca infraestructura, energía, edificios, medios de transporte.

40 Los sistemas ópticos son utilizados normalmente para vigilar la GEO (órbita geoestacionaria) o más recientemente para la MEO (órbita intermedia entre LEO y GEO), porque los objetos en estas órbitas tienen la particularidad de pasar muy poco sobre la bóveda celeste: lo que facilita los largos tiempos de observación necesarios para la detección de objetos pequeños y/o de muy baja intensidad luminosa.

El GEODSS de la US Air Force es un ejemplo operativo de tales sistemas. El mismo está compuesto principalmente de telescopios métricos que presentan un campo de visión pequeño del orden del grado.

45 Para estas aplicaciones GEO y MEO, se pueden utilizar tiempos de integración (de exposición) largos, de 1 segundo a unos segundos, los cuales permiten aumentar la relación entre señal y ruido de modo que se detecten pequeños objetos de unas decenas de cm de diámetro característico.

Un ejemplo de realización multisensor está descrito en el documento US 2009/0147238.

Se han iniciado igualmente algunos estudios para definir soluciones capaces de vigilar la LEO.

Por ejemplo, el sistema experimental francés SPOC (Sistema Probatorio para la Observación del Cielo) integraba 4 lentes pequeñas de apertura del orden de 10 cm orientadas a los 4 puntos cardinales con una elevación de unas decenas de grados y ofreciendo cada una un campo de visión del orden de 10° .

5 Otros conceptos proponen sistemas catadióptricos sensibles de apertura métrica o más denominados de gran angular, del orden de 5° , dedicados a la vigilancia de la LEO como por ejemplo el sistema objeto de la patente US 7 319 556 antes citado.

Las soluciones antes citadas y propuestas actualmente no permiten sin embargo resolver las dificultades y limitaciones fundamentales relacionadas con la vigilancia de la LEO, a saber

10 - necesidad de una detección rápida (unos días) de cualquier nuevo objeto, a fin especialmente de identificar cualquier fenómeno de fragmentación o de explosión en órbita,

- necesidad de una readquisición frecuente (cada algunos días) de cada objeto, y reactualizar sus parámetros orbitales a fin de mantener una precisión de parámetros orbitales explotable, especialmente con respecto a la evaluación operativa de riesgos de colisión,

15 - detectabilidad de los objetos interdependiente de la situación geográfica de los sistemas ópticos y órbitas (en particular inclinación) de los objetos, relacionada con sus condiciones de iluminación,

- observaciones ópticas relacionadas con las condiciones meteorológicas locales (nebulosidades).

Debido a estas limitaciones, la vigilancia de la LEO necesita igualmente sistemas ópticos específicos que tengan una sensibilidad muy buena, con una excelente resolución y un gran campo de visión.

20 En efecto, los telescopios existentes tienen habitualmente una gran sensibilidad, con grandes aperturas y/o largos tiempos de integración, y una alta resolución, lo que va en detrimento de un campo de visión amplio, puesto que están destinados a aplicaciones clásicas de astronomía o de vigilancia de los planetas menores o asteroides: los mismos pues no son compatibles con la vigilancia de la LEO.

25 Por otra parte, el principio de vigilancia no prevé el seguimiento de los objetos. Debido a esto, durante la observación de la LEO, las duraciones de integración largas no mejoran la detectabilidad de un objeto, evaluada con respecto a la relación entre señal y ruido en cada pixel iluminado, porque en caso de integración clásica (la segunda) el objeto atraviesa varios pixeles del sensor (sensor CCD) en la duración de integración penalizando no solamente la determinación de la posición y su fechado, e integrando ruido y por tanto degradando las relaciones entre señal y ruido una vez atravesado el pixel.

30 Desde otro punto de vista, las soluciones conocidas no están adaptadas a las condiciones de detección en LEO, y por tanto no permiten asegurar la observación del conjunto de objetos observables con un tiempo de revisita apropiado.

Finalmente, los telescopios de gran angular siguen estando limitados como se conoce especialmente por el documento US 2009/009897 o el documento EP 1 772 761.

Otros ejemplos de telescopios figuran en los documentos US 7 045 774, US 2007/0188610 y US 2009/0015914.

35 A la vista de esta situación, la invención consiste en realizar un sistema suelo de vigilancia de la LEO que pone en práctica medios ópticos repartidos en la superficie de la Tierra a fin de detectar estos objetos presentes en órbita baja < 2000 km sin conocerles a priori y facilitar una primera estimación de sus parámetros orbitales.

La invención tiene así por objeto definir un sistema suelo de vigilancia de la LEO basado en soluciones ópticas puramente pasivas que facilitan, con un coste competitivo con respecto a las soluciones radar (factor 2 a 10), eficiencias comparables, es decir:

40 - una cobertura equivalente de la población de objetos en LEO, en términos de completitud, de duración máxima de detección de un nuevo objeto y de duración máxima de revisita del sistema para cada objeto catalogado, o sea típicamente una duración de revisita que permita detectar el 95% de los objetos de más de 10 cm.

- una precisión equivalente en términos de órbita restituida y mantenida, del orden de 100 m y 2 m/s.

45 La invención concierne así al seguimiento LEO por tecnología óptica y a soluciones de puesta en práctica de este seguimiento.

50 Para hacer esto, la invención prevé un procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial en zonas LEO de la órbita terrestre que comprende una etapa de disposición y de puesta en red de estaciones de sistemas ópticos de vigilancia sobre la superficie del globo según una red apropiada para ofrecer un ciclo eficaz diario del sistema de 24 h y de una duración de revisita elegida de la zona LEO observada, o se define para la citada red un posicionamiento en latitud de los sistemas ópticos según latitudes privilegiadas a partir de los tipos de órbita que haya que vigilar, y se prevén:

- sitios de latitudes elevadas > 50° Norte o Sur,
- sitios de las latitudes medias entre 30° y 50° Norte o Sur,
- sitios de latitudes inferiores a 30° próximos a los trópicos y subtropicales,
- una selección de sitios que ofrezcan un espaciamiento en longitud alrededor de 20° o menos.

5 De acuerdo con la invención,

Se realiza la disposición y la puesta en red de los sistemas ópticos de vigilancia sobre la superficie del Globo según las etapas siguientes:

- se define un posicionamiento en longitud de los sistemas ópticos a partir de un cálculo por medio de un ordenador de las duraciones de revisita de cada punto del globo,

10 - se optimiza la disposición de los sistemas ópticos según un análisis por ordenador de las condiciones estadísticas meteorológicas a nivel de las intersecciones de las citadas latitudes y longitudes para obtener una duración máxima de revisita del sistema a lo sumo igual a una semana,

- se disponen los sistemas ópticos en los nudos de la red constituida según los citados posicionamientos en latitud y longitud según un paso apropiado para respetar la citada duración máxima de revisita.

15 Preferiblemente, la duración máxima de revisita es a lo sumo igual a una semana y preferentemente de 2 días al 90%.

El procedimiento comprende ventajosamente una etapa de definición de condiciones de observación específicas para cada sistema óptico de vigilancia en función de su situación geográfica, apropiadas para asegurar a cada sistema óptico una iluminación óptima de los objetos que haya que detectar.

20 Preferiblemente, se utilizan sistemas ópticos de gran angular superior o igual a 5° x 5°, preferentemente superior o igual a 10° x 10°.

Ventajosamente, el procedimiento es tal que se procede a una optimización de las condiciones de exploración de las zonas del cielo por los sistemas ópticos de vigilancia por un gobierno de los citados sistemas apropiado para hacerles recorrer las zonas del cielo de 4 a 6 veces más deprisa que la velocidad de tránsito de los objetos que haya que detectar.

25 De acuerdo con un modo de realización ventajoso, se configuran los sistemas ópticos de vigilancia implantados en los nudos de la red para explorar zonas del cielo de unos 10° a 40° en acimut por encima de 35° y de elevación de 10° a 60° alrededor de acimuts que varían según la hora, la estación y la latitud, correspondientes a condiciones de iluminación fijas.

30 Preferiblemente se configuran los sistemas ópticos de vigilancia implantados en los nudos de la red para explorar zonas de cielo de 20° a 40° en acimut por encima de 35° y de elevación de 20° a 60° alrededor de acimuts que varían según la hora, la estación y la latitud.

Ventajosamente, se configuran los sistemas ópticos de vigilancia implantados en los nudos de la red de modo que se recorran las zonas de cielo exploradas con una frecuencia superior a 4 veces la duración mínima de tránsito de los objetos de la población considerada en las citadas zonas de cielo exploradas.

35 De acuerdo con un modo de realización preferente, se disponen los sistemas ópticos de vigilancia a nivel de estaciones implantadas en:

sitios de Europa continental, sur de España, en Asia Central, sitios de observatorios astronómico existentes, en Japón y en el Sur de Canadá de modo que se focalicen la mayor parte de los objetos de inclinación superior a 40° al tiempo que se detectan los objetos en órbita polar no SSO;

40 sitios en el Pacífico, Taití, Islas Marquesas, en Chile, sitios de la ESO, en África del Este, Malindi, en Diego García en el Océano Índico y en la costa norte Australiana de modo que se cubran las órbitas ecuatoriales,

sitios situados en latitudes superiores a 50° norte o sur, Alaska, estación de seguimiento de Póker-Flat, norte de Canadá, Islandia, Kiruna, islas Kerguelen y Sur de Argentina de modo que se detecten de modo más particular los objetos en órbitas polares y SSO.

45 De acuerdo con una variante de la invención, se equipa a cada estación con un sistema óptico de vigilancia y con un telescopio de seguimiento.

El procedimiento de la invención es ventajosamente tal que se definen para cada sistema óptico condiciones de observación específicas en acimut y elevación en función de su situación geográfica de modo que se asegure a cada sistema óptico una iluminación óptima de los objetos que haya que detectar.

5 Ventajosamente, de acuerdo con el procedimiento se optimiza la red de tal modo que sus nudos se encuentran en tierras emergidas.

Preferiblemente, se optimiza la red de tal modo que sus nudos coincidan con lugares que comprendan una infraestructura preexistente y/o estaciones de observación espacial y fuentes de energía.

Otras características y ventajas se pondrán de manifiesto en la lectura de la descripción que sigue de un ejemplo de realización no limitativo de la invención refiriéndose a los dibujos, que representan:

10 en la figura 1: un ejemplo de implantación de sistemas ópticos en función de la latitud,

en la figura 2: un esquema de principio de un telescopio adaptado a la invención;

en la figura 3: una representación esquemática de un sistema óptico de la invención y la zona de cielo barrida por este sistema.

15 En el marco de la invención, para realizar la red se define, utilizando un medio informático de simulación de las eficiencias y de las posiciones de sistemas ópticos, una configuración del sistema consistente en una puesta en red apropiada de sistemas ópticos en el suelo, según la citada red o una aproximación a la citada red en la superficie del Globo o superficie del planeta, para ofrecer un ciclo eficaz diario del sistema próximo a 24 h, es decir una cobertura completa del entorno del planeta.

20 Se define por cálculo de ángulo de fase (el ángulo de fase en astronomía es el ángulo entre el sol, el objeto observado y el observador, o de modo más general el ángulo entre el rayo luminoso incidente y el rayo reflejado) y de posición del sol y por simulación, condiciones (zona que haya que cubrir, momento del día, etc...) de observación específicas para cada sistema óptico en función de su situación geográfica, para asegurar a cada sistema óptico una iluminación óptima de los objetos que haya que detectar.

25 Para los sistemas ópticos se utilizan detectores pasivos de gran angular, superior a 5° o preferentemente superior a 10° y apropiados para detectar los objetos de la zona explorados.

Por ejemplo, se eligen telescopios de espejo de 70 cm aptos para detectar objetos de 10 cm a una distancia de 1000 km.

30 A continuación se optimizan las condiciones de exploración de las zonas del cielo por los sistemas ópticos, de modo que se recorra la zona de observación de 4 a 6 veces más deprisa que la velocidad de tránsito de los objetos que haya que detectar.

En ejemplo de realización, la red es realizada por simulación según uno u otro de los métodos que siguen o según una combinación de estos métodos.

Las etapas comunes a los dos métodos son

35 - una preselección de un conjunto de sitios candidatos, seleccionados entre sitios accesibles (presencia de infraestructura de tipo acceso, electricidad, comunicación, y calidad de cielo favorable para observación óptica) y sobre la base de un análisis de la problemática de visibilidad;

objetos en órbita muy inclinada ($[-80^\circ, 120^\circ]$) mejor visibles desde las latitudes elevadas ($>50^\circ$ N o S),

objetos en órbita de inclinación media (alrededor de 50°) mejor visibles desde latitudes medias ($\sim 45^\circ$),

objetos en órbita de pequeña inclinación ($< \sim 30^\circ$) mejor visibles desde latitudes próximas a los trópicos o subtropicales,

40 - una selección de los sitios que ofrezcan lo más posible un espaciamiento en longitud alrededor de 20° o menos por cálculo del desplazamiento medio en longitud de la traza en el suelo de las órbitas bajas en dos órbitas sucesivas (aproximadamente 20° , que corresponde a la velocidad de rotación de la Tierra de 15° por hora – y el período de la órbita a 500 km, aproximadamente 90 min).

45 - una utilización de un simulador informático como mínimo capaz de simular la estrategia de observación de las estaciones, las condiciones de iluminación que haya que satisfacer para que los objetos orbitales sean detectables, y la evolución en el transcurso del tiempo de la población orbital de referencia alrededor de la Tierra (por ejemplo, de manera no exclusiva, el catálogo TLE del NORAD) teniendo en cuenta al menos la interacción Tierra/Sol. Se define al menos para cada objeto de la población simulada la lista de los episodios de visibilidad en el transcurso del tiempo, es decir las condiciones en las que el objeto es visible desde un sitio, según la estrategia de observación simulada, en
50 forma de: fecha de inicio de visibilidad, duración de visibilidad, identificación del sitio de visibilidad, evaluando en el

conjunto de los episodios de visibilidad si los mismos verifican las condiciones de detección (duración de visibilidad mínima necesaria para efectuar una primera determinación de trayectoria, función de la órbita del objeto).

Partiendo de estas etapas comunes, el método nº 1 comprende:

- 5 - una simulación de los episodios de visibilidad en el conjunto de la población de referencia, para el conjunto de los sitios predefinidos, en una duración de simulación que permita eliminar los efectos día/noche y estacionarios (típicamente de varios días a varias semanas en verano y en invierno),

- una búsqueda sobre la base de los resultados del subconjunto mínimo de estaciones que garantice que la porción de objetos considerada (por ejemplo el 98% de la población de referencia) podrá ser catalogada en una duración mínima objetivo (por ejemplo 1 mes).

- 10 Para que puedan ser catalogados, los objetos deben ser vistos al menos una vez satisfaciendo las condiciones de detección en el plazo impartido y la búsqueda de mínimo podrá hacerse por utilización de un algoritmo de búsqueda de mínimo clásico.

- 15 El método nº 2 comprende una simulación de los episodios de visibilidad sobre el conjunto de la población de referencia para un subconjunto preferido de sitios seleccionado (por ejemplo según criterios de facilidad de acceso, de calidades particulares del sitio...) y una evaluación de la tasa de cobertura, es decir el porcentaje de la población de referencia visible al menos una vez satisfaciendo las condiciones de detección, así como la duración de convergencia, es decir la duración de tiempo simulado necesario para alcanzar esta tasa de cobertura.

- 20 Esta simulación es completada por iteración, modificando el subconjunto de sitios preferidos por adición o supresión de sitios, hasta obtener las eficiencias previstas, por ejemplo una tasa de cobertura del 98% de la población de referencia, y una duración de convergencia, por ejemplo 1 mes.

Para la detección de los objetos, la invención prevé una medición de las series temporales de posición de los objetos que atraviesan las zonas exploradas por integración corta en campo fijo, con restitución con respecto a las estrellas en el campo de visión con un mínimo de 3 puntos de medición para cada objeto que atraviesa la zona explorada.

La utilización de tiempo de integración corto es uno de los elementos innovadores de la invención.

- 25 En modo vigilancia, no se pueden seguir los objetos, puesto que no se conoce su presencia a priori. Se efectúan por tanto tomas de vistas en una posición de visión fija durante el tiempo de exposición (o duración de integración).

Entonces la sensibilidad (capacidad de ver una estrella o un objeto orbital con respecto al ruido de fondo) se define por la relación entre señal y ruido en cada pixel, definida por la fórmula simplificada:

$$SNR \cong \frac{\text{Señal}}{\sqrt{\sum \text{Ruidos}^2}}$$

- 30 Con:

Señal = FlujoFotones x TiempoExposición

$$\sum \text{Ruidos}^2 = \text{RuidoFotón}^2 + \text{RuidoFondoCielo}^2 + \sum \text{RuidosElectrónicos}^2$$

$$\text{RuidoFotón} = \sqrt{\text{Señal}}$$

$$\text{RuidoFondoCielo} = \text{FlujoFotónCielo} \times \text{TiempoExposición}.$$

- 35 La observación de los astros lejanos se hace en general compensando la rotación terrestre a fin de conservar un cielo fijo en el campo de visión.

El astro de interés ilumina entonces un conjunto de pixeles fijos. En estas condiciones, a fin de aumentar la SNR (relación entre señal y ruido), basta aumentar el tiempo de exposición a fin de que, para un objeto que tenga un brillo dado, la señal domine sobre los otros ruidos, especialmente el ruido de fondo de cielo.

- 40 Para la vigilancia óptica de la órbita GEO, se está en la misma situación: los objetos son aquí casi fijos con respecto al eje de visión en el suelo, y aquí igualmente, se fija el eje de visión con respecto al sistema de referencia local y el aumento de la sensibilidad se obtiene aumentando el tiempo de exposición.

Esto explica que tradicionalmente los tiempos que se utilizan son los tiempos de exposición largos (o tiempos de integración), del orden de varios segundos a varios minutos.

- 45 En el marco de la vigilancia de la órbita baja, el objeto no es fijo con respecto al eje de visión. Su imagen pasa por tanto sobre el CCD. Cada pixel del CCD solo es iluminado por la señal durante la duración paso a través de este pixel

de la imagen del objeto. Por el contrario, cada pixel del CCD es iluminado por el ruido de fondo en la totalidad del tiempo de exposición.

5 Así, de acuerdo con la invención, a fin de optimizar la SNR, se fija un tiempo de exposición próximo a la duración de tránsito del objeto en el campo del pixel. Ahora bien, en LEO, según el eje de visión (velocidad angular aparente más baja a baja elevación que en el cenit), la configuración del instrumento (campo de visión, tamaño de cada pixel), y la órbita del objeto (velocidad angular más pequeña a alta altitud) este tiempo de tránsito es del orden de unos milisegundos a unos cientos de milisegundos.

Se eligen por tanto tiempos de exposición (o de integración) del orden de unos milisegundos a unos cientos de milisegundos que permiten obtener el máximo nivel posible de señal entre ruido.

10 El tiempo de exposición ideal es seleccionado por cálculo del balance del enlace fotométrico teniendo en cuenta las órbitas favorecidas, diferente configuración de observación (elevación, ángulo de fase, tiempo de exposición), la calidad del fondo de cielo, el efecto de la atmósfera (atenuación de la señal y dilución por turbulencia), la configuración instrumental (telescopio y plano focal) y las características de los objetos considerados (tamaño mínimo y albedo mínimo).

15 Esto es como realizar un análisis de sensibilidad en los diferentes parámetros que permiten definir la configuración de observación y la configuración instrumental mejor adaptada.

Como el brillo de un objeto está relacionado directamente con su tamaño y su capacidad de reflejar la luz del sol (albedo) la gran sensibilidad del sistema permite ver objetos de pequeños tamaños.

20 Las imágenes tomadas durante el tránsito de los objetos son tratadas teniendo en cuenta el posicionamiento del sistema óptico por medio de un sistema informático de tratamiento de las imágenes para extraer del mismo las posiciones fechadas de los objetos que atraviesan el campo.

25 Como complemento, añadiendo a cada sistema óptico de vigilancia un sistema de seguimiento específico, realizado por ejemplo con ayuda de un telescopio de campo clásico motorizado y gobernado por su sistema informático de seguimiento conectado al sistema informático del sistema óptico de vigilancia, se adquieren, sobre la base de la designación realizada por el sistema de vigilancia, mediciones de posición más numerosas y precisas que permiten obtener la precisión requerida sobre la determinación de los parámetros orbitales de los objetos.

Esto permite transformar el sistema de vigilancia en sistema de seguimiento, es decir un sistema apto para definir y seguir una trayectoria precisa de objetos previamente detectados.

30 Se realiza la puesta en red de los sistemas de vigilancia en el suelo sobre la superficie del Globo o del planeta respetando las reglas siguientes:

- se definen latitudes privilegiadas para los sistemas ópticos a partir de los tipos de órbita y especialmente se prevén:
 - sistemas ópticos próximos a la banda intertropical adaptados para vigilar las órbitas ecuatoriales inferiores aproximadamente a 30°,

35

- sistemas ópticos dedicados a las órbitas muy inclinadas y polares superiores aproximadamente al 60% en latitudes alrededor de 50° y más;

- sistemas ópticos en latitudes alrededor de 40° para acceder a las órbitas de inclinación intermedia;

- se define la red en longitud a partir del estudio de las duraciones de revisita de cada punto del globo,

- se tienen en cuenta las condiciones estadísticas meteorológicas para obtener una duración máxima de revisita del sistema al menos igual a 2 días al 95%.

40 Las condiciones de puesta en práctica local de la observación son tales que cada sistema óptico implantado en cada nudo de la red solo explora zonas de cielo de unos 10° a 40°, preferentemente 20° a 40°, en acimut por encima de 35° y de elevación de 10° a 60°, preferentemente 20° a 60°, alrededor de acimuts que varían según la hora, la estación y la latitud lo que corresponde a una banda de ascensión recta fija, en función del rendimiento buscado, es decir la población de objetos LEO que haya que cubrir, la tasa de cobertura objetivo y la precisión del catálogo que haya que mantener.

45 Para hacer esto, los sistemas ópticos de vigilancia de base comprenden un dispositivo de captación de imágenes motorizado y gobernado por un sistema informatizado de recuento y de adquisición de imágenes.

50 Los sistemas ópticos de vigilancia de base de la red y sus medios de mando están concebidos de modo que recorran la zona que haya que observar con una frecuencia superior a 4 veces la duración mínima de tránsito de los objetos de la población considerada en la zona de cielo explorada.

En el marco de la invención, puede considerarse además una versión en la cual los sistemas ópticos comprendan un telescopio de campo de $5^\circ \times 5^\circ$ al que se le hace barrer una zona de espacio.

Para determinar las órbitas de los objetos, se realiza una primera detección de los objetos en LEO por una medición de las series temporales de posición de los objetos que atraviesan las zonas exploradas.

5 Para hacer esto, se procede por integración corta sobre campo fijo como se trató anteriormente con un mínimo de 3 puntos de medición para cada objeto que atraviesa la zona explorada, y se efectúa una determinación de las posiciones del objeto con respecto a las estrellas en el campo de visión, siendo referidas estas estrellas a nivel del sistema informatizado de recuento local o un sistema informático adicional eventualmente desplazado al centro de mando del conjunto de los sistemas de seguimiento de la red y que comprenda una cartografía del cielo.

10 A continuación se determinan eventualmente las órbitas de modo preciso por la utilización de un sistema de seguimiento específico tal como el descrito anteriormente que utiliza como datos de entrada las designaciones del sistema óptico de base descrito anteriormente.

15 En este marco, se utiliza un algoritmo inspirado en « sensores estelares » (startracker en inglés), que permite determinar en cada imagen tomada por el telescopio la posición del objeto orbital esté en ascensión recta y en declinación, o en acimut y elevación, por medición relativa de su posición en la imagen con respecto a la posición de las estrellas, conocida de manera absoluta de modo muy preciso en el sistema que integra un catálogo (tal como el catálogo Hiparcos por ejemplo).

El principio general del tratamiento de la imagen realizado por un software de tratamiento de imagen es el siguiente:

20 - localización de las estrellas en cada imagen por análisis de motivos conocidos, a partir del conocimiento grosero del eje de visión,

- localización de los elementos brillantes que no son estrellas,

- seguimiento de los elementos brillantes que no son estrellas en dos imágenes sucesivas a fin de discriminar los objetos orbitales del ruido en la imagen,

25 - determinación en cada imagen de las coordenadas de los objetos orbitales identificados por medición de su posición (pixel central) con respecto a la posición de las estrellas.

Para esta determinación, se utilizan 5 estrellas conocidas aunque teóricamente 3 estrellas son suficientes; pero se mejora así la precisión y la fiabilidad de los cálculos.

Finalmente, la posición medida es fechada con la fecha de la toma de vista.

30 Para el posicionamiento de los sistemas ópticos, cabe definir la red y los nudos en que se encontrarán los sistemas ópticos.

El análisis de las condiciones de visibilidad de los objetos en LEO desde el suelo define las latitudes privilegiadas según el tipo de órbita.

35 Éstas son típicamente para una banda en ascensión recta, que evoluciona 1° por día para compensar la revolución de la Tierra alrededor del sol, las que están centradas sobre una ascensión recta que facilita el ángulo de fase de iluminación más pequeño posible, dependiendo de la altitud de los objetos.

En el marco del posicionamiento en latitud de los sistemas ópticos se tiene en cuenta especialmente el hecho de que:

- las órbitas ecuatoriales inferiores aproximadamente a 30° de inclinación solo son accesibles por sistemas ópticos próximos a la banda intertropical;

40 - las órbitas muy inclinadas y polares superiores al 60% aproximadamente solo son accesibles desde latitudes alrededor de 60° y más;

- las órbitas de inclinación intermedia son accesibles desde latitudes alrededor de 45° .

En lo que concierne a la visibilidad de los objetos en longitud, la invención consiste también en vigilar las zonas del cielo en las que se tendrá la mayor probabilidad de detectar objetos.

Estas zonas satisfacen entonces los criterios siguientes:

45 - la elevación es superior a 30° , a fin de limitar la absorción por la atmósfera de los rayos luminosos

- la vigilancia se hace de noche para el telescopio, pero para objetos iluminados por el sol, de modo que se optimice la relación entre señal y ruido

- el ángulo de fase de los objetos que haya que detectar es elegido inferior a 45° .

Estos criterios permiten definir una dirección media alrededor de la cual los objetos en una familia de órbitas tienen un ángulo de fase inferior a 45° . El ángulo de fase depende de la posición del sol con respecto a la Tierra, del objeto en el cielo y de la hora local, esta dirección evoluciona con la rotación de la Tierra, por tanto con la hora local.

- 5 Hay que observar igualmente que siendo la velocidad angular aparente de los satélites en LEO más pequeña a baja elevación que en el cenit, a tiempo de exposición dado, la sensibilidad es más pequeña en el cenit (excluyendo el efecto de la atmósfera).

La figura 1 ilustra las zonas de observación que se definen así; la misma representa un corte de la tierra en latitud (según un paralelo) en la cual se han representado tres sitios 1, 2, 3 distantes en longitud y tres órbitas a, b, c.

- 10 Las zonas de visibilidad son en este caso con respecto al flujo solar, la zona 4 para el sitio 1 y la órbita a, la zona 5 para el sitio 1 y la órbita b, las zonas 6 y 7 para el sitio 3, estando estas zonas separadas por la zona de sombra de la tierra, recubriendo las zonas 6 y 7 las órbitas a, b, c, las zonas 8 y 9 para el sitio 2, permitiendo la zona 8 detectar los objetos en la órbita b, la zona 9 los objetos en la órbita a.

- 15 Se ve que para los sitios 1 y 2 las zonas de visibilidad están desplazadas con respecto al cenit local 10 y 11 mientras que para el sitio 3, el cenit local 12 está en la zona de visibilidad 7.

El análisis de las duraciones de revisita de cada punto del globo, teniendo en cuenta estas condiciones de visibilidad para el conjunto de la población LEO que haya que detectar, demuestra que una red en longitud facilita en cada instante una banda en longitud en la que se satisfacen las condiciones de visibilidad.

- 20 Estos dos análisis en longitud y en latitud permiten definir una red del globo que facilite un ciclo eficaz diario del sistema próximo a 24 h, para cada tipo de órbita, que ofrezca la cobertura y la duración de revisita requerida.

La consideración de las estadísticas meteorológicas estacionales permite definir una tasa de redundancia necesaria: el análisis de las configuraciones meteorológicas hace aparecer una fuerte descorrelación de las condiciones de cobertura nubosa local para puntos separados unos cientos de km sobre el globo.

- 25 Así, la adición a la red de nudos en longitud facilita una tasa de redundancia sobre cobertura que permite abstraerse globalmente de las condiciones meteorológicas locales.

Esto conduce al caso concreto que sigue de colocación de una red que comprende 15 sitios repartidos en diferentes latitudes.

- 30 Sitios en Europa continental (Sur de España), en Asia Central (en los sitios de los observatorios astronómicos existentes), en Japón y en Canadá (parte sur) permiten focalizar la mayor parte de los objetos de inclinación superior a 45° , al tiempo que detectan los objetos en órbita polar no SSO.

Sitios en el pacífico (Taití, Islas Marquesas), en Chile (sitios de la ESO), en África del Este (Malindi), en Diego García en el Océano Índico y en la costa norte Australiana permiten cubrir las órbitas ecuatoriales, así como el conjunto de las otras órbitas (aunque ofreciendo para éstas períodos de observación más cortos que en las latitudes más elevadas).

- 35 Finalmente, sitios situados en latitudes superiores a 60° (norte o sur) permiten detectar de modo más particular los objetos en órbitas polares y SSO: Alaska (estación de seguimiento de Poker-Flat, que contribuye a la red de seguimiento de la ESA), norte de Canadá, Islandia, Kiruna, islas Kerguelen y Sur de Argentina.

La elección de sitios en el hemisferio norte y el hemisferio sur permite eliminar en parte el efecto de estación que limita las posibilidades de observaciones.

- 40 En el marco de la realización de un sistema de vigilancia y de seguimiento, cada estación está equipada con un sistema óptico de vigilancia y con un telescopio de seguimiento.

- 45 A nivel de las estaciones de vigilancia, para cada sistema óptico, se exploran zonas predefinidas del cielo local en función de la hora de la noche y del día, correspondientes a una banda de ascensión recta fija que evoluciona 1° por día que facilita las condiciones de iluminación óptimas (ángulo de fase tipo $<45^\circ$) según la latitud. En efecto, para los objetos en LEO los períodos de visibilidad se restringen a unas horas según el crepúsculo y que preceden al alba (variando la duración según la estación, la latitud, la inclinación y la altitud de los objetos) correspondientes a bandas de ascensión recta que facilitan las condiciones de observación óptimas (ángulo de fase de iluminación minimizado), sin que el objeto esté a la sombra de la Tierra.

- 50 Se trata de bandas de 10° a 60° de ancho en acimut, acimut media, variando el ancho de banda según la latitud, la fecha, la hora y la altitud de la órbita, que estén situadas al este y al oeste.

Además, la mayor parte de los objetos que satisfacen las condiciones de visibilidad atraviesan esta banda acimutal en una banda de 10° a 60° de altura en elevación, por encima de 35° de elevación.

Una vista esquemática de las zonas cubiertas en función de la longitud viene dada en la figura 1.

5 Teniendo en cuenta una elevación mínima >30° para limitar la absorción de la atmósfera y una elevación máxima para limitar la velocidad de paso aparente, se define una zona del cielo que haya que vigilar preferentemente, así como su evolución en función de la hora del día y de las estaciones y para diferentes latitudes.

10 Como a cada altitud de órbita corresponde una zona de visibilidad más o menos ancha a una hora dada, y cada altitud de órbita comprende poblaciones dispares (en inclinación, nudo ascendente, etc.), es difícil determinar teóricamente la zona de cielo ideal que haya que vigilar. A fin de limitar ésta se determina por simulación, en función de la hora y de la estación, una zona de acimut en la que se respete la densidad de objetos que satisfacen las condiciones de visibilidad. El principio de simulación es simple: para un cierto número de latitudes (por ejemplo 0°, 30°N, 30°S, 45°N, 45°S, 60°N, 60°S) se simulan para varios días consecutivos y en las dos estaciones las condiciones de iluminación (ángulo de fase) de cada objeto de un catálogo de referencia, integrando los movimientos relativos de los objetos y del par Tierra/Sol. Se miden en las mismas, en función de la hora, la zona del cielo local (en acimut y elevación) que comprende la más alta densidad de objetos que respete las condiciones requeridas de iluminación.

15 Se define la zona ideal por iteraciones con respecto a la densidad de red que se desea obtener.

Para esto se efectúa una primera definición de zona de cielo que haya que vigilar para diferentes latitudes y se la modela en el simulador utilizado para definir la red.

20 Se mide el rendimiento accesible por una red dada y si el rendimiento obtenido es insuficiente o si la configuración de la red de estaciones llega a ser demasiado grande se reevalúa la zona de cielo que haya que vigilar para cada latitud por un nuevo análisis.

Esto se repite por iteraciones hasta obtener un compromiso satisfactorio en términos de eficiencia y de coste.

Para explorar el cielo en el marco de la presente invención los sistemas ópticos clásicos no ofrecen un campo de visión suficiente.

25 El principio retenido en la presente invención es tener un gran campo que puede llegar a 60° por 40°.

La combinación de campo por adición de sistemas ópticos clásicos necesita un número de sistemas ópticos redhibitorio.

30 Asimismo la exploración de la zona de cielo por un conjunto de sistemas ópticos de campo clásico plantea problemas complejos especialmente de sincronización de los sistemas y de maniobras parasitas de estos sistemas uno respecto de otro.

El principio de la invención es poner en práctica a nivel de cada sistema óptico telescopios de campo medio y alta sensibilidad en los cuales están situados un sensor, siendo controlados estos telescopios conjuntamente y reagrupados de manera que funcionen simultáneamente para ofrecer un campo amplio.

35 Los telescopios de los sistemas ópticos están dimensionados para la observación de pequeños residuos en la capa LEO, por ejemplo residuos del orden 8 cm a 10 cm a 600 km de altitud y así están perfectamente adaptados para observar objetos a altitudes superiores, bandas MEO o GEO, con una magnitud equivalente.

Por el contrario, la velocidad de la estructura necesaria para la capa LEO es mayor.

40 La determinación de los parámetros de los telescopios conduce a un diámetro del orden de 80 cm a 100 cm, una longitud focal del orden de 1,5 m a 2 m, no siendo este parámetro crítico, un campo idealmente comprendido entre 5° y 20° y de modo más preciso de 5° a aproximadamente 10°, siendo el valor preferido un campo del orden de 10°, especialmente de 8° a 12°.

En el ejemplo en el cual el campo del telescopio es del orden de 10°, para la adquisición de las imágenes, se utiliza una cámara de tipo sensor de CCD en el plano focal de orden de 4000 x 4000 píxeles condicionada por la combinación de la longitud focal y de campo. Para un telescopio de campo de 5°, el sensor CCD sería de 2000 x 2000 píxeles.

45 En resumen, el sensor de los telescopios es un sensor CCD que va de 1000 x 1000 píxeles hasta 6000 x 6000 píxeles con un tiempo de lectura CCD inferior o igual a 2 segundos y el tiempo de exposición es inferior a 100 milisegundos.

El ámbito espectral es la luz visible y los objetos que haya que vigilar van de la capa LEO a la capa GEO con una magnitud inferior que llega hasta 13.

Los detectores pueden ser de tipo CCD, CMOS, SCMOS o EMCCD pero el sensor preferido para su buena relación entre señal y ruido sigue siendo el sensor CCD iluminado por la parte trasera y enfriado.

5 Se elegirá un telescopio de tipo TMA o de tipo Schmidt y el tipo de telescopio preferido es un telescopio anastigmático de tres espejos (TMA). Tal telescopio está esquematizado en la figura 2 con un espejo primario 13 convergente, un segundo espejo 14 divergente, un tercer espejo 15 y un detector 16.

En ejemplo de realización, el tamaño elegido es del orden de 80 cm de diámetro del espejo primario que permite alcanzar objetos de aproximadamente 10 cm en LEO para objetos distantes 500 km y objetos del orden de 20 cm a una distancia de 2000 km para un objeto muy oscuro, siendo el caso de dimensionamiento un albedo de 0,1.

10 En el sentido absoluto, el cálculo de balance de transmisión es el que permite optimizar el tamaño del telescopio unitario, así como el conjunto de la configuración óptica y operativa para un tamaño de objeto mínimo detectable deseado en función de la altitud.

Los telescopios son definidos ventajosamente de modo que ofrezcan un campo útil de 10° por 10° y se prevé reagrupar y controlar 6 telescopios para realizar un sistema de vigilancia de base.

Esto da un campo recompuesto de 30° en elevación por 20° en acimut

15 En telescopios de 5 x 5 el campo recompuesto es reducido y la exploración puede ser mayor.

Se monta cada telescopio sobre una estructura giratoria programable para explorar una zona global que va hasta 60° en elevación por 40° en acimut.

La figura 3 representa los telescopios 20-1 a 20-6 de un sistema de base enfrente de la zona de cielo explorada 21 en elevación 22 y en acimut 23.

20 La velocidad de desplazamiento de los telescopios es tal que cada objeto que atraviesa la zona explorada es detectado tres veces de modo que se obtiene como mínimo 3 mediciones de posición, fechadas, idealmente repartidas sobre un arco de tránsito del objeto en la zona de cielo para determinar su órbita.

25 Las imágenes son tratadas con algoritmos de tratamiento de imagen del tipo seguidores de estrellas que permiten determinar la posición de los objetos móviles en el campo con respecto a las estrellas de fondo con una precisión angular del orden del IFOV (Instantaneous Field of View, o sea campo de visión instantáneo): o sea 5,85 segundos de arco.

Las duraciones de tránsito en la zona así definida son del orden de unos minutos, según la población orbital que haya que cubrir, siendo la duración tanto más corta cuanto más baja es la órbita.

30 El número de tomas de vistas necesarias para recorrer la zona concernida está directamente relacionado con el campo de visión del sistema óptico de gran angular empleado.

La duración de toma de vista, y en particular el tiempo de integración, combinada con los rendimientos de reposicionamiento del sistema óptico (y en particular su velocidad de desplazamiento y su duración de estabilización) y el número de tomas de vista condiciona la duración mínima de recorrido de la zona de cielo que haya que explorar.

35 Debe realizarse por tanto un compromiso entre este número de tomas de vistas, la duración máxima de recorrido de la zona de cielo que haya que explorar, las características de las estructuras del sistema óptico, su velocidad de relocalización estabilización incluida y el tiempo de integración.

A fin de garantizar un muestreo de la zona del cielo que haya que explorar que limite las pérdidas, el sistema óptico explora esta zona como mínimo 4 a 6 veces más deprisa que la duración de tránsito más pequeña de los objetos considerados.

40 Esta limitación se añade a la limitación de tiempo de integración óptimo para dimensionar los sistemas ópticos en términos de campo de visión y rendimiento de desplazamiento.

Las estructuras ecuatoriales utilizadas permiten un desplazamiento en acimut de un campo al campo consecutivo en menos de un segundo, estabilización comprendida.

45 Los telescopios del sistema óptico exploran el cielo en una banda de 10° a 60° en elevación y 10° a 40° en acimut, alrededor de 45° de elevación, centrado en una ascensión recta próxima al lado opuesto al sol (dependiendo de la latitud).

La banda explorada es recorrida por idas y vueltas sucesivas. Sus coordenadas tropocéntricas evolucionan con el desplazamiento del sol en el transcurso de una misma noche (típicamente 15 minutos de arco por minuto, hacia el oeste) y de una noche a otra para compensar la revolución de la Tierra alrededor del sol (1° por día).

ES 2 692 654 T3

Los objetos situados a una altitud de 500 km, observados a 45° de elevación atraviesan la zona escaneada en más de 15 s.

De acuerdo con esta configuración, el sistema permite garantizar que la posición de cada objeto a una altitud superior a 500 km será medida 3 veces durante su tránsito.

- 5 La detección de objetos en órbita LEO no es compatible con un seguimiento de los objetos porque no se les conoce a priori y se conoce todavía menos su trayectoria.

Por ello los sistemas ópticos de vigilancia son mantenidos fijos durante cada integración, observando una zona de cielo particular correspondiente a su campo de visión.

- 10 La mejor precisión de medición de posición fechada se obtiene evaluando la posición de cada objeto en LEO en el campo de visión con respecto a las estrellas igualmente en el campo de visión.

Como se vio anteriormente se puede completar el sistema de vigilancia por un sistema de seguimiento cuyo objetivo es adquirir, sobre la base de la designación realizada por el sistema de vigilancia, mediciones de posición más numerosas y precisas a fin de alcanzar la precisión requerida sobre la determinación de los parámetros orbitales.

- 15 El sistema de seguimiento está basado en telescopios clásicos, de alta sensibilidad y de campo de visión estándar del orden de 1°.

Estos telescopios están situados en los mismos sitios que los sistemas ópticos de vigilancia.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial en zonas LEO de la órbita terrestre que comprende una etapa de disposición y de puesta en red de estaciones de sistemas ópticos de vigilancia sobre la superficie del globo según una red apropiada para ofrecer un ciclo eficaz diario del sistema de 24 h y una duración de visita elegida de la zona LEO observada, en el que se define para la citada red un posicionamiento en latitud de los sistemas ópticos según latitudes privilegiadas a partir de los tipos de órbita que haya que vigilar, y se prevén:
- sitios de latitudes elevadas > 50° Norte o Sur,
 - sitios de las latitudes medias entre 30° y 50° Norte o Sur,
 - sitios de latitudes inferiores a 30° próximos a los trópicos y subtropicales,
2. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado por que la duración máxima de visita es a lo sumo igual a 2 días para el 90% de cobertura.
3. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2 caracterizado por que el mismo comprende una etapa de definición de condiciones de observación específicas para cada sistema óptico de vigilancia en función de su situación geográfica adaptadas para asegurar en cada sistema óptico una iluminación óptima de los objetos que haya que detectar.
4. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado por que se utilizan sistemas ópticos de gran angular superior o igual a 5° x 5° preferentemente superior o igual a 10° x 10°.
5. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 caracterizado por que se procede a una optimización de las condiciones de exploración de las zonas del cielo por los sistemas ópticos de vigilancia por un gobierno de los citados sistemas apropiado para hacerles recorrer las zonas del cielo de 4 a 6 veces más deprisa que la velocidad de tránsito de los objetos que haya que detectar.
6. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado por que se configuran los sistemas ópticos de vigilancia implantados en los nudos de la red para explorar zonas de cielo de 10° a 40° en acimut por encima de 35° y de elevación de 10° a 60°.
7. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con la reivindicación 6 caracterizado por que se configuran los sistemas ópticos de vigilancia implantados en los nudos de la red para explorar zonas de cielo de 20° a 40° de acimut por encima de 35° y de elevación de 20° a 60°.
8. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7 caracterizado por que se configuran los sistemas ópticos de vigilancia implantados en los nudos de la red de modo que se recorran las zonas de cielo exploradas con una frecuencia superior a 4 veces la duración mínima de tránsito de los objetos de la población considerada en las citadas zonas de cielo exploradas.
9. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se disponen los sistemas ópticos de vigilancia a nivel de estaciones implantadas en:
- sitios en Europa continental, Sur de España, en Asia Central, sitios de los observatorios astronómicos existentes, en Japón y en el sur de Canadá, de modo que se focalicen la mayoría de los objetos de inclinación superior a 40°, al tiempo que se detecten los objetos en órbita polar no SSO;

- sitios en el Pacífico, Taití, Islas Marquesas, en Chile, sitios de la ESO, en África del Este, Malindi, en Diego García en el Océano Índico y en la costa norte Australiana de modo que se cubran las órbitas ecuatoriales;

- sitios situados en latitudes superiores a 50° norte o sur, Alaska, estación de seguimiento de Poker-Flat, norte de Canadá, Islandia, Kiruna, Islas Kerguelen y Sur de Argentina de modo que se detecten de modo más particular los objetos en órbita polares y SSO.

5 10. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se equipa cada estación con un sistema óptico de vigilancia y con un telescopio de seguimiento.

10 11. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado por que se definen para cada sistema óptico condiciones de observación específicas en acimut y elevación en función de su situación geográfica de modo que se asegure en cada sistema óptico una iluminación óptima de los objetos que haya que detectar.

15 12. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se optimiza la red de tal modo que sus nudos se encuentren sobre tierras emergidas.

13. Procedimiento de realización de un sistema de vigilancia espacial de acuerdo con la reivindicación 12 caracterizado por que se optimiza la red de tal manera que sus nudos coincidan con lugares que comprendan una infraestructura preexistente y/o estaciones de observación espacial y fuentes de energía.

20

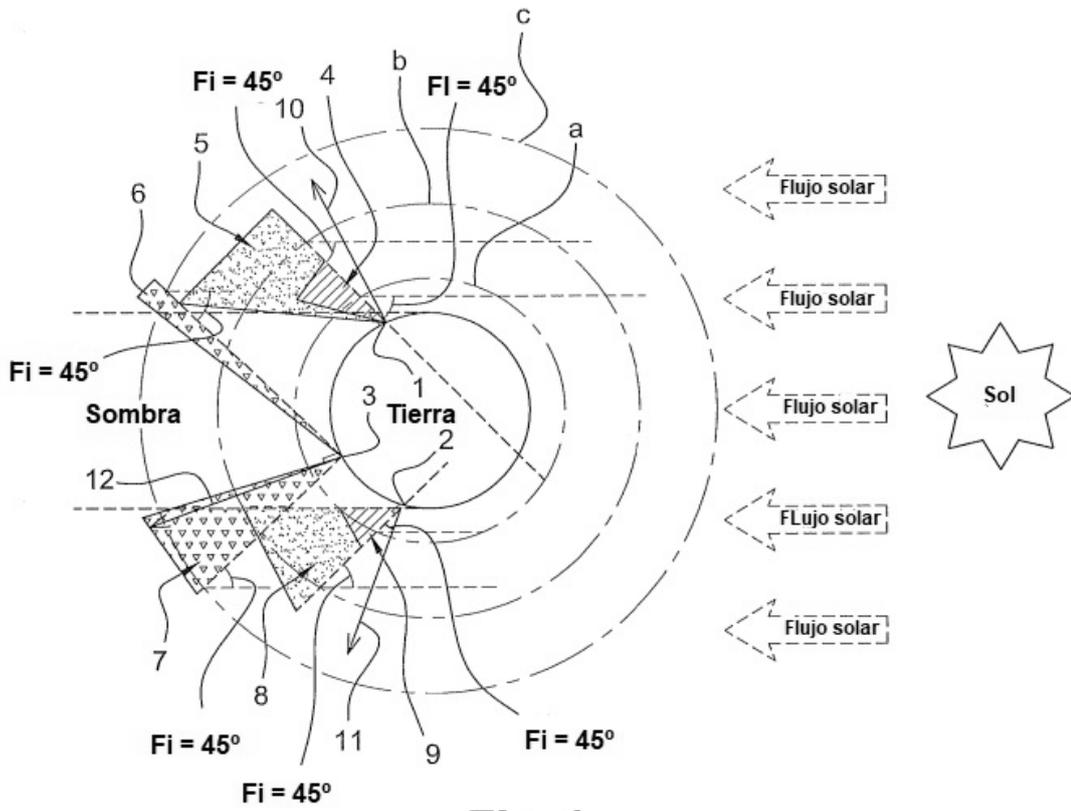


Fig. 1

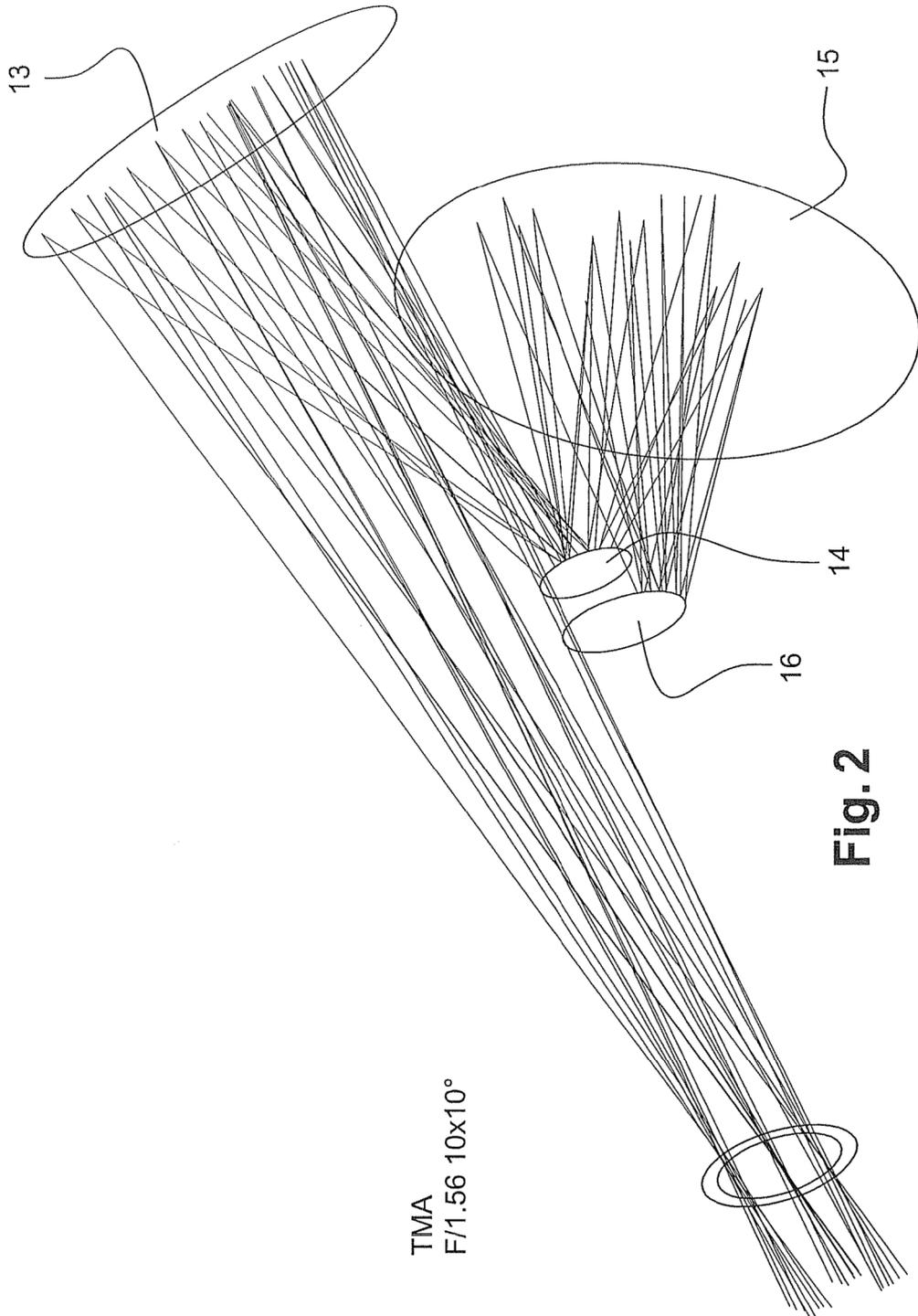


Fig. 2

TMA
F/1.56 10x10°

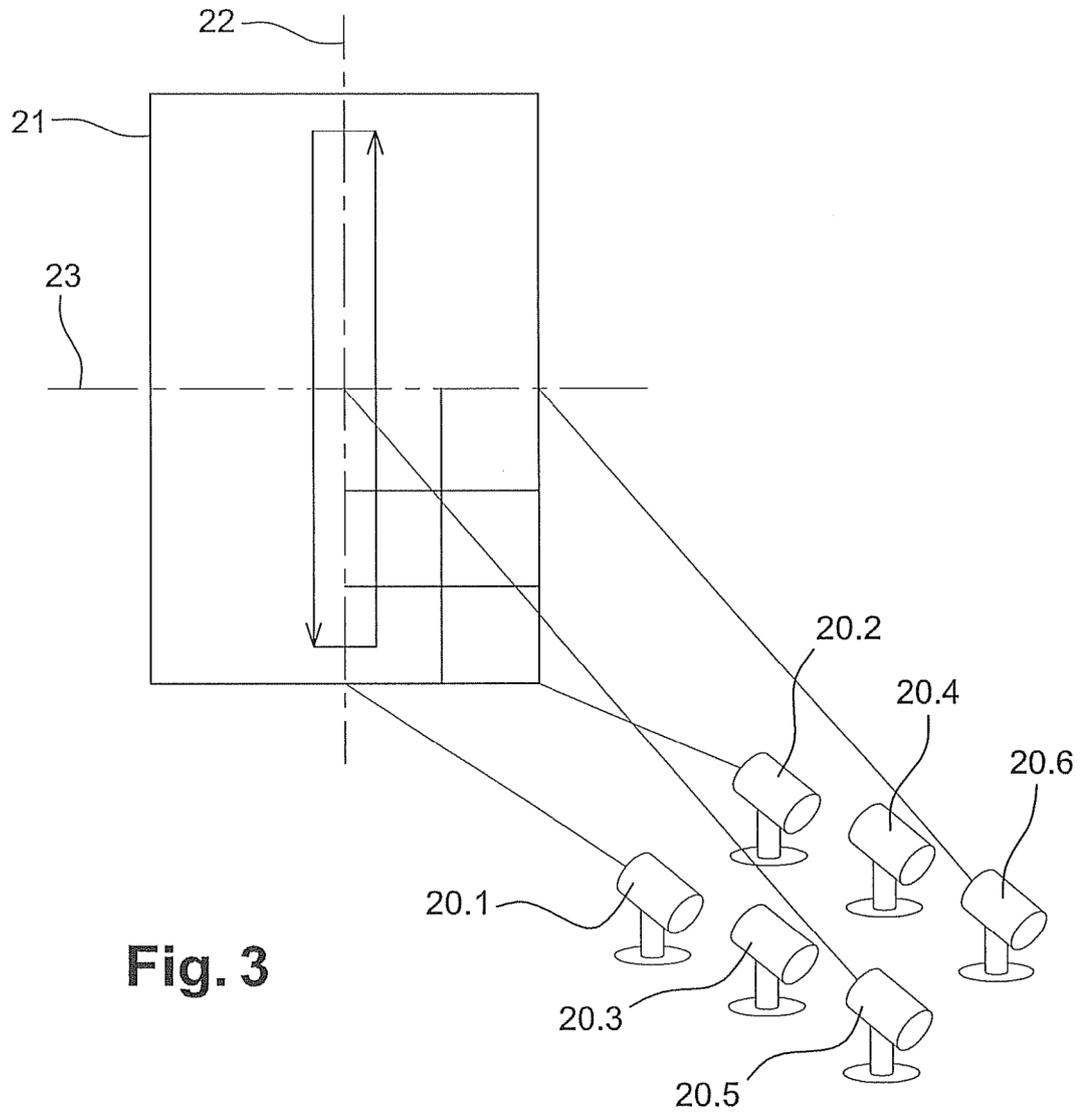


Fig. 3