

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 716 552**

51 Int. Cl.:

B64G 3/00 (2006.01)

G02B 17/06 (2006.01)

G02B 23/06 (2006.01)

H04N 7/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2011 PCT/EP2011/061568**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2012 WO12007360**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2011 E 11730020 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 2593367**

54 Título: **Sistema de vigilancia espacial para la vigilancia del espacio próximo**

30 Prioridad:

12.07.2010 FR 1055658

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

13.06.2019

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 2 716 552 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de vigilancia espacial para la vigilancia del espacio próximo

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

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

El espacio próximo a la tierra se define como la parte del espacio situada hasta algunos centenares de millares de Km de la tierra.

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

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

En lo que sigue del texto, se denominarán a estos objetos residuos sabiendo que esta noción de residuos engloba los residuos propiamente dichos, satélites operativos o incluso meteoritos.

15 La invención se interesa de modo más particular en los residuos en órbita baja (LEO de Low Earth Orbit según la terminología Anglo-sajona) de 200 km a 2000 km cuyo número induce un riesgo creciente de colisiones que pueden conducir a largo plazo a un aumento de la degradación de la situación, pero sobre todo a riesgos con respecto a los 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 asociarlos a parámetros orbitales válidos que permitan describir sus trayectorias.

Observados desde un punto fijo en la Tierra, los objetos en órbita baja presentan como características desplazarse rápidamente sobre la bóveda celeste. Además, en cada instante varios objetos atraviesan la bóveda celeste en varios lugares.

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

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

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

30 Por otra parte, la distribución de tamaño de los residuos varía de un radio característico de algunos 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 adecuada a la explotación considerada,
- 35 - actualizar en el transcurso del tiempo el conocimiento de sus parámetros orbitales.

Además, es necesario readquirir los mismos objetos y refrescar la medición de sus parámetros orbitales regularmente a fin de que su precisión permanezca adecuada en función de la explotación que debe hacerse de la misma, 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 algunos días, con miras por ejemplo a consolidar un riesgo de colisión y a planificar eventuales maniobras de evitación.

Las tres primeras funciones se reagrupan tradicionalmente bajo el tema de la vigilancia espacial (Survey en inglés), objeto principal de la presente invención, mientras que la cuarta está relacionada con el tema del seguimiento espacial (Tracking en inglés).

45 La realización de estas funciones necesita disponer.

- de un campo visual amplio,

- 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 visual suficiente para estimar sus parámetros orbitales con el nivel de eficiencia requerido.

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

La patente US 7 319 556 trata de un telescopio de amplio campo 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 asentados en el suelo:

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

10 - Radar GRAVES puesto en práctica por el Ministerio de la 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 Aunque ofrecen numerosas ventajas (campo visual amplio que permite interceptar zonas de 180° en acimut por algunas decenas de grados en elevación, acceso simplificado a las informaciones de velocidad gracias a la mediciones Doppler, insensibilidad a la meteorología y al ciclo día/noche, etc...), las soluciones radar 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)

- hay generación importante de pérdidas magnéticas,

20 - se tiene necesidad de potencias de algunas 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 origina 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.

Como alternativa, se han considerado ya los sistemas ópticos para realizar 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.

30 Para medir estas posiciones se aplican diversos métodos, basándose el más interesante en la medición en cada instante de la posición de los objetos detectada con respecto a las estrellas presentes en el campo visual, estrellas cuya posición es conocida con una gran precisión.

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.

35 Y, puramente pasivos, los mismos necesitan poco de infraestructura, energía, edificaciones, medios de transporte.

Los sistemas ópticos son utilizados normalmente para vigilar la GEO (órbita geoestacionaria) o más recientemente para la MEO (órbita intermedia entre LEO y GEO), debido a que los objetos en estas órbitas tiene la particularidad de desplazarse 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.

40 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 visual pequeño, del orden del grado.

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

45 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 anteojos pequeños de abertura del orden de 10 cm orientados a los 4 puntos cardinales con una elevación de algunas decenas de grados y que ofrecen cada uno, un campo visual del orden de 10°.

5 Otros conceptos proponen sistemas catadióptricos sensibles de abertura métrica o más de gran campo, 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.

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

- necesidad de una detección rápida (algunos días) de cualquier objeto nuevo, con el fin especialmente de identificar cualquier fenómeno de fragmentación o de explosión en órbita,

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

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

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

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 visual.

20 El documento US2006/110007 A1 describe un sistema de vigilancia espacial que comprende dos telescopios y medios de adquisición de imágenes adecuados para la detección de imágenes lineales en fotografías planas. Las imágenes lineales son tales como las producidas por objetos en movimiento como residuos que siguen una órbita y capturadas sobre un fondo tal como un cielo de noche por elementos tales como elementos de adquisición de imágenes CCD.

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

30 Por otra parte, el principio de la vigilancia no prevé el seguimiento de los objetos. Debido a ello, durante la observación de la LEO, las duraciones de integración largas no mejoran la detectabilidad de un objeto, evaluado 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 datación, e integrando ruido y por tanto degradando las relaciones entre señal y ruido una vez atravesado el pixel.

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 adecuado.

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

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

A la vista de esta situación, la invención consiste en realizar un sistema de 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.

40 De esta manera, la invención está destinada a definir un sistema de suelo de vigilancia de la LEO basado en soluciones ópticas puramente pasivas que facilitan, a un coste competitivo con respecto a las soluciones radar (factor 2 a 10), prestaciones comparables, es decir:

45 - una cobertura equivalente de la población de objetos en LEO, en términos de integridad, 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.

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

50 Para hacer esto, la invención propone un sistema de vigilancia espacial que comprende sistemas ópticos de vigilancia en red, adaptados para escrutar zonas de la órbita terrestre especialmente la capa LEO, dispuestos según una malla

5 en la superficie de un planeta caracterizado porque el mismo comprende medios adecuados para adquirir imágenes de objetos que atraviesan zonas escrutadas por los sistemas ópticos y medios de cálculo adecuados para realizar una medición de las series temporales de posición de los objetos que atraviesan las zonas escrutadas por tomas de imágenes con un tiempo de exposición inferior a 100 milisegundos sobre un campo fijo, estando los sistemas ópticos adaptados para escrutar la zona de observación de 4 veces a 6 veces más deprisa que la velocidad de tránsito de los objetos de la banda LEO que haya que detectar. El calculador está ventajosamente adaptado para realizar la medición con restitución con respecto a las estrellas en el campo visual con un mínimo de 3 puntos de medición para cada objeto que atraviesa la zona escrutada.

10 El sistema de vigilancia espacial de la invención comprende un medio informático de tratamiento de las imágenes procedentes de los sistemas ópticos para extraer de ellas las posiciones datadas de los objetos que atraviesan el campo.

Ventajosamente, los sistemas ópticos comprenden telescopios dispuestos en la superficie del planeta según una configuración adaptada para ofrecer un ciclo eficaz diario próximo a 24 horas y una tasa de revisita elegida de la zona LEO vigilada.

15 Preferiblemente cada sistema óptico comprendido está situado y es gobernado según condiciones de observación específicas en función de su situación geográfica adaptada para asegurarle una iluminación óptima de los objetos que haya que detectar.

Preferiblemente, los sistemas ópticos son sistemas ópticos de gran campo adaptados para explorar una zona de cielo de al menos 10° a 40° por 10° a 60°.

20 Según un modo de realización particular, el sistema de vigilancia espacial según la invención comprende asociado a cada sistema óptico un dispositivo de seguimiento de campo clásico específico destinado a adquirir, sobre la base de la designación realizada por el sistema de vigilancia, mediciones de posición de objetos más numerosas y precisas adaptadas para obtener la precisión requerida sobre la determinación de los parámetros orbitales de los citados objetos de modo que se transforme el sistema de vigilancia en sistema adaptado para definir y seguir una trayectoria precisa de objetos previamente detectados.

25 Ventajosamente, los sistemas de base de la red están diseñados 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 observada en la zona de cielo escrutada.

30 La invención concierne además a un sistema de vigilancia espacial y de seguimiento que comprende un sistema de vigilancia espacial tal como el descrito anteriormente caracterizado por que el mismo comprende, como complemento de los sistemas ópticos de vigilancia, sistemas de seguimiento específicos, medios de conexión entre los citados sistemas ópticos de vigilancia y los citados sistemas de seguimiento específicos adaptados para transmitir designaciones de objetos procedentes de los sistemas ópticos de vigilancia hacia los sistemas de seguimiento específicos, siendo determinadas después de modo preciso las órbitas de los citados objetos por los sistemas de seguimiento específicos que utilizan como datos de entrada las citadas designaciones.

35 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 anejos, los cuales representan.

en figura 1: un ejemplo de implementación de sistemas ópticos en función de la latitud;

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

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

45 En el marco de la invención, para realizar la malla se define, utilizando un medio informático de simulación de las prestaciones y de las posiciones de sistemas ópticos, una configuración del sistema que consiste en una puesta en red adecuada de sistemas ópticos en suelo, según la citada malla o una aproximación de la citada malla 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 en continuo del entorno completo del planeta.

50 Se definen, por cálculo de ángulo de fase (el ángulo de fase en astronomía es el ángulo entre el suelo, 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.

En los sistemas ópticos se utilizan detectores de gran campo, superior a 5° o preferiblemente superior a 10° y adaptados para detectar los objetos de la zona escrutados.

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

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

En ejemplo de realización, la malla está realizada por simulación según uno o el otro de los métodos que siguen o según una combinación de estos métodos.

Las etapas comunes a los dos métodos son

10 - una preselección de un conjunto de sitios candidatos, seleccionados entre sitios accesibles (presencia de infraestructura, tipo de 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 ($\sim 80^\circ$; 120°) mejor visibles desde las latitudes elevadas ($>50^\circ$ N o S),

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

objetos en órbita poco inclinada ($< \sim 30^\circ$) más bien visibles desde latitudes próximas a las tropicales o subtropicales,

15 - una selección de sitios que ofrezcan lo más posible un espaciamiento en longitud de 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 $15^\circ/\text{hora}$ – y el periodo de la órbita a 500 km, aproximadamente 90 min);

20 - 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 catalogo 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 forma de: fecha y hora de inicio de visibilidad, duración de visibilidad, identificación del sitio en visibilidad, evaluando para el conjunto de los episodios de visibilidad si estos 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

30 - una simulación de los episodios de visibilidad sobre el conjunto de la población de referencia, para el conjunto de los sitios predefinidos, en una duración de simulación que permite 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 garantizan que la porción de objetos considerada (por ejemplo el 98% de la población de referencia) será catalogable en una duración mínima objetivo (por ejemplo 1 mes).

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

40 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 criterio (por ejemplo según criterios de facilidad de acceso, de cualidades 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 la tasa de cobertura.

45 Esta simulación se completa por una iteración modificando el subconjunto de sitios preferidos por adición o supresión de sitios, hasta obtener las prestaciones consideradas, por ejemplo una tasa de cobertura del 98% de la población de referencia, y una duración de convergencia, por ejemplo de 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 escrutadas por integración corta en campo fijo, con restitución con respecto a las estrellas en el campo visual con un mínimo de 3 puntos de medición para cada objeto que atraviesa la zona escrutada.

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

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

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

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

Con:

5 **Señal = FlujoFotones x TiempoExposición**

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

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

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

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

El astro de interés ilumina entonces un conjunto de pixeles fijos. En estas condicione, 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.

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

20 En el marco de la vigilancia de la órbita baja, el objeto no está fijo con respecto al eje de observación. Su imagen se desplaza por tanto sobre el CCD. Cada pixel del CCD solo es iluminado por la señal durante una duración del paso a través de este pixel por 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.

25 Así, según la presente invención, a fin de maximizar 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 observación (velocidad angular aparente más baja a baja elevación que en el cenit), la configuración del instrumento (campo visual, tamaño de cada pixel), y la órbita del objeto (velocidad angular más pequeña alta altitud) este tiempo de transito es del orden de algunos milisegundos a algunos centenares de milisegundos.

Se eligen por tanto, tiempos de exposición (o de integración) que permitan obtener el nivel de la relación entre señal y ruido requerido.

30 El tiempo de exposición ideal es seleccionado por cálculo del balance de relación fotométrica tomando en consideración 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 observados (tamaño mínimo y albedo mínimo).

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

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

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 de las mismas las posiciones datadas de los objetos que atraviesan el campo.

40 Como complemento, añadiendo a cada sistema óptico de vigilancia un sistema de seguimiento específico, realizado por ejemplo con la ayuda de un telescopio de campo clásico motorizado y gobernado por un 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.

45 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.

La puesta en red de los sistemas ópticos de vigilancia en suelo en la superficie del globo o del planeta se realiza 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 a 30° aproximadamente,

5 - sistemas ópticos específicos para órbitas muy inclinadas y polares superiores al 60% aproximadamente en latitudes en el entorno de 50° y más,

- sistemas ópticos en latitudes en el entorno de 40° para acceder a las órbitas de inclinación intermedia.

Se define la malla 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 al menos igual a 2 días al 95%.

10 Las condiciones de puesta en práctica local de la observación son tales que cada sistema óptico implantado en cada nudo de la malla solo escruta 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 ascenso recto fija, en función de las prestaciones deseadas, 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.

15 Para hacer esto, los sistemas ópticos de vigilancia de base comprenden un dispositivo de captura de imágenes motorizado y gobernado por un sistema informatizado de apuntamiento y de adquisición de imágenes.

Los sistemas ópticos de vigilancia de base de la red y sus medios de mando están diseñados 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 escrutada.

20 En el marco de la invención, puede considerarse además una versión en la cual los sistemas ópticos comprenden un telescopio de campo de 5° x 5° al que se hace explorar 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 escrutadas.

25 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 escrutada, y se efectúa una determinación de las posiciones del objeto con respecto a las estrellas en el campo visual, siendo ubicadas estas estrellas a nivel del sistema informatizado de puntería local o un sistema informático adicional eventualmente desplazado al centro de mando del conjunto de los sistemas de seguimiento de la red y que comprende una cartografía del cielo.

30 Las órbitas son determinadas a continuación eventualmente 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.

35 En este marco, se utiliza un algoritmo inspirado de los « sensores estelares » (stracker en inglés), que permita determinar en cada imagen tomada por el telescopio la posición del objeto orbital en ascenso recto y en declinación, o en acimut y elevación por medición relativa a 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:

40 ubicación de las estrellas en cada imagen por análisis de motivos conocidos, a partir del conocimiento basto del eje de observación,

ubicación de los elementos brillantes que no son estrellas,

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

45 determinación para 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 son suficientes 3 estrellas; pero se mejora así la precisión y la fiabilidad de los cálculos.

Finalmente, la posición medida es datada con fecha y hora de toma de vista.

Para el posicionamiento de los sistemas ópticos, hay que definir la malla y los nudos en los que se encontrarán los sistemas ópticos.

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

- 5 Estas lo son típicamente para una banda en ascenso recto, que evoluciona 1° al día para compensar la revolución de la Tierra alrededor del sol, centrada en un ascenso reto 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.

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

- las órbitas muy inclinadas y polares superiores al 60° aproximadamente solo son accesibles desde latitudes en el entorno de 60° y más.

- las órbitas de inclinación intermedia son accesibles desde latitudes en el entorno de 45° .

- 15 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 cumplen entonces los criterios siguientes:

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

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

- 20 - 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 órbita tienen un ángulo de fase inferior a 45° . Dependiendo del ángulo de fase de la posición del sol con respecto a la Tierra, del objeto en el cielo local y de la hora local, esta dirección evoluciona con la rotación de la Tierra, por tanto con la hora local.

- 25 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 el cual se han representado tres sitios 1, 2, 3 distantes en longitud y tres órbitas a, b, c.

- 30 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 y 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.

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

- 35 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 malla en longitud facilita en cada instante una banda longitudinal en la que se cumplen estas condiciones.

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

- 40 Una toma en cuenta de las estadísticas meteorológicas estacionarias permite definir una tasa de redundancia necesaria: el análisis de las configuraciones meteorológicas hace aparecer una gran descorrelación de las condiciones de cobertura nubosa local para puntos separados algunos centenares de km sobre el globo.

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

- 45 Esto conduce al caso concreto que sigue de establecimiento de una red que comprende 15 sitios repartidos en diferentes latitudes:

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

5 Sitios en el pacífico (Tahití, Islas Marquesas), en Chile (sitios de la ESO), en África del Este (Malendi), 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 ofrecen para estas períodos de observación más cortos que en las latitudes más elevadas).

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.

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

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 de un telescopio de seguimiento.

15 A nivel de las estaciones de vigilancia, para cada sistema óptico, se escrutan zonas predefinidas del cielo local en función de la hora de la noche y del día, que corresponden a una banda de ascensión recta fija que evoluciona de 1 al día facilitando las condiciones de iluminación óptimas (ángulo de fase tipo $<45^\circ$) según la latitud.

20 En efecto, para los objetos en LEO los períodos de visibilidad están restringidos a algunas horas según el crepúsculo y que preceden al alba (duración que varía según la estación, la inclinación y la altitud de los objetos), correspondiente a bandas de ascensión recta que facilitan las condiciones de observación óptimas (ángulo de fase de iluminación minimizado), sin que el objeto esté en la sombra de la Tierra.

Se trata de bandas de 10° a 60° de anchura en acimut, acimut media, variando la anchura 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 mayoría 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.

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

Teniendo en cuenta una elevación mínima $>30^\circ$ para limitar la absorción de la atmósfera y una elevación máxima (limitar la velocidad de desplazamiento 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.

30 Como a cada altitud de órbita corresponde una zona de visibilidad más o menos amplia 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 en acimut en la que se respeta 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) las condiciones de iluminación (ángulo de fase) de cada objeto de un catálogo de referencia son simuladas en varios días consecutivos y en las dos estaciones, integrando los movimientos relativos de los objetos y del par Tierra/Sol. Se mide, en función de la hora, la zona del cielo local (en acimut y elevación) que comprende la mayor densidad de objetos que respetan las condiciones requeridas de iluminación.

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

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

Se mide la eficiencia accesible por una red dada y si la eficiencia obtenida es insuficiente o si la configuración de la red de estaciones llega a ser demasiado importante 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.

45 Para escrutar el cielo en el marco de la presente invención los sistemas ópticos clásicos no ofrecen un campo visual suficiente.

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.

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 movimientos parásitos de estos sistemas uno con respecto a otro.

5 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.

Los telescopios de los sistemas ópticos están dimensionados para la observación de residuos pequeños en la capa LEO, por ejemplo residuos del orden de 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.

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

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°, 8° a 12° especialmente.

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

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

20 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 va hasta 13.

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

25 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). Dicho 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 obtener objetos de 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 la referencia de dimensiones un albedo de 0,1.

30 En el sentido absoluto, el cálculo del 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 están ventajosamente definidos 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.

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

Para telescopios de 5 x 5 el campo recompuesto es reducido y la exploración puede ser más grande.

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

40 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.

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 obtienen como mínimo 3 mediciones de posición datadas, idealmente repartidas en el arco de tránsito del objeto en la zona de cielo para determinar su órbita.

45 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 visual instantáneo): o sea 5,85 segundos de arco.

Las duraciones de tránsito en la zona así definida son del orden de algunos minutos, según la población orbital que haya que cubrir (duración tanto más corta cuando más baja sea la órbita).

ES 2 716 552 T3

El número de tomas de vista necesario para recorrer la zona concernida está directamente relacionado con el campo visual de sistema óptico de campo amplio empleado.

- 5 La duración de toma de vista y en particular el tiempo de integración, combinada con las prestaciones de reposicionamiento del sistema óptico (y en particular su velocidad de desplazamiento y su duración de estabilización) y con el número de tomas de vista condiciona la duración mínima de recorrido de la zona de cielo local que haya que escrutar.

Por tano debe realizarse un compromiso entre el número de tomas de vista, la duración máxima de recorrido de la zona de cielo que haya que escrutar, las características de las monturas del sistema óptico, su velocidad de relocalización, estabilización incluida, y el tiempo de integración.

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

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

- 15 Las monturas ecuatoriales utilizadas permiten un desplazamiento en acimut de un campo al campo consecutivo en menos de un segundo, estabilización incluida.

Los telescopios 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 un ascenso recto próximo al lado opuesto del sol (dependiendo de la latitud).

- 20 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° al día).

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

- 25 En esta configuración, el sistema permite garantizar que la posición de cada objeto en una altitud superior a 500 km será medida 3 veces durante su tránsito.

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.

También los sistemas ópticos de vigilancia son mantenidos fijos durante cada integración, observado una zona de cielo particular correspondiente a su campo visual.

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

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 lograr la precisión requerida sobre la determinación de los parámetros orbitales.

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

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

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema de vigilancia espacial que comprende sistemas ópticos (20) de vigilancia en red, adaptados para escrutar zonas de la órbita terrestre especialmente la capa LEO, dispuestos según una malla (1, 2, 3) en la superficie de un planeta y que comprende medios adaptados para adquirir imágenes de objetos que atraviesan zonas escrutadas (4, 5, 6, 7, 8) por los sistemas ópticos y medios de cálculo adaptados para realizar una medición de las series temporales de posición de los objetos que atraviesan las zonas escrutadas por tomas de imágenes con un tiempo de exposición inferior a 100 milisegundos sobre un campo fijo, estando los sistemas ópticos (20) adaptados para escrutar la zona de observación de 4 veces a 6 veces más deprisa que la velocidad de tránsito de los objetos de la banda LEO que haya que detectar.
- 10 2. Sistema de vigilancia espacial según la reivindicación 1 caracterizado por que el calculador está adaptado para realizar la medición con restitución con respecto a las estrellas en el campo visual con un mínimo de 3 puntos de medición para cada objeto que atraviesa la zona escrutada (21).
- 15 3. Sistema de vigilancia espacial según las reivindicaciones 1 o 2 caracterizado por que comprende un medio informático de tratamiento de imágenes procedentes de los sistemas ópticos para extraer de las mismas las posiciones datadas de los objetos que atraviesan el campo.
4. Sistema de vigilancia espacial según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado por que los sistemas ópticos comprenden telescopios dispuestos en la superficie del planeta según una configuración adaptada para ofrecer un ciclo eficaz diario próximo a 24 h y una tasa de revisita elegida de la zona LEO vigilada.
- 20 5. Sistema de vigilancia espacial según la reivindicación 4 caracterizado por que cada sistema óptico (20-1, ..., 20-6) está situado y es gobernado según condiciones de observación específicas en función de su situación geográfica adaptada para asegurarle una iluminación óptima de los objetos que haya que detectar.
6. Sistema de vigilancia espacial según las reivindicaciones 4 o 5 caracterizado por que los sistemas ópticos son sistemas ópticos de gran campo adaptados para explorar una zona de cielo de al menos 10° a 40° por 10° a 60°.
- 25 7. Sistema de vigilancia espacial según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado por que comprende asociado a cada sistema óptico un dispositivo de seguimiento de campo clásico específico destinado a adquirir, sobre la base de la designación realizada por el sistema de vigilancia, mediciones de posición de objetos más numerosas y precisas adaptadas para obtener la precisión requerida sobre la determinación de los parámetros orbitales de los citados objetos de modo que el sistema de vigilancia se transforme en sistema adaptado para definir y seguir una trayectoria precisa de objetos antes detectados.
- 30 8. Sistema de vigilancia espacial según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado por que los sistemas ópticos de base de la red están diseñados 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 observada en la zona de cielo escrutada.
- 35 9. Sistema de vigilancia espacial según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el tiempo de exposición está entre algunos milisegundos y algunos centenares de milisegundos.
- 40 10. Sistema de vigilancia espacial y de seguimiento que comprende un sistema de vigilancia espacial según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes caracterizado por que comprende, en complemento de los sistemas ópticos de vigilancia, sistemas de seguimiento específicos, medios de conexión entre los citados sistemas ópticos de vigilancia y los citados sistemas de seguimiento específicos adaptados para transmitir designaciones de objetos procedentes de los sistemas ópticos de vigilancia hacia los sistemas de seguimiento específicos, siendo determinadas después de modo preciso las órbitas de los citados objetos por los sistemas de seguimiento específicos que utilizan como datos de entrada las citadas designaciones.

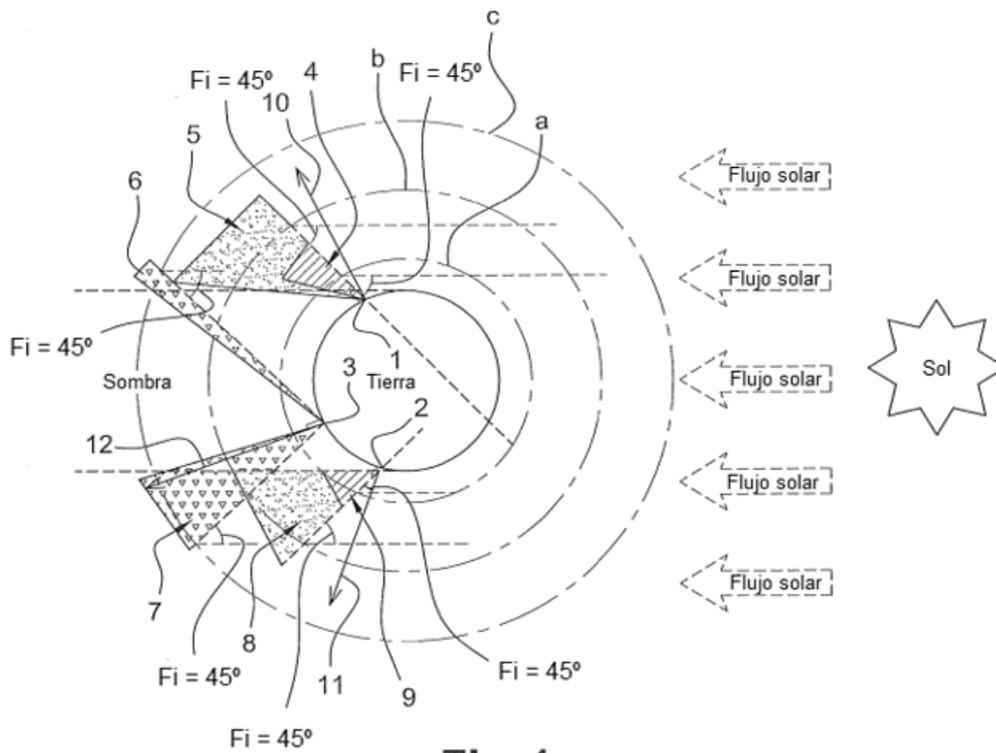
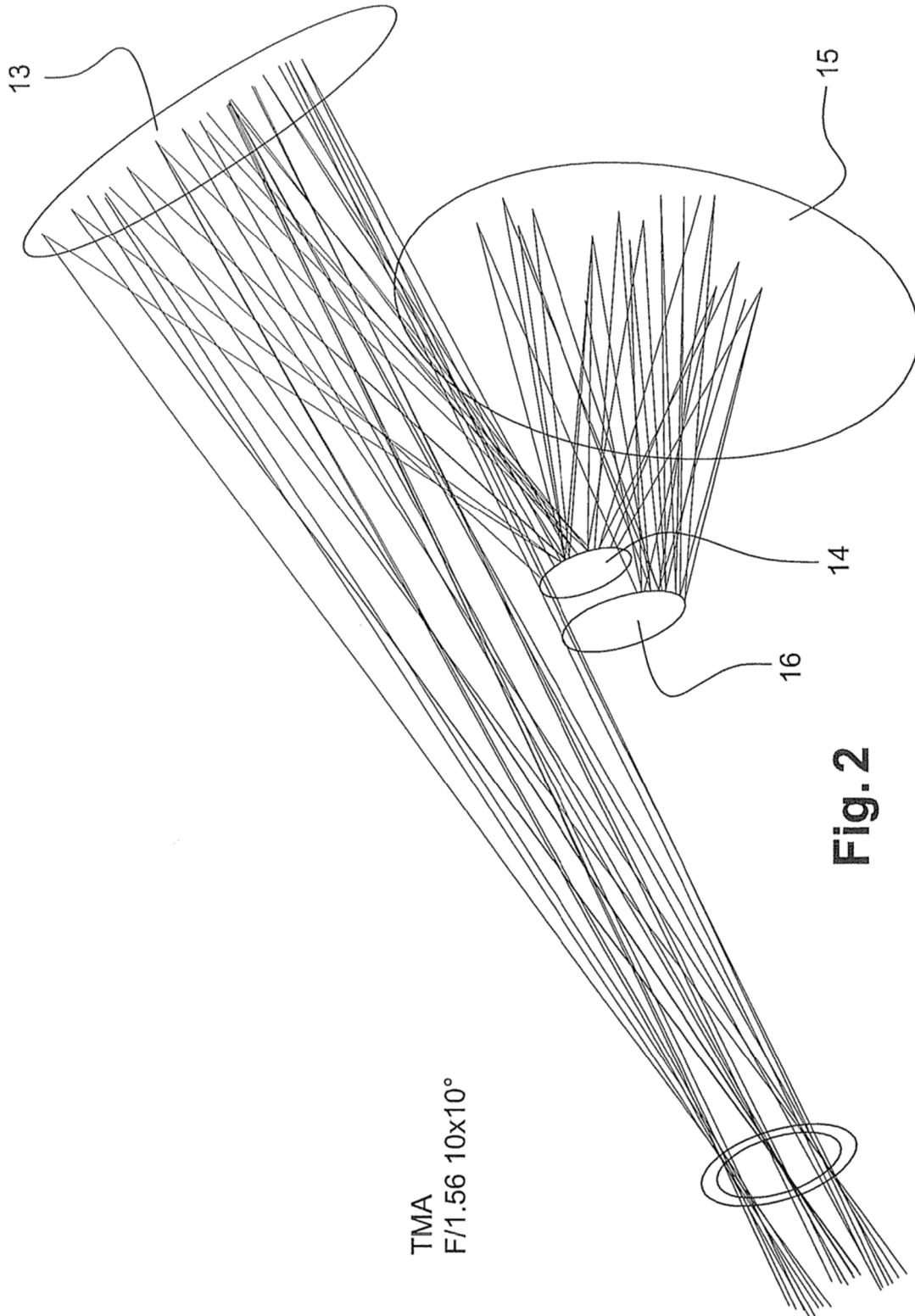


Fig. 1



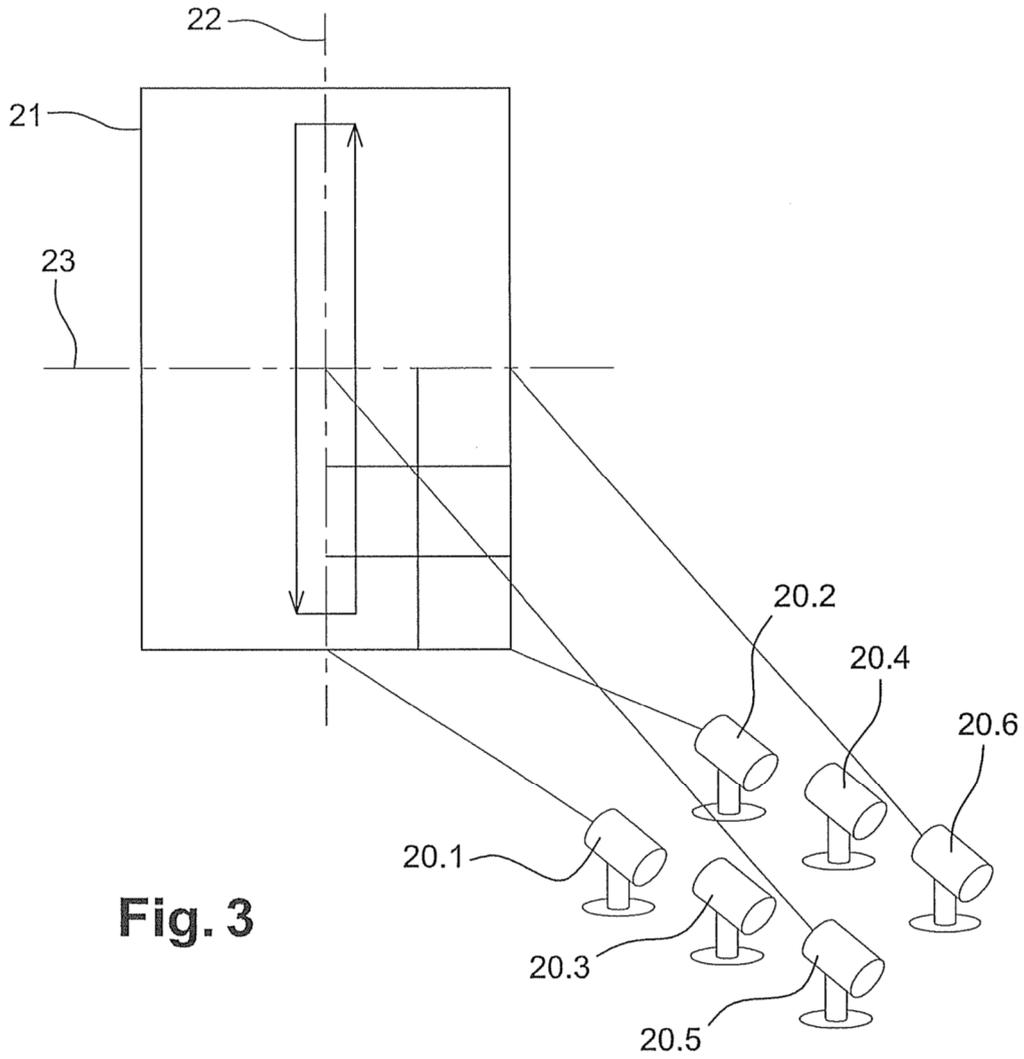


Fig. 3