

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 959 469**

51 Int. Cl.:

G02B 23/06 (2006.01)

B64G 3/00 (2006.01)

G02B 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.07.2011 PCT/EP2011/061569**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2012 WO12007361**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.07.2011 E 11735618 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2023 EP 2593366**

54 Título: **Sistema óptico de vigilancia para un sistema de vigilancia espacial de monitorización del espacio cercano**

30 Prioridad:

12.07.2010 FR 1055660

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

26.02.2024

73 Titular/es:

**ARIANEGROUP SAS (100.0%)
51-61 Route de Verneuil
78130 Les Mureaux, FR**

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 959 469 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 óptico de vigilancia para un sistema de vigilancia espacial de monitorización del espacio cercano

5 La presente invención se refiere a un sistema óptico de vigilancia para un sistema de vigilancia espacial para la monitorización del espacio cercano a la Tierra desde la tierra de modo que detecte los objetos los cuales se encuentran en este espacio, determinar sus trayectorias precisas y monitorear estas trayectorias.

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

El espacio cercano a la Tierra está definido como la parte del espacio situada hasta unos pocos cientos de miles de kilómetros de la Tierra.

10 Por lo tanto, la detección se refiere a objetos los cuales están esencialmente, pero no únicamente, en órbita alrededor de la Tierra.

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

Se llamara a estos objetos desechos en la continuación del texto sabiendo que esta noción de desechos abarca los desechos propiamente dichos, los satélites operacionales o incluso los meteoritos.

15 La invención se interesa más particularmente en los desechos en órbita baja (LEO para *Low Earth Orbit* según la terminología anglosajona) entre 200 km y 2000 km, cuyo número conduce a un riesgo creciente de colisiones que podrían llevar a largo plazo a un aumento de la degradación de la situación, pero sobre todo a los riesgos relacionados con los medios espaciales operacionales, ya sean militares, científicos o comerciales.

20 Con el fin de controlar estos riesgos, es fundamental catalogar todos los desechos potencialmente peligrosos y asociarlos con parámetros orbitales válidos los cuales permitan describir sus trayectorias.

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

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

Los diversos efectos, tales como la marea, el frenado atmosférico, la presión de radiación, la irregularidad del campo gravitacional terrestre, afectan a las órbitas.

Esto impide describir estas órbitas con precisión a largo plazo con un conjunto invariante de parámetros orbitales.

30 Por otra parte, la distribución del tamaño de los desechos varía de un radio característico de unos pocos milímetros, por ejemplo, los residuos de propulsión, de pintura o los meteoritos hasta varias decenas de metros, especialmente los satélites o sistemas orbitales artificiales, sean o no operacionales.

Monitorear la órbita baja requiere realizar las siguientes funciones:

- 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 adaptada a la explotación considerada
- 35 - actualizar a lo largo del tiempo el conocimiento de sus parámetros orbitales.

También es necesario readquirir los mismos objetos y actualizar la medición de sus parámetros orbitales de manera regular con el fin de que su precisión permanezca adaptada en función de la explotación que se debe hacer de ellos, por ejemplo, implementando los procesos de identificación y de consolidación de los riesgos de colisión.

40 Finalmente, el sistema debe ser capaz de perfeccionar, bajo solicitud, la precisión del conocimiento de los parámetros orbitales de un objeto determinado, de modo que pueda predecir con precisión su posición en un futuro próximo, típicamente unos pocos días, con el fin, por ejemplo, de consolidar un riesgo de colisión y planificar posibles maniobras para evitarlo.

45 Las tres primeras funciones se agrupan tradicionalmente bajo el tema de la vigilancia espacial (*Survey* en inglés), objeto principal de la presente invención, mientras que la cuarta pertenece al tema del seguimiento espacial (*Tracking* en inglés).

Realizar estas funciones de vigilancia requiere disponer:

- de un amplio campo de visión,
- de una sensibilidad que permite 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 comportamiento requerido.

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

La patente US 7 319 556 trata de un telescopio de amplio campo adaptado a un sistema que realiza estas funciones.

10 Las principales técnicas actualmente consideradas e implementadas para realizar una monitorización de la órbita baja se basan en los radares basados en tierra:

- Radar de la «*Space Fence*» del DoD (Ministerio de Defensa) estadounidense;
- Radar GRAVES implementado por el Ministerio de Defensa francés (radar de escaneo de fase «*phased array*», biestático, con emisión continua);
- Radar tipo de alerta antimisiles (radar de escaneo de fase «*phased array*», monoestático, con emisión pulsada).

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

- 20 - las frecuencias utilizadas son elevadas (banda L)
- hay generación de pérdidas magnéticas importantes,
- se necesitan potencias de unas pocas decenas de Megavatios, con un bajo rendimiento.
- la duración promedio antes de fallo (MTBF) de los radares, como todo material eléctrico de alta potencia, es baja y ocasiona costes de mantenimiento elevados.

25 - La población orbital accesible por cada radar está condicionada por su ubicación en el globo, lo cual conduce a posicionarlos en la zona ecuatorial, lo cual ofrece condiciones de temperatura y de humedad severas para los componentes eléctricos y electrónicos, aumentando así el coste de operación y de mantenimiento.

30 Como alternativa, ya se han considerado los sistemas ópticos para realizar la vigilancia espacial. Exclusivamente 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, por ejemplo, asteroides y planetoides. Tales sistemas proporcionan acceso a series temporales de medición de las posiciones angulares de los objetos, por ejemplo, en azimut y elevación.

Se aplican diversos métodos para medir estas posiciones, el más interesante se basa en la medición en cada momento 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 alta.

35 La principal ventaja de los sistemas ópticos sobre los sistemas de radar reside en su bajo coste de desarrollo, de producción, de operación y de mantenimiento, en su fiabilidad y en su simplicidad de implementación.

Y, exclusivamente pasivos, requieren poca infraestructura, energía, edificios, medios de transporte.

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

El GEODSS de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos es un ejemplo operacional de tales sistemas. Se compone principalmente de telescopios métricos que presentan un campo de visión bajo del orden del grado.

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

Un ejemplo de realización de múltiples sensores se describe en el documento US 2009/0147238.

5 También se han iniciado algunos estudios para definir soluciones capaces de monitorear la LEO.

Por ejemplo, el sistema experimental francés SPOC (Sistema de prueba para la observación del cielo) integraba 4 pequeños lentes de apertura del orden de 10 cm orientados en los 4 puntos cardinales con una elevación de unas pocas decenas de grados y ofreciendo cada uno un campo de visión del orden de 10 °.

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

Sin embargo, las soluciones antes mencionadas y propuestas actualmente no permiten resolver las dificultades y limitaciones fundamentales vinculadas a la monitorización de la LEO, es decir

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

- necesidad de una readquisición frecuente (cada pocos días) de cada objeto, y actualización de sus parámetros orbitales con el fin de mantener una precisión de parámetros orbitales que se pueda explotar, especialmente con respecto a la evaluación operacional de los riesgos de colisión,

20 - detectabilidad de los objetos interdependientes de la ubicación geográfica del sistema óptico y de las órbitas (inclinación en particular) de los objetos, vinculada con sus condiciones de iluminación,

- observación óptica vinculada con las condiciones meteorológicas locales (nebulosidad)

Debido a estas limitaciones, la monitorización de la LEO también requiere que los sistemas ópticos específicos tengan muy buena sensibilidad, con una excelente resolución y un gran campo de visión.

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

30 Por otra parte, el principio de la vigilancia no prevé el seguimiento de objetos. Por lo tanto, durante la observación de la LEO, las largas duraciones de integración no mejoran la detectabilidad de un objeto, evaluada con respecto a la relación señal a ruido en cada píxel iluminado, ya que en el caso de integración clásica (la segunda) el objeto atraviesa varios píxeles del sensor (sensor CCD) en la duración de la integración, penalizando no solo la determinación de la posición y su datación, e integrando ruido y, por lo tanto, degradando la relación señal a ruido una vez atravesado el píxel.

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

Finalmente, los telescopios de gran campo siguen siendo limitados, como es especialmente conocido del documento US 2009/009897 o del documento EP 1 772 761.

40 Otros ejemplos de telescopios se dan en los documentos. US 7 045 774, US 2007/0188610 y US 2009/0015914, y del artículo «*Multi-objective transforming telescope for wide-field Optical monitoring of the sky with high-temporal resolution*» de Grigory Beskina, Proc. de SPIE Volumen 7733.

En vista de esta situación, la invención consiste en realizar un sistema en tierra de vigilancia de la LEO el cual implemente medios ópticos distribuidos sobre la superficie de la Tierra con el fin de detectar estos objetos presentes en la órbita baja <2000 km sin conocerlos a priori y proporcionar una primera estimación de sus parámetros orbitales.

45 Por tanto, la invención tiene por objetivo definir un sistema en tierra de vigilancia de la LEO basado en soluciones ópticas exclusivamente pasivas las cuales proporcionen, a un coste competitivo con respecto a las soluciones radar (factores 2 a 10), comportamientos comparables, es decir:

- una cobertura equivalente de la población de objetos en la 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, es decir, una duración típicamente de revisita que permite detectar el 95 % de los objetos de más de 10 cm.

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

- 5 Por tanto, la invención se refiere al seguimiento de la LEO mediante tecnología óptica y a las soluciones de implementación de este seguimiento.

La invención está definida por las reivindicaciones.

Otras características y ventajas serán evidentes con la lectura de la siguiente descripción de un ejemplo de realización no limitativo de la invención con referencia a los dibujos que representan:

- 10 - en la Figura 1: un ejemplo de implantación de sistemas ópticos con base en 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 la zona del cielo escaneada por este sistema.

- 15 En el contexto de la invención, para realizar la malla se define, utilizando un medio informático de simulación de los comportamientos y posiciones de los sistemas ópticos, una configuración del sistema consistente en una puesta en red adaptada de sistemas ópticos en tierra, según la dicha malla o una aproximación de la dicha malla sobre la superficie del Globo o superficie del planeta, para ofrecer un ciclo diario eficaz del sistema cerca de 24 horas, es decir una cobertura continua del entorno completo del planeta de manera continua.

- 20 Se define mediante el ángulo de fase (el ángulo de fase es en astronomía el ángulo entre el sol, el objeto observado y el observador, o más generalmente el ángulo entre el rayo de luz incidente y el rayo reflejado) y la posición del sol y mediante la simulación de las condiciones (zona por cubrir, momento del día, etc.) de observación específicas para cada sistema óptico con base en su ubicación geográfica, para asegurar a cada sistema óptico una iluminación óptima de los objetos por detectar.

- 25 Se utilizan, por ejemplo, para los sistemas ópticos detectores pasivos de gran campo, superior a 5 ° o preferiblemente superior a 10 ° y adaptados para detectar los objetos de la zona examinada.

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

Luego, se optimizan las condiciones de examinación de las zonas del cielo mediante los sistemas ópticos, de modo que cubran la zona de observación de 4 a 6 veces más rápido que la velocidad de tránsito de los objetos por detectar.

- 30 En el ejemplo de realización, la malla se realiza mediante simulación según uno u otro de los métodos de más abajo o según una combinación de estos métodos.

Las etapas comunes para los dos métodos son

- 35 - Una preselección de un conjunto de sitios candidatos, seleccionados entre los sitios accesibles (presencia de infraestructura tipo acceso, electricidad, comunicación, y calidad del cielo favorable para la observación óptica) y en base a un análisis del problema de visibilidad:

objetos en órbita altamente inclinada ($\sim 80^\circ$; 120°) mejor visibles desde las latitudes elevadas ($>50^\circ$ N o S),

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

objetos en órbita débilmente inclinada ($<\sim 30^\circ$) mejor visibles desde las latitudes cercanas a los trópicos y subtrópicos,

- 40 - Una selección de sitios que ofrezcan, en la medida de lo posible, una separación en longitud alrededor de 20° o menos, mediante el cálculo del desajuste medio en longitud de la traza en tierra de las órbitas bajas en dos órbitas sucesivas (aproximadamente 20° , lo cual corresponde a la velocidad de rotación de la Tierra de 15° por hora - y el periodo de la órbita a 500 km, aproximadamente 90 min).

- 45 - Una utilización de un simulador informático al menos capaz de simular la estrategia de observación de las estaciones, las condiciones de iluminación que deben cumplirse para que los objetos orbitales sean detectables, y la evolución a lo largo 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 episodios de visibilidad a lo largo 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 de inicio de la visibilidad, duración de la visibilidad, identificación del sitio de visibilidad, evaluación de todos los episodios de visibilidad, si se verifican las condiciones de detección (duración de visibilidad mínima necesaria para efectuar una primera determinación de la trayectoria, función de la órbita del objeto).

5 Partiendo de estas etapas comunes, el método número 1 incluye

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

10 - una búsqueda con base en los resultados del subconjunto mínimo de estaciones que garantiza que la porción de objetos objetivo (por ejemplo, el 98 % de la población de referencia) será catalogable en una duración mínima objetivo (por ejemplo, 1 mes).

Para que sean catalogables, los objetos deben ser vistos al menos una vez cumpliendo las condiciones de detección en el plazo fijado y la búsqueda de mínimo podrá ser realizada mediante la utilización de un algoritmo de búsqueda de mínimo clásico.

15 El método nº 2 incluye una simulación de los episodios de visibilidad en toda la población de referencia para un subconjunto preferido de sitios seleccionados mediante un criterio analítico (por ejemplo, según los criterios de facilidad de acceso, 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 cumpliendo las condiciones de detección, así como la duración de la convergencia, es decir, la duración del tiempo simulado necesario para alcanzar esta tasa de cobertura.

20 Esta simulación se completa mediante iteración, modificando el subconjunto de sitios preferidos mediante la agregación o eliminación de sitios, hasta obtener los comportamientos objetivo, por ejemplo, una tasa de cobertura del 98 % de la población de referencia, y una duración de convergencia, por ejemplo, de 1 mes.

25 Para la detección de los objetos, la invención prevé una medición de las series temporales de posición de los objetos que atraviesan las zonas examinadas mediante 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 examinada.

La utilización de tiempos de integración cortos es uno de los elementos innovadores de la invención.

30 En modo de vigilancia, no se puede seguir los objetos, ya que no se conoce su presencia a priori. Por lo tanto, se efectúan tomas de vistas en una posición de referencia fija durante el tiempo de exposición (o duración de la integración).

Por lo tanto, la sensibilidad (capacidad de ver una estrella o un objeto orbital con respecto al ruido de fondo) se define por la relación señal a ruido en cada píxel, definida por la fórmula simplificada:

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

Con:

35
$$\text{Señal} = \text{Flujo de Fotones} \times \text{Tiempo de Exposición}$$

$$\sum \text{Ruidos}^2 = \text{Ruido de Fotones}^2 + \text{Ruido de Fondo de Cielo}^2 + \sum \text{Ruidos Electrónicos}^2$$

$$\text{Ruido de Fotones} = \sqrt{\text{Señal}}$$

$$\text{Ruido de Fondo de Cielo} = \text{Flujo de Fotones de Fondo de Cielo} \times \text{Tiempo de Exposición}$$

40 La observación de astros lejanos se realiza en general compensando la rotación terrestre con el fin de conservar un cielo fijo en el campo de visión.

Luego, el astro de interés ilumina un conjunto de píxeles fijos. En estas condiciones, con el fin de aumentar la SNR (relación señal a ruido), es suficiente aumentar el tiempo de exposición con el fin de que, para un objeto que tenga una luminosidad determinada, la señal domine sobre los otros ruidos, especialmente el ruido de fondo de cielo.

5 Para la monitorización óptica de la órbita GEO, se encuentra la misma situación: los objetos allí están casi fijos con respecto al eje de visión en la tierra, y en este caso, también 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 son tiempos de exposición largos (o tiempos de integración) los cuales se utilizan, del orden de varios segundos a varios minutos.

10 En el contexto de la vigilancia de la órbita baja, el objeto no está fijo con respecto al eje de visión. Por lo tanto, su imagen se desplaza sobre el CCD. Cada píxel del CCD solo se ilumina por la señal durante el tiempo que atraviesa este píxel por la imagen del objeto. Sin embargo, cada píxel del CCD está iluminado por el ruido de fondo sobre la totalidad del tiempo de exposición.

15 Por tanto, según la presente invención, con el fin de maximizar la SNR, se fija un tiempo de exposición cercano a la duración de tránsito del objeto en el campo del píxel. Sin embargo, en la 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 píxel), y la órbita del objeto (velocidad angular más pequeña a gran altitud) este tiempo de tránsito es del orden de unos pocos milisegundos de unos pocos cientos de milisegundos.

Por lo tanto, se eligen tiempos de exposición (o de integración) inferiores a cien milisegundos los cuales permitan obtener el nivel de señal a ruido máximo posible.

20 El tiempo de exposición ideal se selecciona mediante el cálculo del resultado del enlace fotométrico teniendo en consideración las órbitas preferidas, las diferentes configuraciones 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 objetivo (tamaño y albedo mínimos).

25 Esto corresponde a realizar un análisis de sensibilidad a los diferentes parámetros que permita definir la configuración de observación y la configuración instrumental más adaptada.

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 tamaño pequeño.

30 Las imágenes tomadas durante el tránsito de los objetos se procesan teniendo en cuenta el posicionamiento del sistema óptico por medio de un sistema informático de procesamiento de imágenes para extraer las posiciones fechadas de los objetos que atraviesan el campo.

35 Además, agregando a cada sistema óptico de vigilancia un sistema de seguimiento dedicado, realizado por ejemplo, con ayuda de un telescopio de campo clásico motorizado y controlado por un sistema informático de seguimiento conectado al sistema informático del sistema óptico de vigilancia, se adquiere, con base en la designación realizada por el sistema de vigilancia, mediciones de posición más numerosas y precisas que permitan obtener la precisión necesaria en la determinación de los parámetros orbitales de los objetos.

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

40 La puesta en red de los sistemas ópticos de vigilancia en tierra en la superficie del Globo o del planeta se realiza respetando las siguientes reglas:

se definen latitudes privilegiadas para los sistemas ópticos a partir de los tipos de órbita y, se prevé especialmente:

- los sistemas ópticos cercanos a la banda intertropical adaptados para monitorear las órbitas ecuatoriales inferiores a aproximadamente 30 °;
- 45 - los sistemas ópticos dedicados a las órbitas altamente inclinadas y polares superiores a aproximadamente el 60 % en latitudes de alrededor de 50 ° y más;
- los sistemas ópticos en latitudes de alrededor 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 de meteorología para obtener una duración máxima de revisita del sistema al menos igual a 2 días al 95 %.

5 Las condiciones de implementación local de la observación son tales que cada sistema óptico instalado en cada nodo de la malla examina únicamente zonas del cielo de unos pocos 10° a 40° , de preferencia de 20° a 40° , en azimut por encima de 35° y de elevación de 10° a 60° , de preferencia 20° a 60° , alrededor de azimuts que varían según la hora, la estación y la latitud, lo cual corresponde a una banda de ascensión recta fija, con base en los comportamientos deseados, es decir, la población de objetos LEO que deben cubrirse, la tasa de cobertura objetivo y la precisión del catálogo que se debe mantener.

10 Para hacer esto, los sistemas ópticos de vigilancia básica comprenden un dispositivo de captura de imágenes motorizado y controlado por un sistema informatizado de referencia y adquisición de imágenes.

Los sistemas ópticos de vigilancia básica de la red y sus medios de control están diseñados de modo que cubran la zona por observar con una frecuencia superior a 4 veces la duración mínima de tránsito de los objetos de la población objetivo en la zona del cielo examinada.

15 También se puede considerar en el contexto de la invención una versión de la técnica anterior para la cual los sistemas ópticos incluyen un telescopio de campo de $5^\circ \times 5^\circ$, esté hecha para escanear una zona del espacio.

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

20 Para hacer esto se procede mediante una corta integración en un campo fijo como se ha discutido más arriba con un mínimo de 3 puntos de medición para cada objeto que atraviesa la zona examinada, y se efectúa una determinación de las posiciones del objeto con respecto a las estrellas en el campo de visión, estando estas estrellas referenciadas al nivel del sistema informatizado de referencia local o de un sistema informático adicional eventualmente desviado al centro de control del conjunto de los sistemas de seguimiento de la red y que incluya una cartografía del cielo.

25 Las órbitas son entonces, de manera eventual, determinadas con precisión mediante la utilización de un sistema de seguimiento dedicado tal como el descrito más arriba el cual utiliza como datos de entrada las designaciones del sistema óptico básico descrito anteriormente.

30 En este contexto, se utiliza un algoritmo inspirado en los «sensores estelares» (*startracker* en inglés), que permite determinar en cada imagen tomada por el telescopio la posición del objeto orbital ya sea en ascensión recta y en declinación, o en azimut y elevación por medición relativa de su posición en la imagen con respecto a la posición de las estrellas, conocida de manera absoluta y muy precisa en el sistema que integra un: catálogo tal como, por ejemplo, el catálogo Hiparcos).

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

- identificación de las estrellas en cada imagen mediante análisis de patrones conocidos, a partir del conocimiento del eje de visión inexacto,
- 35 - identificación de los elementos brillantes los cuales no son estrellas,
- rastreo de los elementos brillantes los cuales no son estrellas en dos imágenes sucesivas con el fin de discriminar los objetos orbitales del ruido en la imagen,
- determinación para cada imagen de las coordenadas de los objetos orbitales identificados por medición de su posición (píxel central) con respecto a la posición de las estrellas.

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

Finalmente, la posición medida está fechada a partir de la fecha de la toma.

Para el posicionamiento de los sistemas ópticos, es necesario definir la malla y los nodos donde se encontrarán los sistemas ópticos.

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

Estas son típicamente para una banda en ascensión recta, que evoluciona 1° por día para compensar la revolución de la Tierra alrededor del sol, centrada en una ascensión recta que proporciona el ángulo de fase de iluminación más bajo posible, dependiendo de la altitud de los objetos.

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

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

- las órbitas altamente inclinadas y polares superiores a aproximadamente 60° solo son accesibles desde latitudes de alrededor de 60° y más.

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

Por lo que se refiere a la visibilidad de los objetos en longitud, la invención también consiste en monitorear las zonas del cielo donde habrá la probabilidad más alta de detectar los objetos.

Estas zonas cumplen entonces con los siguientes criterios:

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

15 - la monitorización se realiza de noche para el telescopio, pero para los objetos iluminados por el sol, de modo que maximice la relación señal a ruido.

- el ángulo de fase de los objetos por detectar se elige 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 lo tanto, con la hora local.

20 También se señala que la velocidad angular aparente de los satélites en la LEO es más baja a baja elevación que en el cenit, en un tiempo de exposición determinado, la sensibilidad es más baja en el cenit (excluyendo el efecto de la atmósfera).

25 La Figura 1 ilustra las zonas de observación que se definen de esta manera; representa una sección de la Tierra en latitud (según un paralelo) para la 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, las zonas 6 y 7 recubren 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 observa 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.

35 El análisis de las duraciones de revisita de cada punto del globo, teniendo en cuenta estas condiciones de visibilidad para toda la población LEO por detectar, demuestra que una malla de longitud proporciona en cada momento una banda de longitud donde se cumplen las condiciones de visibilidad.

Estos dos análisis en longitud y en latitud permiten definir una malla del globo que proporciona un ciclo eficaz diario del sistema cercano de 24 horas, para cada tipo de órbita, ofreciendo la cobertura y la duración de revisita requerida.

40 Tener en cuenta las estadísticas meteorológicas estacionales permite definir una tasa de redundancia necesaria: el análisis de las configuraciones meteorológicas revela una alta descorrelación de las condiciones de cobertura nubosa local para puntos separados por unos pocos cientos de kilómetros en el globo.

Por tanto, la adición a la malla de nodos en longitud proporciona una tasa de redundancia en cobertura que permite abstraerse globalmente de las condiciones meteorológicas locales.

Esto conduce al caso concreto mencionado a continuación de implementación de una red que comprende 15 sitios distribuidos en diferentes latitudes:

45 Los sitios en Europa continental (sur de España), en Asia central (en los sitios de observatorios astronómicos existentes), en Japón y Canadá (parte sur) permiten enfocarse en la mayoría de los objetos con una inclinación superior a 45° , detectando al mismo tiempo los objetos en órbita polar no SSO.

Los sitios en el Pacífico (Tahití, Islas Marquesas), en Chile (sitios del ESO), en África Oriental (Malindi), en Diego García en el Océano Índico y en la costa norte Australiana permiten cubrir las órbitas ecuatoriales, así como todas las otras órbitas (aunque ofrecen para estas últimas períodos de observación más cortos que en latitudes más altas).

5 Finalmente, los sitios ubicados en latitudes superiores a 60° (norte o sur) permiten detectar más particularmente los objetos en la órbita polar y SSO: Alaska (estación de tracking (seguimiento) de Poker-Flat, que contribuye a la red de tracking (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 parcialmente el efecto estacional el cual limita las posibilidades de observación.

10 En el contexto de la realización de un sistema de vigilancia y de seguimiento, cada estación está equipada con un sistema óptico de vigilancia y un telescopio de seguimiento.

15 Al nivel de las estaciones de vigilancia, para cada sistema óptico, se examinan las zonas predefinidas del cielo local con base en la hora de la noche y del día, correspondientes a una banda de ascensión recta fija que evoluciona 1° por día, proporcionando las condiciones de iluminación óptimas (ángulo de fase tipo $< 45^\circ$) según la latitud. En efecto, para los objetos en la LEO los períodos de visibilidad se limitan a algunas horas después del anochecer y antes del amanecer (variando la duración según la estación, la latitud, la inclinación y la altitud de los objetos), correspondientes a bandas de ascensión recta que proporcionan 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 ancho en azimut, azimut promedio, variando el ancho de banda según la latitud, la fecha, la hora y la altitud de la órbita, las cuales se sitúan al este y al oeste,

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

En la Figura 1 se proporciona una vista esquemática de las zonas cubiertas con base en la longitud.

25 Teniendo en cuenta una elevación mínima $>30^\circ$ para limitar la absorción de la atmósfera y una elevación máxima para limitar la velocidad de desplazamiento aparente, se define una zona del cielo por monitorear de manera preferencial, así como su evolución con base en la hora del día y las estaciones y para diferentes latitudes.

30 Como para cada altitud de órbita corresponde una zona de visibilidad más o menos amplia a una hora determinada, y cada altitud de órbita incluye poblaciones dispares (en inclinación, nodo ascendente, etc.), es difícil determinar teóricamente la zona del cielo ideal para monitorear. Con el fin de limitar esto último, se determina por simulación, con base en la hora y la estación, una zona en azimut donde la densidad de objetos que satisfacen las condiciones de visibilidad se respeta. El principio de simulación es simple: para un determinado 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 por varios días consecutivos y en las dos estaciones, integrando los movimientos relativos de los objetos y de la pareja Tierra/Sol. Se mide, con base en la hora, la zona del cielo local (en azimut y elevación) que incluye la densidad más alta de objetos que respetan las condiciones requeridas de iluminación.

35 Se afina la zona ideal mediante iteraciones con respecto a la densidad de malla que se desea obtener.

Para ello, se efectúa una primera definición de la zona del cielo por monitorear para diferentes latitudes y se modeliza en el simulador utilizado para definir la malla.

40 Se mide el comportamiento accesible mediante una red determinada y si el comportamiento obtenido es insuficiente o si la configuración de la red de estaciones se vuelve demasiado importante, se vuelve a evaluar la zona del cielo por monitorear para cada latitud mediante un nuevo análisis.

Esto se repite mediante iteraciones hasta que se obtiene un compromiso satisfactorio en términos de comportamiento y de coste.

Para examinar el cielo en el contexto de la presente invención, los sistemas ópticos clásicos no ofrecen un campo de visión suficiente.

45 El principio mantenido en la presente invención es tener un gran campo que pueda alcanzar 60° por 40° .

La combinación de campos mediante la adición de sistemas ópticos clásicos requiere un número de sistemas ópticos excluyente.

Asimismo, el escaneo de la zona del cielo mediante un conjunto de sistemas ópticos de campo clásico plantea problemas complejos, especialmente de sincronización de los sistemas y de movimientos parásitos de estos sistemas entre sí.

- 5 El principio de la invención es implementar, al nivel de cada sistema óptico, telescopios de campo medio y de alta sensibilidad sobre los cuales se posiciona un sensor, estando estos telescopios controlados juntos y reagrupados de modo que funcionen simultáneamente para ofrecer un amplio campo.

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

- 10 Sin embargo, la velocidad de la montura necesaria para la capa LEO es más importante.

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

- 15 En el ejemplo en el cual el campo del telescopio es del orden de 10 °, para la adquisición de imágenes, se utiliza una cámara tipo con sensor CCD en el plano focal del orden de 4000x4000 píxeles condicionada por la combinación de la distancia focal y del campo. Para un telescopio de campo de 5 °, el sensor CCD sería de 2000x2000 píxeles.

En resumen, el sensor de los telescopios es un sensor CCD que va desde 1000x1000 hasta 6000x6000 píxeles con un tiempo de lectura CCD inferior o igual a 2 segundos y un tiempo de exposición inferior a 100 milisegundos.

- 20 El tiempo de exposición resulta de un compromiso entre la recolección de la señal y la dispersión de la señal objeto sobre los píxeles para optimizar la relación señal a ruido. Un tiempo de exposición del orden de 64 ms, que dispersa la señal en aproximadamente una decena píxeles - según la altitud del objeto, proporciona un buen compromiso.

El dominio espectral es la luz visible y los objetos por monitorear que van desde la capa LEO hasta la capa GEO con una magnitud inferior que va hasta 13.

- 25 Los detectores pueden ser del tipo CCD, CMOS, SCMOS o EMCCD, pero el sensor preferido por su buena relación señal a ruido sigue siendo el sensor CCD iluminado por la parte posterior y refrigerado.

Se elegirá un telescopio de tipo TMA o de tipo Schmidt. El telescopio TMA es un telescopio anastigmático de tres espejos (TMA). Un tal telescopio está esquematizado en la Figura 2 con un espejo 13 primario convergente, un segundo espejo 14 divergente, un tercer espejo 15 y un detector 16.

- 30 El telescopio de tipo Schmidt es de tipo Schmidt plegado con apertura de f/1.6 con compensación de la ocultación central.

En el ejemplo de realización, el tamaño elegido es del orden de 80 cm de diámetro del espejo primario, lo cual permite alcanzar objetos de aproximadamente 10 cm en la LEO para objetos a una distancia de 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.

- 35 En términos absolutos, es el cálculo del resultado de transmisión lo cual permite optimizar el tamaño del telescopio unitario, así como toda la configuración óptica y operacional para un tamaño de objeto mínimo detectable deseado con base en la altitud.

- 40 Los telescopios están definidos de modo que ofrezcan un campo útil de 10 ° por 10 ° y está previsto reagrupar y controlar 6 telescopios para realizar un sistema de vigilancia básico.

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

Para los telescopios de 5x5 el campo recompuesto se reduce y el escaneo puede ser más grande.

Cada telescopio está montado en una montura rotativa programable para escanear una zona global que va hasta 60 ° en elevación por 40 ° en azimut.

- 45 La Figura 3 representa los telescopios 20-1 a 20-6 de un sistema básico orientado hacia la zona 21 del cielo escaneada en elevación 22 y en azimut 23.

La velocidad de desplazamiento de los telescopios es tal que cada objeto que atraviesa la zona escaneada se detecta tres veces de modo que obtenga como mínimo 3 mediciones de posición fechadas, idealmente distribuidas sobre el arco de tránsito del objeto en la zona del cielo para predeterminar la órbita.

- 5 Las imágenes se procesan con algoritmos de procesamiento de imágenes del tipo seguidor de estrellas los cuales permiten determinar la posición de los objetos en movimiento en el campo con respecto a las estrellas de fondo con una precisión angular del orden del IFOV (*instantaneous Field Of View*, es decir, campo de visión instantáneo): es decir, 5,85 segundos de arco.

Por tanto, las duraciones de tránsito en la zona definida son del orden de unos pocos minutos, según la población orbital por cubrir, siendo la duración más corta cuanto más baja sea la órbita.

- 10 El número de tomas de vistas necesarias para cubrir la zona considerada está directamente relacionado con el campo de visión del sistema óptico de amplio campo empleado.

La duración de la toma de vistas y, en particular, el tiempo de integración, combinado con los comportamientos de reposicionamiento del sistema óptico (y, en particular, su velocidad de desplazamiento y su duración de estabilización) y el número de tomas de vistas, condiciona la duración mínima del recorrido de la zona del cielo local por examinar.

- 15 Por lo tanto, se debe realizar un equilibrio entre este número de tomas de vistas, la duración máxima de recorrido de la zona del cielo por escanear, las características de las monturas del sistema óptico, su velocidad de reubicación, incluida la estabilización, y el tiempo de integración.

- 20 Con el fin de garantizar un muestreo de la zona del cielo por examinar que limite las pérdidas, el sistema óptico escanea esta zona como mínimo 4 a 6 veces más rápido que la duración de tránsito más pequeña de los objetos objetivo.

Esta restricción se suma a la restricción de tiempo de integración óptima para dimensionar los sistemas ópticos en términos de campo de visión y comportamiento de desplazamiento.

Las monturas ecuatoriales utilizadas permiten un desplazamiento en azimut de un campo al campo consecutivo en menos de un segundo, incluida la estabilización.

- 25 Los telescopios del sistema óptico escanean el cielo en una banda de 10 a 60 ° en elevación y de 10 a 40 ° en azimut, alrededor de 45 ° de elevación, centrados en una ascensión recta cercana al lado opuesto del sol (dependiendo de la latitud).

- 30 La banda escaneada se recorre mediante idas y vueltas sucesivas. Sus coordenadas tropocentricas evolucionan con el desplazamiento del sol a lo largo 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).

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

Según 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.

- 35 La detección de objetos en órbita LEO no es compatible con un seguimiento de objetos ya que no se conocen a priori y menos aún se conoce su trayectoria.

También los sistemas ópticos de vigilancia se mantienen fijos durante cada integración, observando una zona del cielo particular correspondiente a su campo de visión.

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

El número de telescopios por implementar en cada estación de vigilancia depende de los siguientes parámetros:

- Tamaño de la zona por monitorear en azimut y elevación: Az, El;
 - Velocidad angular aparente máxima de los objetos cuya detección se desea garantizar: Ws;
 - Lado del campo de visión angular de la configuración del telescopio elegida (se busca que el telescopio maximice el campo de visión conservando al mismo tiempo una sensibilidad suficiente): FOV;
- 45 - Velocidad de lectura de la CCD: Tro;

- Tiempo de exposición para cada imagen: T_i ;
- Velocidad angular de desplazamiento del telescopio para apuntar a otro campo: T_d ;
- Criterio de medición de los objetos con el fin de garantizar su detección:
- Número de imágenes sucesivas que deben garantizarse en un mismo campo de visión con el fin de implementar un rastreo eficaz: n ;

5 - Número de tomas de vistas de un mismo objeto, distribuidas en toda la zona monitorizada, necesarias con el fin de garantizar su detección y como mínimo una primera elaboración de sus parámetros orbitales: N .

10 Se considera que el tiempo de desplazamiento de un campo al otro es inferior al tiempo de lectura del sensor: $T_d < T_{ro}$, lo cual corresponde a los comportamientos actualmente conocidos de las monturas y de las CCD ($T_{ro} = 2s$ corresponde a las grandes matrices sensibles y rápidas). Por tanto, la reubicación del campo se realiza durante la lectura del sensor.

El sensor es especialmente una cámara CCD de 4096×4096 píxeles de $15 \mu m$, utilizada en binning 2×2 , siendo binning el término anglosajón para un procedimiento de combinación de las cargas de píxeles adyacentes en una cámara CCD durante la lectura, y el campo de visión es de $9^\circ \times 9^\circ$.

15 La frecuencia de medición está limitada por el tiempo de lectura de la cámara, en este caso: - 2s o bien una frecuencia de 0.5Hz.

Según la invención, para determinar el número de telescopios, se efectúan los siguientes cálculos:

$T_{campo} = n \times (T_{ro} + T_i)$: duración de procesamiento de un campo de visión constituido;

$T_{transito} = \frac{MIN(Az, EI)}{\omega}$: duración de tránsito más desfavorable de un objeto que atraviesa «realmente» (es decir, no en las esquinas) la zona monitoreada;

20 $T_{sistema} = \frac{T_{transito}}{N + 1}$: el sistema debe escanear al menos 4 veces la zona para estar seguro de que se tomarán 3 imágenes del objeto durante su tránsito;

$N_{camaras} \leq \frac{T_{campo}}{T_{transito}}$: las condiciones imponen un número máximo de campos por recorrer durante la duración de tránsito del objeto para garantizar que sea visto N veces;

25 $Tamaño_{campo} \geq \frac{Az \times EI}{N_{camaras}}$: determinación del tamaño mínimo de cada campo individual en el cual se efectuarán las tomas de vistas;

$N_{telescopios} \geq \frac{Tamaño_{campo}}{FOV^2}$: este campo debe estar constituido a partir de un determinado número de telescopios unitarios cuyo campo de visión sea FOV, calculado de esta manera.

Si en aplicación numérica se toma:

$n=2$: 2 vistas sucesivas en cada campo para garantizar el rastreo;

30 $N=3$: Mínimo 3 tomas de vistas en todo el recorrido del campo;

$Az = 60^\circ$; $EI=40^\circ$;

$T_{ro}=2s$: 2 segundos de tiempo de lectura de CCD;

$T_i=0.1s$: desde unos pocos milisegundos hasta 100 ms de tiempo de exposición;

$W_s= 0.52 \text{ }^\circ/s$: velocidad angular aparente de un satélite que evoluciona en una órbita a 600 km, visto a 60 ° de elevación;

$FOV= 10 \text{ }^\circ$: telescopio cuyo diseño ofrece un campo de visión de $10 \text{ }^\circ \times 10 \text{ }^\circ$,

- 5 el número mínimo de telescopios, N telescopio, debe ser superior a 5,24, es decir, un número óptimo de 6 telescopios de 10 ° , que permita cubrir una zona de $60 \text{ }^\circ \times 40 \text{ }^\circ$ alrededor de 60 ° de elevación garantizando al mismo tiempo la detección de objetos en órbitas a 600 km y superiores.

El escaneo es entonces un patrón configurable, optimizado con base en los estudios de rastreo y cobertura del cielo y garantizando un mínimo de dos imágenes en la misma posición de visión.

- 10 El desajuste angular entre dos imágenes del escaneo es tal que se tiene al menos un campo de visión en una de las direcciones, por optimizar con base en la elevación para limitar el recubrimiento (con base en los resultados de los estudios de rastreo y de cobertura del cielo).

Frecuencia de escaneo: limitada por el tiempo de lectura de la cámara y la velocidad de desplazamiento de la montura.

- 15 Como se ha visto más arriba, el sistema de vigilancia se puede complementar con un sistema de seguimiento cuyo objetivo es adquirir, con base en la designación realizada por el sistema de vigilancia, mediciones de posición más numerosas y precisas con el fin de lograr la precisión requerida en la determinación de los parámetros orbitales.

El sistema de seguimiento se basa en los telescopios clásicos, de alta sensibilidad y de un campo de visión estándar del orden de 1 ° .

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

20

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de vigilancia espacial y de detección de desechos en la órbita baja desde 200 km hasta 2000 km de altitud caracterizado porque utiliza un sistema óptico que incluye una matriz de $N \times P = 3 \times 2$, es decir, seis telescopios que ofrecen un campo útil de 10° por 10° , estando los telescopios montados en una o más monturas motorizadas y estando controlados juntos y reagrupados de modo que funcionen simultáneamente para ofrecer un campo recompuesto de 30° en elevación por 20° en azimut, para el cual cada telescopio está acoplado a un sensor de imagen de sensibilidad adaptado a un tiempo de integración del orden de magnitud de 10 a 100 milisegundos definido para obtener una dispersión de la señal sobre varios píxeles y para los cuales la velocidad de desplazamiento de las monturas de los telescopios está definida para que el sistema óptico escanee una zona global de observación que va hasta 60° en elevación por 40° en azimut a una velocidad angular como mínimo de 4 a 6 veces más elevada que la velocidad de tránsito de los desechos objetivo en la zona global de observación de modo que cada desecho que atraviese la zona global de observación sea detectado al menos tres veces con el fin de obtener como mínimo 3 mediciones de posición fechadas distribuidas en el arco de tránsito de los desechos en la zona global de observación.
- 10
- 15 2. Procedimiento de vigilancia espacial según la reivindicación 1 caracterizado porque el tiempo de exposición está definido para obtener una dispersión de la señal en una decena de píxeles.
3. Procedimiento de vigilancia espacial según la reivindicación 1 o 2, para el cual las monturas están conectadas a medios de control comunes adaptados para controlar las monturas juntas en azimut y elevación.
- 20
4. Procedimiento de vigilancia espacial según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para el cual el tiempo de desplazamiento de un campo recompuesto al otro es inferior al tiempo de lectura del sensor $T_d < T_{ro}$, realizándose una reubicación del campo durante una lectura del sensor.
- 25 5. Sistema óptico para un sistema de vigilancia espacial adaptado operacionalmente a la implementación del procedimiento de vigilancia espacial según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, para el cual los sensores de los telescopios son sensores CCD de 1000×1000 a 6000×6000 píxeles con un tiempo de lectura CCD inferior o igual a 2 segundos.
- 30 6. Sistema óptico según la reivindicación 5, para el cual los dichos telescopios son de tipo TMA.
7. Sistema óptico según la reivindicación 5, para el cual los dichos telescopios son de tipo Schmidt plegado.
8. Sistema óptico según la reivindicación 7, para el cual los dichos telescopios son de tipo Schmidt plegado con apertura $f/1.6$ con compensación de la ocultación central.
- 35 9. Sistema óptico según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, para el cual los sensores son cámaras CCD de 4096×4096 píxeles de $15 \mu\text{m}$, utilizadas en binning 2×2 .

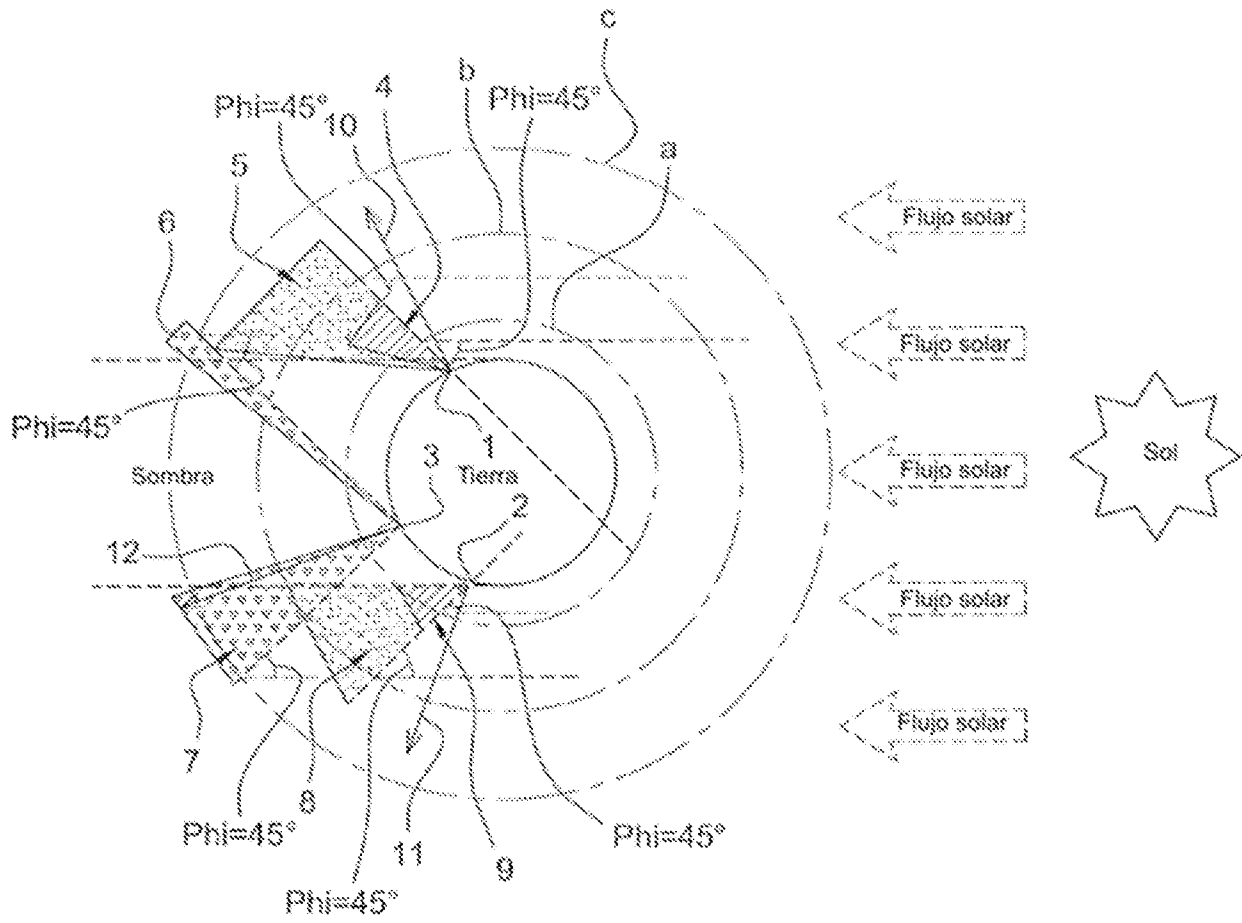


Fig. 1

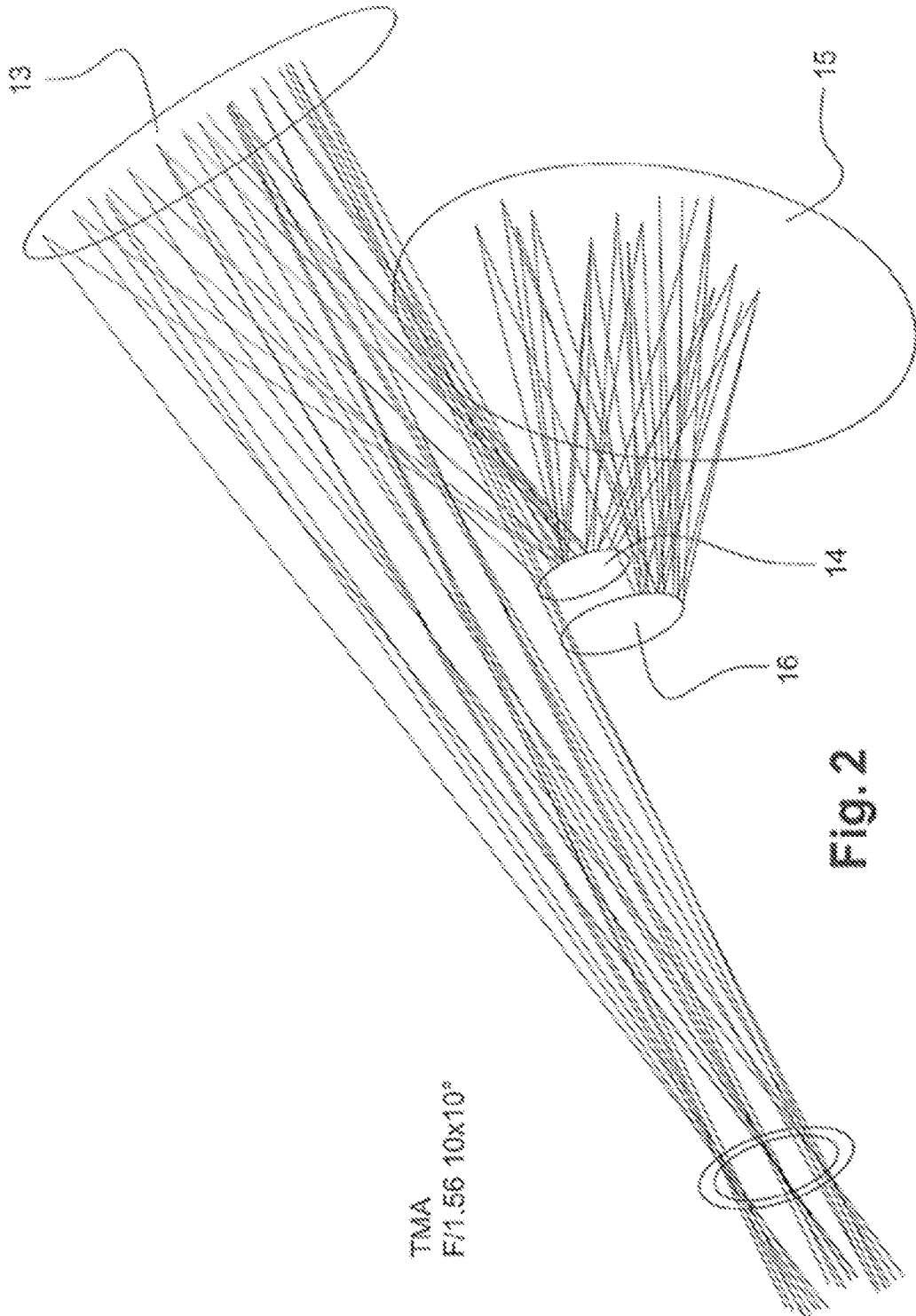


Fig. 2

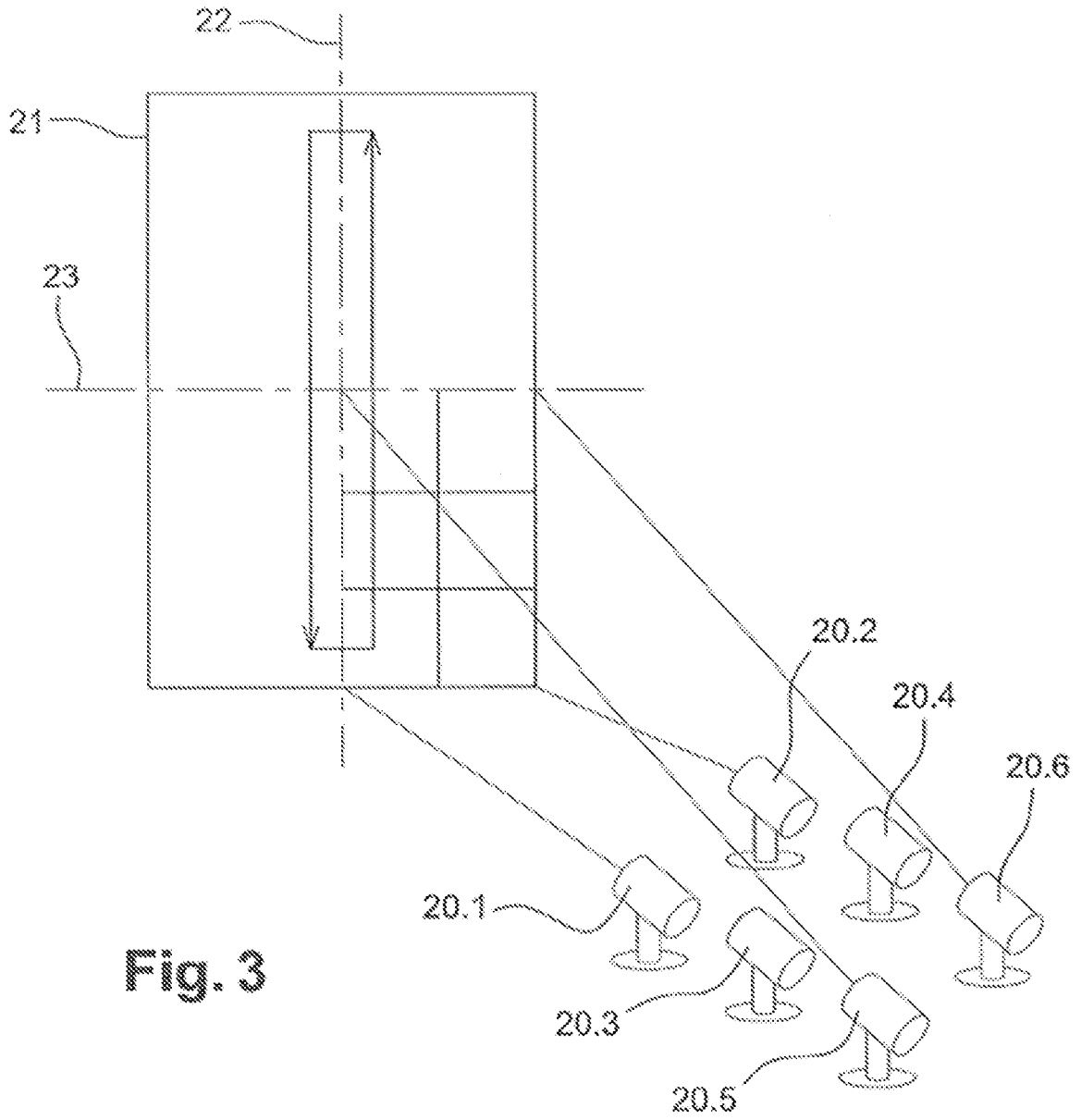


Fig. 3