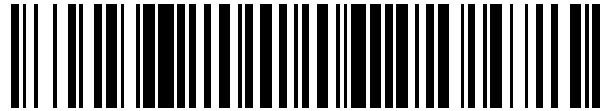


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 529 185**

51 Int. Cl.:

**G01S 5/16** (2006.01)

**G01S 3/783** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2007** **E 07107090 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.11.2014** **EP 1986018**

54 Título: **Determinación de la posición y de la orientación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**17.02.2015**

73 Titular/es:

**ALCATEL ALENIA SPACE ITALIA S.P.A. (100.0%)  
VIA SACCOMURO 24  
00131 ROME, IT**

72 Inventor/es:

**CESARE, STEFANO y  
PISANI, MARCO**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 529 185 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

Determinación de la posición y de la orientación

5 La presente invención se refiere a un aparato y a un método para determinar la disposición relativa de una pluralidad de objetos. En particular, la invención se refiere a la determinación de la posición relativa y la orientación de dos cuerpos, por ejemplo, dos satélites en una disposición de vuelo en formación.

10 En cualquier misión espacial basada en una formación de dos o más satélites, es necesario medir la posición relativa y la altitud de cada par de satélites para conocer y/o controlar la geometría de la formación. Los términos altitud y orientación términos utilizan indistintamente en este documento.

15 Un sistema conocido para la medición de la distancia relativa de un par de satélites utiliza láser que varía basado en el tiempo de medición de vuelo. La precisión que se puede alcanzar es del orden de un milímetro. La precisión de la medición de distancia proporcionada por un sistema de este tipo se puede mejorar usando un interferómetro alimentado por radiación láser que tiene una longitud de onda sintética creada por la superposición de dos haces láser con frecuencias ligeramente diferentes. Si la longitud de onda sintética es más larga que la precisión de medición proporcionada por el tiempo de la técnica de vuelo, entonces el interferómetro de longitud de onda sintética puede mejorar la precisión de medición de la distancia al orden de algunos micrómetros.

20 Sin embargo, tales sistemas conocidos no miden la posición a lo largo de los ejes transversales a la línea que une los dos satélites ni la altitud relativa de los dos satélites. Las medidas de altitud relativa usualmente se obtienen utilizando rastreadores de estrellas instalados en los dos satélites. Por lo tanto, se requieren dos sistemas de medición separados, uno para medir la distancia y otro para la medición de la orientación. Además, el uso de rastreadores de estrellas estándar no proporciona una precisión de medición en el nivel de 1 segundo de arco, y también requiere que una medición separada se realiza en cada satélite y que al menos uno de los satélites transmite los resultados de la medición al otro, de modo que los resultados obtenidos por los dos satélites se pueden comparar y se puede calcular la orientación relativa de los satélites.

25 También se sabe cómo medir la posición relativa y la altitud de dos satélites durante un procedimiento de encuentro o de acoplamiento. Normalmente, se proporcionan unos sensores de encuentro o de acoplamiento, en el que una cámara en un primer satélite mira un patrón de marcadores de referencia (retroreflectores o luces) proporcionadas en un segundo satélite. Una idea similar se divulga en el documento EP 0 537 623. El sistema se basa en el patrón, la posición y la separación de los marcadores de referencia en el segundo satélite que se conoce. Al comparar el patrón, la posición y la separación de la imagen de los marcadores de referencia que aparecen en el campo de visión de la cámara en el primer satélite con el patrón, la posición y la separación conocidos de los marcadores de referencia en el segundo satélite, se puede calcular la orientación relativa y la separación de los dos satélites. Este sistema tiene un rango de trabajo limitado, normalmente de 100 metros o menos, y proporciona una exactitud de medición que está lejos de lo que se necesita para una misión de vuelo en formación típica.

30 Es un objetivo de la presente invención, como se define mediante las reivindicaciones, proporcionar un aparato y un método mejorado, o al menos alternativo, para medir la disposición de un primer cuerpo respecto a un segundo cuerpo, por ejemplo, un primer satélite respecto a un segundo satélite. En ciertos aspectos, la invención proporciona la medición de la posición en 3D de un primer satélite respecto a un segundo satélite, y, en particular, la medición de los dos ángulos de rotación que definen la orientación de uno respecto a otro satélite alrededor de los dos ejes ortogonales a la línea de que une los dos satélites. En algunos aspectos de la invención, el ángulo de rotación alrededor de la línea que une los dos satélites se determina mediante el uso adicional de analizadores de polarización, aunque la determinación de ese ángulo es por lo general menos crítica para aplicaciones que implican formaciones de satélites que determinan los otros parámetros que representan la posición relativa y la orientación de los dos satélites.

35 En ciertos aspectos preferidos de la invención, la posición relativa y la altitud de dos satélites en vuelo en formación se puede determinar con una precisión de al menos:

- 40 • 1 mm a lo largo de la línea que une los dos satélites, para una distancia relativa de ~ 100 m.
- 45 • 0,1 mm a lo largo de los ejes transversales a la línea que une los dos satélites
- 50 • 1 segundo de arco alrededor de los ejes transversales a la línea que une los dos satélites

55 En una primer aspecto independiente se proporciona un aparato para determinar una disposición relativa de un primera satélite y un segundo satélite, que comprende medios de detección en el segundo satélite para detectar la radiación transmitida desde el primer satélite, caracterizado por que los medios de detección comprenden una pluralidad de detectores, proporcionándose cada detector en una posición diferente respectiva conocida respecto al otro detector, de tal manera que en funcionamiento cada detector tiene una visión diferente de una fuente de radiación en el primer satélite, estando cada detector configurado para producir una respectiva señal de detección en respuesta a la radiación recibida desde la fuente.

Preferiblemente, el aparato comprende además medios de procesamiento configurados para procesar las señales de detección juntas dependiendo de la posición de cada detector respecto al otro detector.

En funcionamiento, la señal de detección recibida para cada detector respecto a la señal de detección obtenida para el o cada otro detector depende normalmente de la posición de los detectores entre sí, y de la disposición relativa del primer satélite y del segundo satélite. La posición de los detectores entre sí se conoce, y así la disposición relativa del primer satélite y del segundo satélite se puede determinar de manera eficiente mediante el procesamiento de las señales de detección juntas, teniendo en cuenta la posición de cada detector respecto al otro detector.

El procesamiento de las señales juntas puede comprender comparar directamente, combinar, ajustar a un modelo o de otra manera procesar juntas las señales de detección dependiendo de la posición de cada detector respecto al otro detector. Alternativamente, el procesamiento de las señales juntas puede comprender la realización de un proceso inicial o conjunto de procesos en la señal de detección para cada detector separado para producir una salida respectiva y luego combinar, comparar, ajustar a un modelo o procesar de otra manera juntas las salidas dependiendo de la posición de cada detector respecto al otro detector. El proceso inicial o conjunto de procesos pueden incluir, por ejemplo, uno o más de demodulación, promediado de la señal, y el ajuste a un modelo. Cada salida puede comprender, por ejemplo, el valor o valores de uno o más parámetros. Alternativa o adicionalmente, el procesamiento de detección de señales juntas puede comprender el procesamiento de la señal de detección de uno de los detectores y luego, el uso los resultados de ese procesamiento en el procesamiento de las señales de detección para el o cada otro detector, dependiendo de la posición del o de cada otro detector respecto a ese uno de los detectores.

Preferiblemente, los medios de procesamiento están configurados para procesar la señal de detección respectiva para cada detector en función de la posición del detector respecto a la posición del o de cada otro detector.

Los medios de procesamiento están configurados preferiblemente para obtener una medición de la disposición relativa del primer satélite y del segundo satélite desde el procesamiento conjunto de las señales de detección. La medición de la disposición relativa puede comprender al menos uno de una distancia relativa de separación del primer satélite y del segundo satélite, una posición del primer satélite con relación al segundo satélite, y la orientación del primer satélite con relación al segundo satélite. Preferiblemente, en funcionamiento, la posición relativa del primer satélite y del segundo satélite se define mediante un sistema de coordenadas cartesiano con ejes ortogonales, x y y z, centrados en el primer satélite o en el segundo satélite. Preferiblemente, el eje z se define como colineal con una línea que une el primer satélite y el segundo satélite y/o colineal con el eje central de un haz de la radiación transmitida desde el primer satélite. Preferiblemente, la orientación del primer satélite con relación al segundo satélite se define mediante los respectivos ángulos de rotación ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$ ) del primer satélite o del segundo satélite alrededor de cada uno de los ejes x, y y z.

Preferiblemente, los medios de detección son para la detección de un haz de radiación transmitida desde el primer satélite con un perfil de haz predeterminado, y los medios de procesamiento están configurados para comparar al menos una característica de la señal de detección respectiva recibida en cada detector con la perfil del haz predeterminado para determinar una posición relativa de cada detector respecto al haz.

El perfil del haz puede representar la variación de al menos un aspecto de la radiación transmitida con la posición a través del haz. Preferiblemente, el perfil del haz representa la variación de al menos un aspecto de la radiación transmitida en una dirección o direcciones ortogonales a la dirección de transmisión del haz. Preferiblemente, la fuente de radiación está incluida en el aparato y está dispuesta para producir un haz que proporciona radiación a cada uno de los detectores de forma simultánea.

Los medios de procesamiento pueden estar configurados para comparar al menos una característica de la señal de detección respectiva recibida en cada detector con el perfil del haz predeterminado para determinar una posición relativa de cada detector respecto al haz.

Esa característica es particularmente importante y, por lo tanto, en un aspecto adicional independiente, se proporciona un aparato para determinar un desplazamiento relativo de un primer objeto y un segundo objeto, que comprende: - una fuente de radiación en el primer objeto, para transmitir un haz de radiación hacia el segundo objeto; y medios de detección en el segundo objeto para detectar la radiación desde la fuente, caracterizado por que: - la fuente de radiación está configurada para transmitir el haz de radiación desde una posición conocida en el primer objeto con un perfil de haz predeterminado; los medios de detección comprenden una pluralidad de detectores, cada detector proporcionándose en una posición diferente respectiva conocida respecto al otro detector, de manera que cada detector tiene una visión diferente de la fuente de radiación, estando cada detector configurado para producir una señal de detección correspondiente en respuesta a la radiación recibida desde la fuente; y el aparato comprende además medios de procesamiento configurados para comparar al menos una característica de la señal de detección respectiva de cada detector con el perfil del haz predeterminado para determinar la posición relativa de cada detector respecto al haz.

- De este modo, se puede determinar el desplazamiento lateral del segundo satélite, o cuerpo, respecto al eje del haz. La al menos una característica puede comprender el valor de un parámetro representativo de un aspecto de la radiación. Los medios de procesamiento pueden estar configurados para comparar los valores relativos de los parámetros con el perfil, o para realizar un procedimiento de ajuste para ajustar los valores de los parámetros a los puntos en el perfil.
- Preferiblemente, la al menos una característica es representativa de la potencia de la radiación recibida, y el perfil del haz predeterminado es un perfil de la potencia transmitida como una función de la posición.
- El perfil puede representar la variación de la potencia transmitida como una función de la posición en una dirección o direcciones ortogonales a la dirección de transmisión. La al menos una característica puede comprender o derivarse de la amplitud de la señal de detección.
- El perfil del haz predeterminado puede tener la forma de una distribución gaussiana.
- Los medios de detección pueden comprender al menos tres detectores. Al proporcionar al menos tres detectores es posible determinar de forma inequívoca la orientación relativa y la posición en todas las direcciones del primer satélite y del segundo satélite mediante el uso de una sola fuente de radiación en el primer satélite. Preferiblemente, los medios de detección comprenden tres detectores.
- Los detectores pueden estar dispuestos en una disposición simétrica. La disposición de los detectores puede tener al menos un eje de simetría. Cada uno de los detectores puede estar en un vértice respectivo de un triángulo. Preferiblemente, cada uno de los detectores está en un vértice respectivo de un triángulo equilátero.
- Preferiblemente, cada detector es operable para distinguir entre la radiación recibida desde diferentes puntos en el campo de visión del detector. Cada detector puede comprender un área de detección y medios para identificar una parte del área de detección donde cae una imagen, por ejemplo, un punto de luz. Cada detector puede ser un detector de detección de posición (PSD). Alternativamente, cada detector puede comprender una pluralidad de elementos de detección, y el detector puede estar dispuesto de tal manera que la radiación de cada área en el campo de visión del detector puede caer en un elemento de detección respectivo en una relación uno a uno. Alternativamente, o adicionalmente, cada detector puede comprender medios para la exploración a través del campo de visión del detector para detectar la radiación de cada área en el campo de visión a su vez.
- Los medios de procesamiento pueden estar configurados para determinar, para cada uno de los detectores, al menos un parámetro de detección representativo de la posición de la radiación recibida desde la fuente de radiación en el campo de visión del detector, y para procesar los parámetros de detección dependiendo de la posición relativa de los detectores. De este modo, puede determinarse una medición de la disposición relativa del primer objeto y del segundo objeto.
- El al menos un parámetro de detección puede ser representativo de al menos una coordenada angular o por lo menos una coordenada lineal.
- Los medios de procesamiento pueden estar configurados para promediar los valores del o de cada al menos un parámetro a través de los detectores para obtener así una medición de la disposición relativa del primer objeto y del segundo objeto.
- Preferiblemente, para cada detector, el o cada parámetro de detección es representativa de un respectivo de un ángulo de co-latitud entre la trayectoria de la radiación desde la fuente de radiación y un eje de puntería del detector, y un ángulo de azimut entre la trayectoria de la radiación desde la fuente de radiación y un eje perpendicular al eje de puntería del detector.
- Los medios de procesamiento pueden estar configurados para determinar para cada detector,  $i$ , un ángulo de azimut  $\alpha_i$  entre la trayectoria de la radiación procedente de la fuente de radiación y un eje de puntería del detector, y los medios de procesamiento pueden configurarse para promediar los ángulos de azimut obtenidos desde los detectores. Preferiblemente, los detectores están dispuestos de tal manera que el promedio de los ángulos de co-latitud proporcionan el ángulo de co-latitud del primer satélite con relación al segundo satélite.
- Los medios de procesamiento pueden estar configurados para determinar, para cada detector  $i$ , un ángulo de co-latitud  $\beta_i$  entre la trayectoria de la radiación de la fuente de radiación y un eje perpendicular al eje de puntería del detector, y los medios de procesamiento pueden estar configurados para promediar los ángulos de co-latitud  $\beta_i$  obtenidos de los detectores. Preferiblemente, los detectores están dispuestos de tal manera que el promedio de los ángulos de co-latitud proporciona el ángulo de co-latitud del primer satélite con relación al segundo satélite.
- Los medios de procesamiento pueden configurarse para resolver numéricamente un conjunto de ecuaciones que vinculan los parámetros de detección para cada uno de los detectores con las coordenadas angulares que definen la posición relativa y la orientación del primer y segundo satélites lineales y para obtener valores para al menos una de

las coordenadas lineales y angulares.

Los medios de determinación pueden estar configurados para determinar, para cada detector,  $i$ , un ángulo de azimut  $\alpha_i$  entre la trayectoria de la radiación de la fuente de radiación y un eje de puntería del detector, y un ángulo de co-latitud  $\beta_i$  entre la trayectoria de la radiación de la fuente de radiación y un eje perpendicular al eje de puntería del detector, y los medios de procesamiento están configurados para resolver numéricamente el conjunto de ecuaciones (2) a (7) como se indica en el presente documento.

El procesador puede estar configurado para resolver numéricamente el conjunto de ecuaciones usando un procedimiento de ajuste, tal como un procedimiento de ajuste de mínimos cuadrados no lineales, o cualquier otro método para resolver sistemas de ecuaciones no lineales.

Preferiblemente, el aparato incluye la fuente de radiación en el primer satélite para la transmisión de la radiación desde el primer satélite al segundo satélite. La fuente de radiación puede estar configurada para generar la radiación o, de forma alternativa o adicionalmente, puede estar configurada para reflejar o guiar la radiación generada en algún otro lugar hacia el segundo satélite. La fuente de la radiación desde el punto de la vista del segundo satélite puede ser el punto o área en el primer satélite donde la radiación sale del primer satélite.

El aparato puede incluir medios para la modulación de la radiación. Preferiblemente, los medios de modulación están configurados para modular la amplitud de la radiación. Es particularmente ventajoso modular la radiación en el caso donde están presentes señales de radiación de fondo (por ejemplo, de luz del sol o de las estrellas directa o reflejada), ya que permite el rechazo de tales señales de fondo. Los detectores pueden comprender Detectores de detección de posición (PSD), y en ese caso la modulación de la radiación también es ventajosa porque puede deshacerse de los prejuicios y los ruidos de baja frecuencia característicos de este tipo de detectores y de sus aparatos electrónicos. El uso de la modulación/demodulación de la amplitud permite una reducción significativa en la relación de señal a ruido de los detectores de detección de posición a bajas frecuencias.

El aparato puede comprender además medios para determinar la modulación de la radiación, dependiendo de la señal de detección respectiva recibida en al menos uno de los detectores. Los medios para determinar la modulación pueden configurarse para determinar la frecuencia y la fase de la modulación. Los medios para determinar la modulación pueden estar configurados para combinar las señales de detección recibidas en los detectores para producir una señal combinada, y para determinar la modulación en función de la señal combinada.

Preferiblemente, los medios para determinar la modulación comprenden circuitos de bucle de bloqueo de fase

Los medios de detección pueden configurarse para demodular las señales de detección detectadas en los detectores en función de la modulación determinada mediante los medios de determinación de la modulación.

El aparato puede comprender además un polarizador en el primer satélite dispuesto de tal manera que la radiación emitida por la fuente de radiación está polarizada. Alternativamente o adicionalmente, el aparato puede comprender medios para determinar la polarización de la radiación recibida en los medios de detección y para determinar una orientación relativa de los dos satélites dependiendo de la polarización. Preferiblemente, se conoce la dirección de polarización del primer polarizador respecto a la orientación del primer satélite, y se conoce la orientación de los medios de determinación de la polarización en el segundo satélite. Por lo tanto, la orientación relativa del primer y segundo satélites alrededor de un eje que une el primer satélite y el segundo satélite se puede determinar mediante el análisis de la polarización de la radiación recibida en los medios de detección.

Preferiblemente, la distancia entre los satélites es menor o igual a 150 km, preferiblemente menor o igual a 100 km, y más preferiblemente menor o igual a 50 km. Preferiblemente, la distancia entre los satélites es mayor o igual a 100 m, preferiblemente mayor o igual a 1 km, y más preferiblemente mayor o igual a 10 km. Preferiblemente, la distancia entre los satélites es entre 10 m y 10 Km.

La fuente de radiación puede comprender una fuente láser. La radiación puede ser radiación láser. Preferiblemente, la radiación tiene una frecuencia en el intervalo de 250 THz a 1000 THz. La radiación puede tener una sola frecuencia. La fuente de radiación está configurada para transmitir la radiación de una potencia en el intervalo de 1 mW a 1 W. Preferiblemente, los detectores están configurados para detectar la radiación que tiene una potencia en el intervalo de 0,1 micro W a 0,1 mW.

En un aspecto adicional independiente de la invención, se proporciona un método para determinar una disposición relativa de un primer satélite y un segundo satélite, que comprende la transmisión de la radiación desde el primer satélite al segundo satélite; y detectar la radiación en el segundo satélite, caracterizado por que el método comprende además proporcionar una pluralidad de detectores, estando cada detector dispuesto en una respectiva diferente posición conocida respecto al otro detector, de manera que cada detector tiene una visión diferente de la fuente de radiación, estando cada detector configurado para producir una señal de detección correspondiente en respuesta a la radiación recibida desde la fuente; y procesar las señales de detección juntas dependiendo de la posición de cada detector respecto al otro detector.

Cualquier característica en un aspecto de la invención se puede aplicar a otros aspectos de la invención, en cualquier combinación adecuada. En particular, las características del aparato se pueden aplicar a las características del método y viceversa.

5 Las realizaciones de la invención se describirán ahora, solamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una ilustración esquemática del aparato de acuerdo con la realización preferida;

10 La figura 2 es un diagrama esquemático de los circuitos utilizados para demodular las señales recibidas en los detectores del aparato de la figura 1;

La figura 3 es una ilustración esquemática de una parte de formación del detector del aparato de la figura 1;

La figura 4 es un gráfico de la intensidad respecto al desplazamiento lateral, que muestra la variación en la intensidad a través de la anchura de un haz de radiación transmitido por el aparato de la figura 1, de acuerdo con un modo preferido de operación; y

15 La figura 5 es una ilustración esquemática de una variante del aparato de la figura 1, que incluye un divisor de haz de polarización.

Un aparato para la medición de la posición relativa y la altitud de un primer satélite 2 y un segundo satélite 4 según la realización preferida se muestra esquemáticamente en la figura 1.

20 Una fuente de radiación en forma de un emisor de haz de láser está montada en el primer satélite 2, y se compone de una fuente de láser 6 acoplada a una fibra óptica 8 de un solo modo, que a su vez está acoplada a un sistema óptico 10. En la realización preferida, la salida del emisor de haz de láser está modulada en amplitud utilizando un oscilador (no mostrado).

25 Un sistema de detección está montado en el segundo satélite 4 y comprende tres detectores 11, 13, 15 cada uno de los cuales está colocado en el plano focal de un respectivo telescopio 12, 14, 16. La figura 1 incluye una vista plana 17 en una dirección ortogonal a la cara del segundo satélite 4 y se puede observar que los tres telescopios 12, 14, 16 están situados en los vértices de un triángulo equilátero 18 centrado en el origen O' del satélite 2 (a continuación indicaremos como  $d$  la distancia de cada telescopio desde O'). Por lo tanto, cada uno de los telescopios 12, 14, 16, y a su vez cada uno de los detectores 11, 13, 15, tiene una visión diferente del primera satélite 4. Se puede observar que la vista desde cada telescopio 12, 14, 16 depende de la posición relativa y de la orientación de los satélites.

30 Los detectores 11, 13, 15 y sus circuitos asociados se muestran con más detalle en la figura 2. Cada uno de los detectores 11, 13, 15 es un detector de detección de posición (PSD) y está situado en el plano focal de un telescopio 12, 14, 16 respectivo. Cada detector 11, 13, 15 comprende una estructura de fotodiodo de cuatro electrodos que tiene un área de detección bidimensional.

35 La fotocorriente generada por el fotodiodo en respuesta a un punto de luz recibido en la respectiva área de detección depende de la potencia óptica transportada por la luz, dependiendo las porciones de fotocorriente que fluyen a través de los cuatro electrodos de la posición del punto de luz sobre el área de detección.

40 La señal a través de dos de los cuatro electrodos es representativa de la posición en la dirección  $x_i$  del punto de luz en el área de detección en un marco de referencia local, referido como el marco de referencia del telescopio. La señal a través de los otros dos de los cuatro electrodos es representativa de la posición en la dirección  $y_i$  del punto de luz en el área de detección en el marco de referencia local.

45 Las salidas del PSD y el circuito electrónico de extremo frontal asociado proporcionan tres cantidades: la potencia de la luz recogida por el telescopio y focalizada en el detector (representada por la suma de las salidas de los cuatro electrodos del PSD) y las coordenadas ( $\xi_{ix}$ ,  $\xi_{iy}$ ) del punto de luz focalizado en el área de detección en el marco de referencia del telescopio. El punto de luz es la imagen del haz láser formado en el área de detección.

50 Cada punto del área de detección bidimensional corresponde a una dirección de visualización en el campo de visión del telescopio en una relación de uno a uno. Cada detector 11, 13, 15 está conectado a un procesador que procesa las señales de salida desde los detectores representativos de la radiación detectada por los detectores, a través de respectivos circuitos electrónicos de extremo frontales 26, 28, 30.

55 Teniendo en cuenta los circuitos electrónicos de extremo frontales 30 para uno de los detectores 13, el circuito electrónico 30 tiene una salida 42 para una señal, referida como la señal  $x_2$ , representativa de la coordenada  $x$  de la posición del punto de luz en el área de detección del detector 13, una salida 48 para una señal, referida como la señal  $y_2$ , representativa de la coordenada  $y$  de la posición del punto de luz sobre el área de detección del detector 13, y una salida 36 para la señal sumada que es una suma de las señales de  $x_2$  y  $y_2$ , y es representativa de la potencia del haz de luz recibido.

60 Los circuitos electrónicos 26, 28 para los otros detectores 11, 15, 38, 40 tienen salidas para las señales  $x_i$  representativas de la posición del punto de luz en la dirección  $x_i$  en el marco de referencia del telescopio respectivo,

salidas equivalentes 44, 46 representativas de las señales  $y_i$  de la posición del punto de luz en la dirección  $y_i$  en el respectivo sistema de referencia del telescopio, y salidas equivalentes 32, 34 para las señales sumadas, para los detectores 11, 15.

5 Cada salida 32, 34, 36 para las señales sumadas está conectada a un amplificador sumador 50, que está conectado a su vez a los circuitos de bucle de bloqueo de fase 52, que comprenden un mezclador 54, un amplificador 56 y un oscilador de tensión controlada 58.

10 Volviendo a la consideración de los circuitos electrónicos de extremo frontales 30 para uno de los detectores 13, en particular, se puede observar en la figura 2 que la salida 36 para la señal sumada está conectada a un mezclador 60, que la salida 42 para el señal  $x_2$  está conectada a un mezclador adicional 62, y la salida 48 para la señal que representa  $y_2$  está conectada a otro mezclador 64. La salida del circuito de bucle de bloqueo de fase 52 está conectada a cada uno de los mezcladores 60, 62, 64.

15 Cada una de las salidas de los circuitos electrónicos de extremo frontales 26, 28 para los otros detectores 11, 15 también está conectada a los respectivos mezcladores adicionales (no mostrados) de la misma manera como se ilustra en la figura 2 para los circuitos electrónicos de extremo frontal 30 para el detector 13.

20 Las salidas de los mezcladores 60, 62, 64 y las salidas de los mezcladores adicionales (no mostrados) están, cada una, conectada al procesador (no mostrado).

En funcionamiento, la fuente de radiación situada en el primer satélite 2 emite un haz láser 5 que ilumina el segundo satélite 4, donde se observa mediante tres detectores 11, 13, 15, comprendiendo cada uno un telescopio 12, 14, 16.

25 En la realización preferida, el emisor de haz láser genera un haz 5 con una divergencia suficiente para iluminar cada uno de los telescopios 12, 14, 16 situados en el satélite 2 y con una distribución de energía gaussiana "limpia" (es decir, sin ondas generadas por un truncamiento de haz inadecuado u otras aberraciones) a través de cada una de sus secciones transversales. Esto se consigue mediante el uso como emisor de luz de la salida de la fibra óptica de modo único 8 acoplada a la fuente láser 6, como se mencionó anteriormente. En realizaciones alternativas, se  
30 utilizan filtros espaciales en la salida de la fuente láser.

El haz láser 5 emitido por el emisor del haz de láser modula la amplitud, como se mencionó anteriormente, y la relación de señal a ruido de la detección del haz láser mediante detectores sensibles de posición se incrementa en la realización preferida mediante la demodulación de la salida de los detectores sensibles de posición a la frecuencia de modulación. Esto es particularmente ventajoso, ya que los detectores sensibles de posición operan bajo una gran presión y están sujetos a ruido de baja frecuencia. El uso de la amplitud de modulación/demodulación produce un aumento significativo en la relación de señal a ruido en los detectores sensibles de posición y permite el rechazo de las señales de fondo (por ejemplo, luz del sol o de las estrellas directa o reflejada).

40 Como se describió anteriormente, los circuitos electrónicos de extremo frontales 26, 28, 30 para cada uno de los detectores 11, 13, 15 emite una señal  $x_i$  representativa de la coordenada  $x_i$  (en la salida 38, 40, 42) y una señal  $y_i$  representativa de la coordenada  $y_i$  (en la salida 44, 46, 48) de la posición de la imagen del haz de láser en el área de detección respectiva, de acuerdo con el marco de referencia del telescopio respectivo. Cada conjunto de circuitos electrónicos de extremo frontales 26, 28, 30 también emite una señal representativa sumada de la potencia recibida desde la imagen del haz láser en una salida sumada 32, 34, 36 respectiva.

50 Cuando el haz láser 5 se modula en amplitud a una frecuencia de modulación,  $x_i$ ,  $y_i$ , y la salida de las señales sumadas mediante los circuitos electrónicos de extremo frontal también se modulan en esa frecuencia de modulación.

Para demodular la salida de señales mediante los circuitos electrónicos de extremo frontal, el circuito de bucle de bloqueo de fase 52 mostrado en la figura 2 se utiliza para generar una señal de referencia que se utiliza para demodular las señales en el conjunto de mezcladores 60, 62, 64 en el caso del detector 13 y en los mezcladores adicionales (no mostrados) en el caso de los otros detectores 11, 15.

55 En operación, cada señal sumada desde la salida de los detectores 11, 13, 15 en las salidas sumadas 32, 34, 36 a su vez se suma mediante el amplificador sumador 50 y la señal resultante se pasa a los circuitos de bucle de bloqueo de fase 52, incluyendo la tensión del oscilador 58 controlada. La señal que pasa a los circuitos de bucle de bloqueo de fase 52 representa la potencia media o total recibida a través de los detectores 11, 13, 15 y tiene una fase y frecuencia que es la misma que la fase y la frecuencia de la señal de modulación utilizada en el primer satélite 2 para modular el haz láser 5. El oscilador controlado por tensión 58 incluido en el circuito de bucle de bloqueo de fase 52 está, por lo tanto, sincronizado con el oscilador utilizado para modular la salida del emisor de haz láser en el primer satélite 2.

65 La salida del oscilador controlado por tensión 58 se utiliza como la señal de referencia y se pasa al conjunto de mezcladores 60, 62, 64, y a los mezcladores adicionales (no mostrados) para demodular las señales de salida de los

detectores.

Las señales de salida demoduladas del conjunto de mezcladores 60, 62, 64 y los mezcladores adicionales (no mostrados) pasan al procesador (no mostrado) para su posterior procesamiento y análisis. Por lo tanto, el procesador (no mostrado) recibe las señales demoduladas representativas de las coordenadas del punto de luz enfocado en cada detector, que a su vez es representativo de la posición del haz de luz emitido desde el primer satélite 2 en el campo de visión de cada telescopio, y también recibe una señal sumada demodulada para cada detector representativo de la potencia óptica recibida por ese detector.

El procesador está configurado para determinar la posición del primer satélite 2, en el campo de visión de cada telescopio. En particular, y con referencia a la figura 3, el procesador está configurado para determinar las coordenadas  $\xi_{iX}$ ,  $\xi_{iY}$  que identifican la posición de la imagen del haz láser en el área de detección situada en el plano focal de cada telescopio. Cada conjunto de coordenadas  $\xi_{iX}$ ,  $\xi_{iY}$  se determina respecto a un marco de referencia del telescopio (TRF,  $O_i$ ,  $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$ ) asignado a cada telescopio con origen en el centro de su plano focal y los ejes nominalmente alineados con  $O'X'Y'Z'$  ( $Z_i$  es el eje de puntería del telescopio  $S_i$ ).

Cada telescopio observa el haz láser 5 emitido por el satélite 2 desde un punto de vista diferente. A partir de los tres pares de coordenadas ( $\xi_{iX}$ ,  $\xi_{iY}$ ) que identifican la posición de la imagen del haz de luz en los planos focales de los tres telescopios 12, 14, 16, se obtiene el ángulo de co-latitud ( $\beta_i$ ) entre el haz de luz y el eje  $Z_i$  del telescopio y el ángulo de azimut ( $\alpha_i$ ) de la imagen en relación con el eje  $X_i$  mediante el procesador (ver la figura 3):

$$(1) \quad \alpha_i = \text{atan}\left(\frac{\xi_{iY}}{\xi_{iX}}\right), \quad \beta_i = \text{atan}\left(\frac{\sqrt{\xi_{iX}^2 + \xi_{iY}^2}}{F}\right),$$

donde  $F$  es la longitud focal del telescopio.

Los tres pares de ángulos ( $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ) medidos por los tres telescopios 12, 14, 16 se pueden relacionar con las coordenadas lineales y angulares ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ) que definen la posición de la fuente de radiación (y, por tanto, el primer satélite 2) respecto al segundo satélite 4 por medio de las siguientes ecuaciones (2) a (7), escritas en el supuesto de ángulos de rotación pequeños. En el siguiente análisis, el eje  $z$  se define como el eje central del haz láser 5 emitido por el primer satélite, y las coordenadas definen la posición de la fuente de radiación en el primer satélite 2 en relación con el origen  $O'$  en el segundo satélite 4. Las coordenadas  $X$  e  $Y$  representan los desplazamientos laterales en las dos direcciones ortogonales transversales al eje  $z$ , siendo  $\varphi$  el ángulo de orientación del primer satélite 2 respecto al segundo satélite 4 alrededor del eje  $x$ , y  $\theta$  es el ángulo de orientación del primer satélite 2 respecto al segundo satélite 4 sobre el eje  $y$ .  $\psi$  es el ángulo de orientación del primer satélite 2 respecto al segundo satélite 4 alrededor del eje  $z$ .

$$(2) \quad (r_1 \cdot \text{sen}(\beta_1))^2 = O_1O_X^2 + O_1O_Y^2, \quad (r_2 \cdot \text{sen}(\beta_2))^2 = O_2O_X^2 + O_2O_Y^2, \\ (r_3 \cdot \text{sen}(\beta_3))^2 = O_3O_X^2 + O_3O_Y^2,$$

$$(3) \quad O_1O_X \cdot \tan(\alpha_1) = O_1O_Y, \quad O_2O_X \cdot \tan(\alpha_2) = O_2O_Y, \quad O_3O_X \cdot \tan(\alpha_3) = O_3O_Y$$

con

$$(4) \quad O_1O_X = -d \cdot \cos(\Theta) - x - y \cdot \psi + z \cdot \theta, \quad O_1O_Y = d \cdot \text{sen}(\Theta) - y + x \cdot \psi - z \cdot \varphi, \\ O_1O_Z = -z - x \cdot \theta + y \cdot \varphi$$

$$(5) \quad O_2O_X = -d \cdot \cos(\Theta) - x - y \cdot \psi + z \cdot \theta, \quad O_2O_Y = -d \cdot \text{sen}(\Theta) - y + x \cdot \psi - z \cdot \varphi, \\ O_2O_Z = -z - x \cdot \theta + y \cdot \varphi$$

$$(6) \quad O_3O_X = d - x - y \cdot \psi + z \cdot \theta, \quad O_3O_Y = -y + x \cdot \psi - z \cdot \varphi, \quad O_3O_Z = -z - x \cdot \theta + y \cdot \varphi$$

$$(7) \quad r_i = \sqrt{O_iO_X^2 + O_iO_Y^2 + O_iO_Z^2}, \quad \Theta = 60^\circ$$



Para simplificar la solución del anterior conjunto de ecuaciones, el procesador en la realización preferida está configurado para explotar una medición independiente de cuatro de los seis grados de libertad (correspondientes a los tres desplazamientos angulares y a los tres desplazamientos laterales) que se pueden obtener a partir de la misma metrología óptica, a saber, los ángulos  $\varphi$ ,  $\theta$ , y los desplazamientos laterales  $x$ ,  $y$ . De hecho, a partir de los tres pares de coordenadas  $(\xi_{iX}, \xi_{iY})$  es posible calcular también los ángulos  $\theta_{iX}$ ,  $\theta_{iY}$  (véase la figura 3) como sigue:

$$(8) \quad \theta_{iX} = \text{atan}\left(\frac{\xi_{iY}}{F}\right), \theta_{iY} = \text{atan}\left(\frac{\xi_{iX}}{F}\right)$$

En la realización preferida, el procesador está programado para determinar los tres pares de coordenadas  $(\xi_{iX}, \xi_{iY})$  a partir de las señales de salida de los detectores y para calcular los tres pares de ángulos  $\theta_{iX}$ ,  $\theta_{iY}$ .

El procesador está programado entonces para calcular los ángulos de rotación  $\varphi$ ,  $\theta$  mediante el promedio de las tres mediciones angulares correspondientes:

$$(9) \quad \varphi = (\theta_{1X} + \theta_{2X} + \theta_{3X})/3, \theta = (\theta_{1Y} + \theta_{2Y} + \theta_{3Y})/3$$

La ecuación (9) es una aproximación. Cuanto más cerca están los satélites a su posición/alineación nominal, más precisa es la aproximación. En términos de los marcos de referencia de los dos satélites, más cerca está el origen O' del eje Z del marco de referencia OXYZ, y cuanto más cerca los ejes X'Y'Z' son paralelos a XYZ, más precisa es la aproximación.

Los desplazamientos laterales ( $x$ ,  $y$ ) se obtienen en la realización preferida a partir del desequilibrio de la potencia medida por los tres detectores 11, 13, 15, basado en el conocimiento de que la distribución de potencia de la sección transversal del haz láser tiene un perfil gaussiano establecido por la condición de emisión (tamaño y posición de la cintura del haz en la salida de la fuente de radiación en el satélite 2) y que el eje del haz láser (máximo de la gaussiana) es nominalmente coincidente con el eje z.

La posición de dos de los detectores 11, 13 en relación con el haz láser durante una medición se muestra esquemáticamente en la figura 4. La variación de la distribución de energía a través del haz láser como una función del desplazamiento lateral y se indica con una línea sólida 70, que tiene una forma gaussiana. La posición del eje del haz de láser, correspondiente al máximo de la distribución gaussiana se indica mediante la línea de puntos 72, y la posición del punto medio entre los detectores 11, 13 se indica mediante una línea sólida 74. Puede verse que los detectores 11, 13 tienen un desplazamiento lateral y respecto al eje del haz de láser y, por lo tanto, que la potencia recibida por uno de los detectores 11 es mayor que la potencia recibida por el otro de los detectores 13. La potencia recibida por cada uno de los detectores 11, 13 se indica esquemáticamente mediante las flechas sólidas 76, 78 que identifican la posición de cada detector respecto a la distribución de energía gaussiana del haz láser.

El procesador está configurado para determinar la potencia media,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , respectivamente, recogida mediante cada telescopio 12, 14, 16, y por lo tanto detectada por cada detector 11, 13, 15, desde la salida de señal sumada demodulada en la respectiva salida sumada 32, 34, 36.

El desplazamiento lateral  $y$  se obtiene mediante el procesador mediante la comparación de las potencias recogidas por los telescopios 12, 14:

$$(10) \quad y = k_y(P_1 - P_2)/(P_1 + P_2)$$

El desplazamiento lateral  $x$  se obtiene mediante el procesador mediante la comparación de las potencias recogidas por el telescopio 16 con la potencia media, representada por  $P_{12}$ , recogidas por los otros dos telescopios 12, 14:

$$(11) \quad x = k_x(P_3 - P_{12})/(P_3 + P_{12}), P_{12} = (P_1 + P_2)/2$$

Los coeficientes  $k_x$ ,  $k_y$  son función de la separación entre los sensores y de la anchura del haz láser gaussiano en la posición del satélite 4. En la realización preferida, los coeficientes  $k_x$ ,  $k_y$  están determinados por una calibración del haz láser y se almacenan en el procesador.

Las ecuaciones (10) y (11) son aproximaciones. Cuanto más cerca están los satélites de su posición/alineación nominal, más precisas son las aproximaciones. En términos de los marcos de referencia de los dos satélites, cuanto más cerca está el origen O' del eje Z del marco de referencia OXYZ, y cuanto más cerca están los ejes X'Y'Z' de la

paralela a XYZ, más precisas son las aproximaciones.

5 En realizaciones alternativas, y modos de operación alternativos, una solución numérica de las ecuaciones (1) a (7) (que no son lineales) se utiliza para determinar las seis coordenadas que definen la posición y la orientación del segundo satélite 4 en el marco de referencia del primer satélite 2. En tales realizaciones y modos de operación, el procesador está programado para determinar los tres pares de coordenadas ( $\xi_{ix}$ ,  $\xi_{iy}$ ) de las señales de salida de los detectores, y para resolver las ecuaciones anteriores utilizando un procedimiento numérico y para determinar los valores de los parámetros  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $\varphi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$  que definen la posición relativa y la orientación de los dos satélites 2, 4.

10 De acuerdo con el análisis anterior, es posible medir el ángulo  $\psi$  alrededor del eje que une los dos satélites. Sin embargo, la sensibilidad de las ecuaciones anteriores para ese parámetro  $\psi$  se hace cada vez más pequeño que los dos satélites están más cerca de su alineación nominal ( $x = 0$ ,  $y = 0$ ). Por lo tanto, en la práctica, en el caso de satélites que el parámetro  $\psi$  generalmente no se obtiene con una buena precisión. En el límite  $x = 0$ ,  $y = 0$ , no se puede obtener mediante el análisis de las ecuaciones anteriores por sí solas. Sin embargo, en ciertas variantes de la realización preferida, la información relativa al parámetro  $\psi$  se obtiene mediante la inclusión de un analizador del estado de polarización de la luz emitida por el primer satélite 2 en los medios de detección. Un ejemplo de un aparato de acuerdo con tales variantes de la realización preferida se muestra en la figura 5.

20 En las variantes de la realización preferida ilustrada en la figura 5, la fuente láser 6 se encuentra en el primer satélite 2, que produce un haz linealmente polarizado. El plano de polarización está orientado normalmente en el plano X-Z del marco de referencia del primer satélite 2.

25 Un divisor de haz polarizador 80 está situado en el segundo satélite 4, con los ejes principales alineados con el marco de referencia del segundo satélite 4. Dos fotodiodos 82, 84 están colocados ortogonalmente al divisor de haz 80. Las salidas de los fotodiodos 82, 84 están conectadas al procesador.

30 El divisor de haz polarizador 80 es operable para dividir el haz polarizado entrante de la fuente láser en dos componentes, y para dirigir uno de los componentes a uno de los fotodiodos 82 y para dirigir el otro componente al otro fotodiodo 84. La figura 5 incluye una vista ampliada 86 que ilustra la división del haz en más detalle.

La potencia correspondiente ( $p_a$ ,  $p_b$ ) de cada uno de los dos componentes es una función de la orientación del plano de polarización respecto al plano X'Z 'del marco de referencia del satélite (es decir, del ángulo de rotación  $\psi$  alrededor del eje Z entre los marcos de referencia de los dos satélites).

35 En operación, cada fotodiodo 82, 84 mide la potencia ( $p_a$  o  $p_b$ ) del componente respectivo del haz procedente del divisor de haz polarizador 80. Estas potencias son función del ángulo de rotación  $\psi$ :

$$(12) \quad p_a = p \sin(\psi), \quad p_b = p \cos(\psi)$$

40 El ángulo de rotación  $\psi$  se obtiene a partir de las potencias medidas  $p_1$ ,  $p_2$  mediante el procesador utilizando la siguiente ecuación:

$$(13) \quad \psi = \tan^{-1} \left( \frac{p_a}{p_b} \right)$$

45 Los detectores 11, 13, 15 no se muestran en la figura 5 por razones de claridad, pero normalmente en el aparato de la figura 5 los detectores 11, 13, 15 también están presentes en el segundo satélite 4. El procesador combina los resultados obtenidos a partir de los detectores 11, 13, 15 y los fotodiodos para obtener la posición relativa precisa y la orientación de los satélites.

50 En realizaciones alternativas o modos alternativos de funcionamiento de la realización preferida, la fase y la frecuencia de la señal de demodulación no se determina a partir de la potencia media recibida por los detectores PSD. En su lugar, se proporciona un enlace de radio entre los satélites y la información relativa a la fase y a la frecuencia de la modulación se transmite desde el primer satélite 2 al segundo satélite 4 a través del enlace de radio y la fase de demodulación y la frecuencia se establecen basándose en esa información. En realizaciones adicionales o modos de operación alternativos utilizando el sistema de navegación GPS/GALILEO, en el que la sincronización de los osciladores (relojes) se proporciona en los dos satélites 2, 4, se utiliza un oscilador para generar la frecuencia de modulación y el otro oscilador se utiliza para generar la frecuencia de modulación.

60 En realizaciones alternativas de un detector de matriz, que comprende, por ejemplo, se utiliza una matriz de sensores CCDs o CMOSs en lugar de un PSD. En ese caso, cada elemento de una matriz de elementos de detección emite una señal de detección correspondiente, y la posición de un punto de luz en la matriz se determina mediante el procesamiento de las señales de salida de los elementos de detección.

Las realizaciones descritas anteriormente se han descrito con referencia a la medición del desplazamiento relativo y a la orientación de dos satélites. Sin embargo, la invención no se limita únicamente a la medición del desplazamiento relativo y a la orientación de dos satélites y, en relación con ciertos aspectos, se utiliza para medir el desplazamiento y/o la orientación relativos de dos o más cuerpos en general.

- 5 Se entenderá que la presente invención se ha descrito anteriormente meramente a modo de ejemplo, y que se pueden hacer modificaciones de detalle dentro del alcance de la invención.

## REIVINDICACIONES

1. Aparato para determinar una disposición relativa de un primer objeto (2) y un segundo objeto (4), que comprende:  
 5 medios de detección en el segundo objeto (4) para detectar un haz de radiación transmitida por una fuente láser desde el primer objeto (2), teniendo el haz de radiación un perfil de haz predeterminado  
 los medios de detección comprenden una pluralidad de detectores (11, 13, 15), proporcionándose cada detector en una posición diferente respectiva, conocida respecto al otro detector, de tal manera que en funcionamiento cada detector tiene una visión diferente de una fuente de la radiación (10) en el primer objeto (2), estando cada detector configurado para producir una señal de detección correspondiente en respuesta a la radiación,  
 10 medios de procesamiento configurados para procesar las señales de detección juntas dependiendo de la posición de cada detector respecto al otro detector, y para explotar al menos una característica de la señal de detección respectiva recibida en cada detector para determinar una posición relativa de cada detector respecto al haz,  
**caracterizado por que** la al menos una característica es representativa de la potencia de la radiación recibida, el perfil del haz predeterminado es un perfil de la distribución de energía a través del haz como una función de la  
 15 posición y la posición relativa de cada detector se obtiene comparando las potencias recibidas en cada detector.
2. Aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el perfil de haz predeterminado tiene la forma de una distribución gaussiana.
- 20 3. Aparato de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que los medios de detección comprenden al menos tres detectores.
4. Aparato de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que los detectores están dispuestos en una disposición simétrica.
- 25 5. Aparato de acuerdo con la reivindicación 3, en el que los medios de detección comprenden tres detectores, estando cada uno de los detectores en un vértice respectivo de un triángulo equilátero.
6. Aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de procesamiento están configurados para determinar, para cada uno de los detectores, al menos un parámetro de detección representativo de la posición de la radiación recibida desde la fuente de radiación en el campo de visión del detector, y para procesar los parámetros de detección dependiendo de la posición relativa de los detectores.
- 30 7. Aparato de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el al menos un parámetro de detección es representativo de al menos una coordenada angular o al menos una coordenada lineal.
- 35 8. Aparato de acuerdo con las reivindicaciones 6 o 7, en el que los medios de procesamiento están configurados para promediar los valores del, o de cada, al menos un parámetro a través de los detectores, para obtener así una medida de la disposición relativa del primer objeto y del segundo objeto.
- 40 9. Aparato de acuerdo con las reivindicaciones 6 o 7, en el que, para cada detector,  $i$ , el o cada parámetro de detección es representativo de uno respectivo de un ángulo de azimut  $\alpha_i$  entre la trayectoria de la radiación de la fuente de radiación y un eje de puntería del detector y un ángulo co-latitud  $\beta_i$  entre la trayectoria de la radiación de la fuente de radiación y un eje perpendicular al eje de puntería del detector.
- 45 10. Aparato de acuerdo con la reivindicación 9, en el que los medios de procesamiento están configurados para determinar para cada detector,  $i$ , un ángulo de azimut  $\alpha_i$  entre la trayectoria de la radiación procedente de la fuente de radiación y un eje de puntería del detector, y los medios de procesamiento están configurados para promediar los ángulos de azimut obtenidos a partir de los detectores.
- 50 11. Aparato de acuerdo con las reivindicaciones 9 o 10, en el que los medios de procesamiento están configurados para determinar, para cada detector  $i$ , un ángulo de co-latitud  $\beta_i$  entre la trayectoria de la radiación de la fuente de radiación y un eje perpendicular al eje de puntería del detector, y los medios de procesamiento están configurados para promediar los ángulos de co-latitud  $\beta_i$  obtenidos desde los detectores.
- 55 12. Aparato de acuerdo con las reivindicaciones 6 o 7, en el que los medios de procesamiento están configurados para resolver numéricamente un conjunto de ecuaciones que vinculan los parámetros de detección para cada uno de los detectores con las tres coordenadas angulares y las tres lineales que definen la posición relativa y la orientación del primer y segundo objetos, para obtener los valores de al menos una de las coordenadas lineales y angulares.
- 60 13. Aparato de acuerdo con la reivindicación 12, en el que los medios de procesamiento están configurados para determinar, para cada detector,  $i$ , un ángulo de co-latitud  $\beta_i$  entre la trayectoria de la radiación de la fuente de radiación y un eje de puntería del detector, y un ángulo de azimut  $\alpha_i$  entre la trayectoria de la radiación de la fuente de radiación y un eje perpendicular al eje de puntería del detector, y los medios de procesamiento están configurados para resolver numéricamente el conjunto de ecuaciones (2) a (7) como se indican en el presente
- 65

documento.

5 14. Aparato de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que incluye una fuente de radiación en el primer satélite para la transmisión de la radiación desde el primer objeto al segundo objeto, medios para la modulación de la radiación y medios para determinar la modulación de la radiación en función de la señal de detección respectiva recibida en al menos uno de los detectores.

10 15. Aparato de acuerdo con la reivindicación 14, en el que los medios para determinar la modulación están configurados para combinar las señales de detección recibidas en los detectores para producir una señal combinada y para determinar la modulación en función de la señal combinada.

15 16. Aparato de acuerdo con las reivindicaciones 14 o 15, en el que los medios de detección están configurados para demodular las señales de detección detectadas en los detectores dependiendo de la modulación determinada por los medios de determinación de modulación.

17. Aparato de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además medios para determinar la polarización de la radiación recibida en los medios de detección y para la determinación de una orientación relativa de los dos objetos dependiendo de la polarización.

20 18. Aparato de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que los dos objetos (2, 4) son dos satélites.

19. Un método de determinar una disposición relativa de un primer objeto (2) y un segundo objeto (4), que comprende:

25 transmitir radiación desde una fuente de radiación láser (10) en el primer objeto (2) al segundo objeto (4), teniendo el haz de radiación un perfil de haz de predeterminado; y

detectar la radiación en el segundo satélite (4), **caracterizado por:**

30 proporcionar una pluralidad de detectores (11, 13, 15), proporcionándose cada detector en una posición diferente respectiva conocida respecto al otro detector, de manera que cada detector tiene una visión diferente de la fuente de radiación (10), estando configurado cada detector para producir una señal de detección correspondiente en respuesta a la radiación recibida de la fuente (10); y

procesar las señales de detección juntas dependiendo de la posición de cada detector respecto al otro detector y explotar al menos una característica de la señal de detección respectiva recibida en cada detector para determinar una posición relativa de cada detector respecto al haz,

35 **caracterizado por que** la al menos una característica es representativa de la potencia de la radiación recibida, y el perfil del haz predeterminado es un perfil de distribución de energía a través del haz como una función de la posición y de la posición relativa de cada detector que se obtienen comparando las potencias recibidas en cada detector.

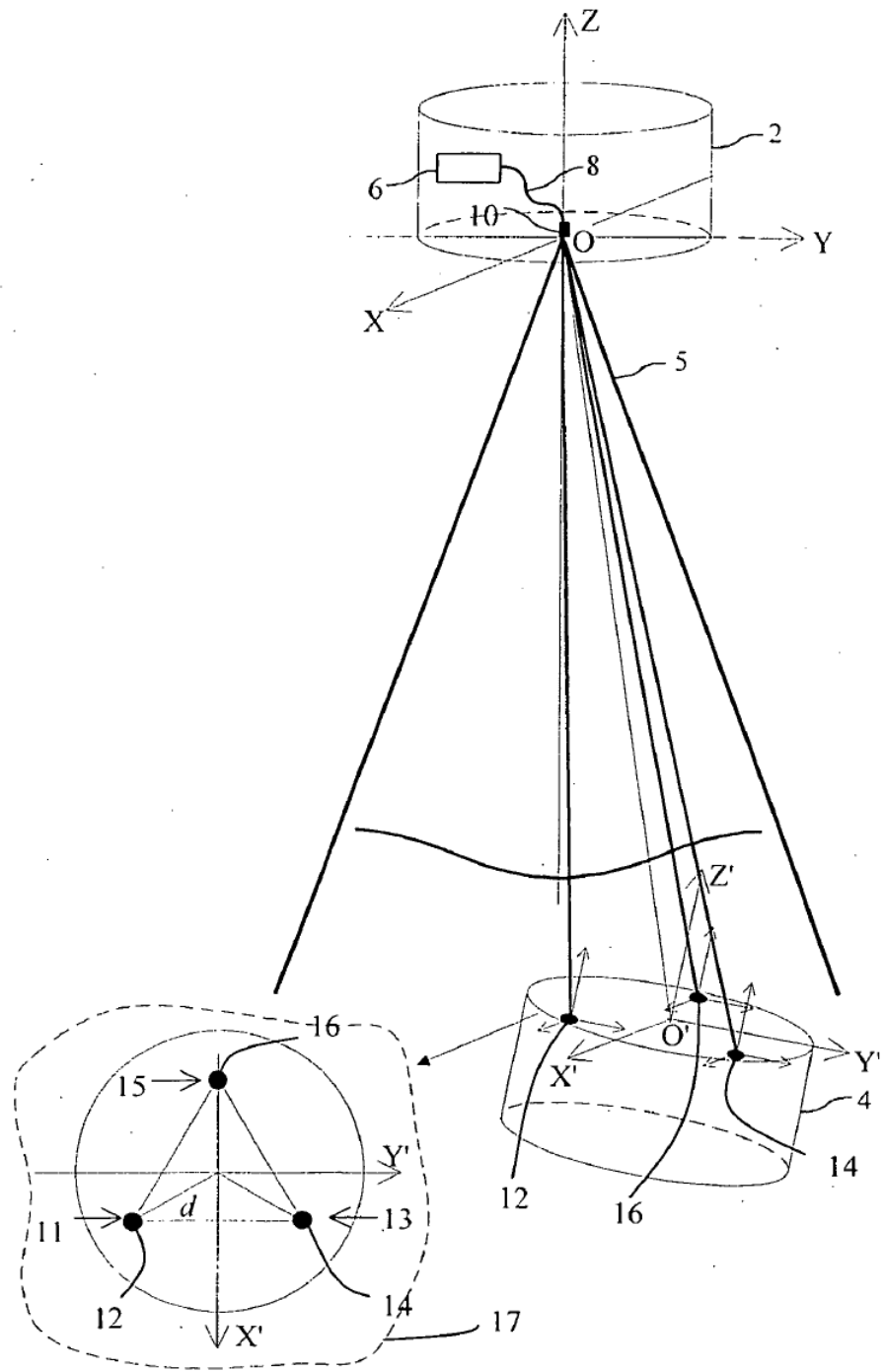


Fig. 1

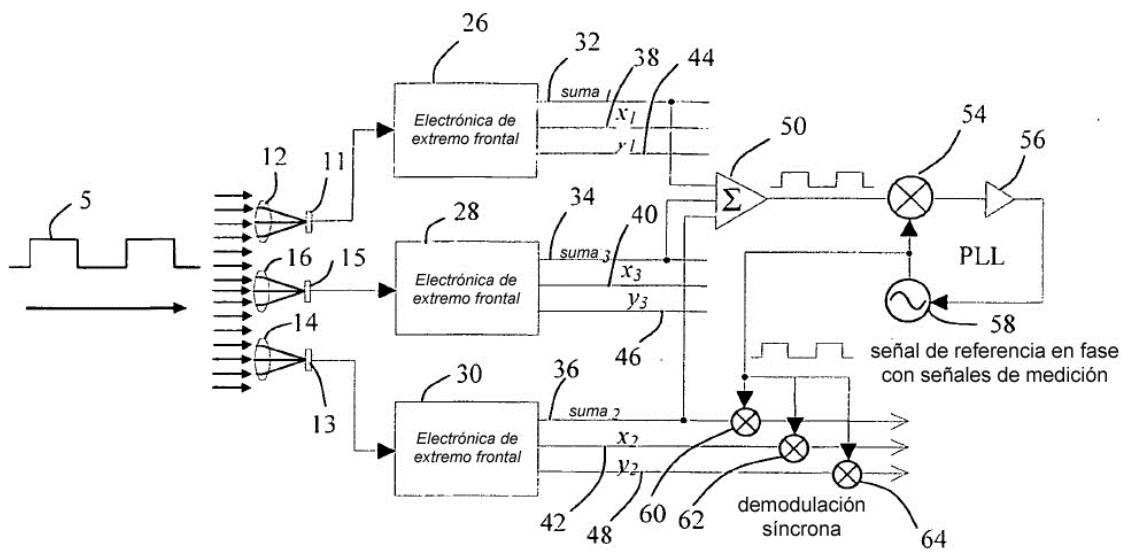


Fig. 2

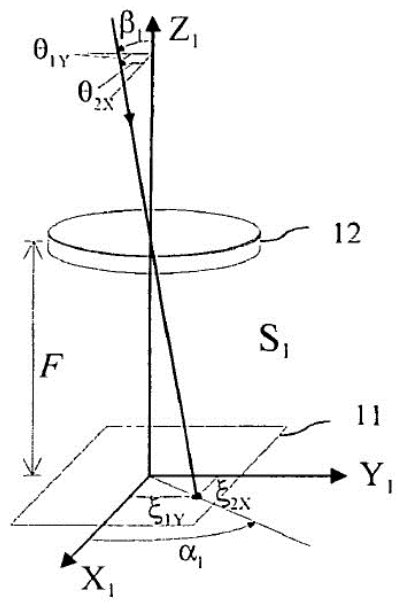


Fig. 3

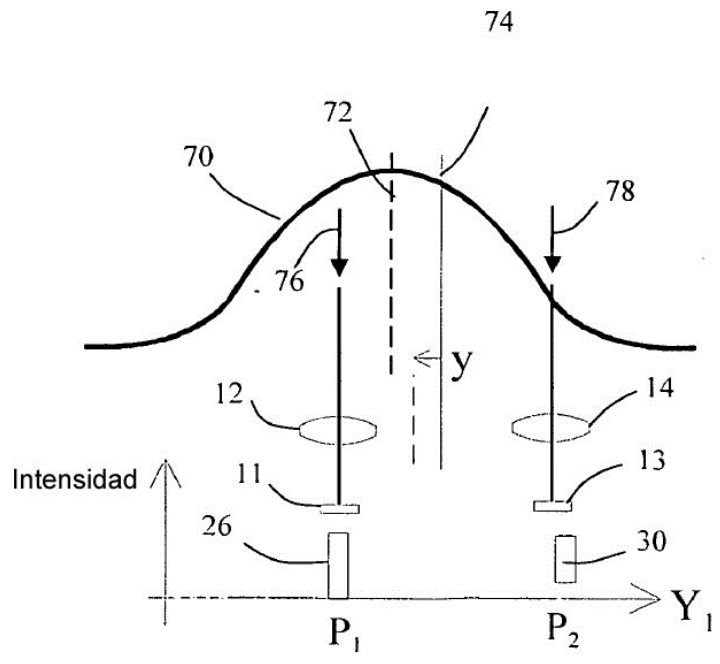


Fig. 4



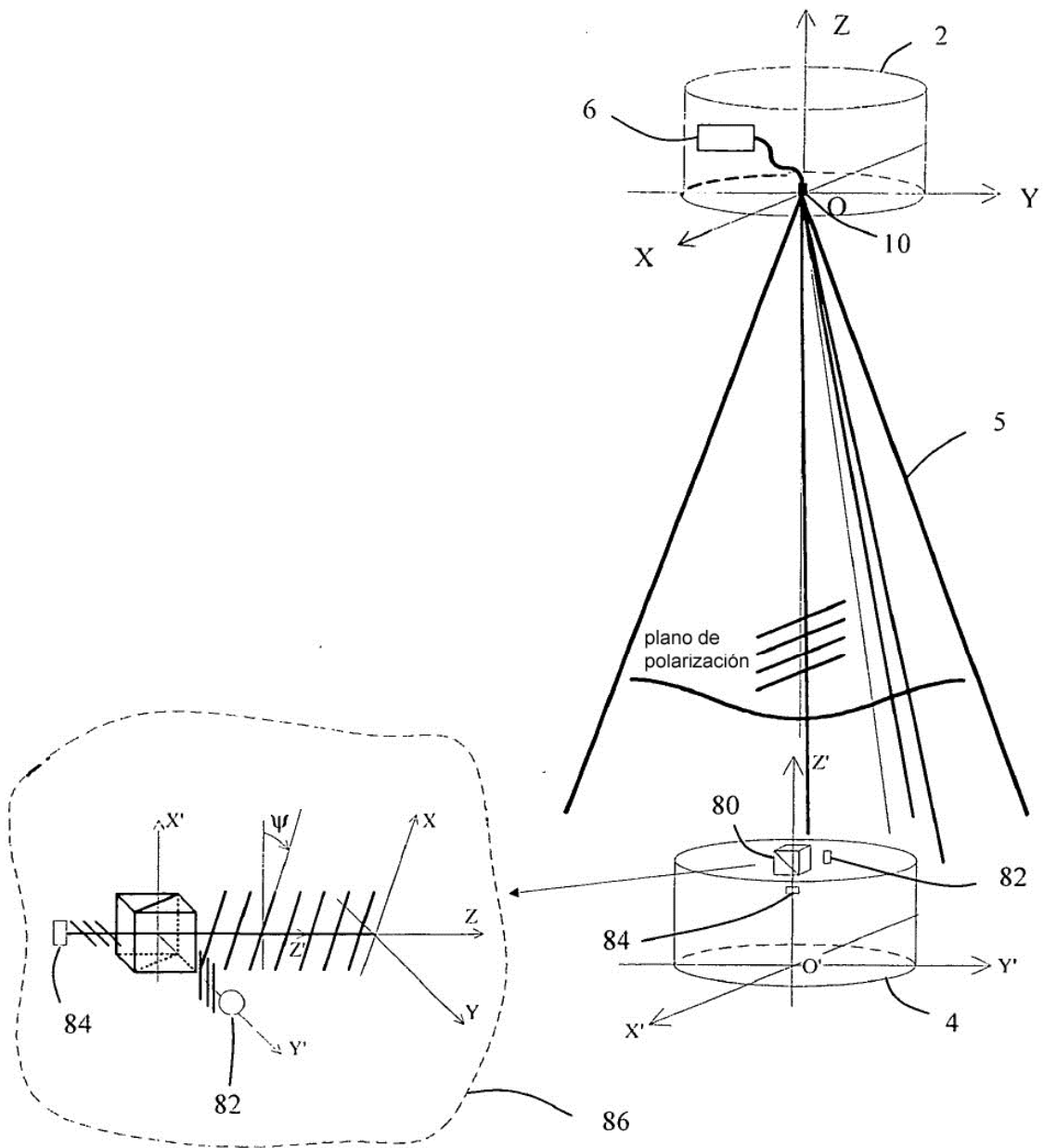


Fig. 5