

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 469 674**

51 Int. Cl.:

**G01S 17/42** (2006.01)

**G01S 17/48** (2006.01)

**G01S 17/74** (2006.01)

**G01S 17/89** (2006.01)

**B64G 1/10** (2006.01)

**B64G 1/36** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.06.2007 E 07111071 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.04.2014 EP 1873556**

54 Título: **Sistema de metrología lateral y longitudinal**

30 Prioridad:

**27.06.2006 FR 0652673**

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

**18.06.2014**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)  
45, RUE DE VILLIERS  
92200 NEUILLY SUR SEINE, FR**

72 Inventor/es:

**NAPIERALA, BRUNO;  
DEGRELLE, CYRIL;  
LEYRE, XAVIER y  
ABADIE, SUZANNE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 469 674 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Sistema de metrología lateral y longitudinal

5 La invención se refiere a un sistema de metrología para satélites que permite la localización de satélites y, en particular, un sistema de metrología que permite a los satélites localizarse los unos en relación a los otros. Dicho sistema se puede aplicar, en particular, en los sistemas de vuelos en formación de satélites conocidos habitualmente en la técnica con la designación "Free Flying".

La invención también se refiere a un sistema de control que permite controlar el desplazamiento y la orientación de un satélite secundario con respecto a un satélite de referencia.

También se puede aplicar a un sistema de compensación de distancias entre satélites.

### 10 **Estado de la técnica**

Algunos sistemas utilizan varios satélites que se desplazan de forma coherente entre sí. Es el caso, por ejemplo, del sistema de telescopios de alta energía de nueva generación, en los cuales la concentración de los rayos de luz se hace por medio de varios satélites. Estos satélites deben, por tanto, conservar unas posiciones relativas los unos respecto a los otros que se puedan controlar. Para ello, es habitual utilizar un sistema de metrología tal como se describe, en particular, en el documento « Recent advances and low cost concept for the gamma-ray lens project MAX », EXPERIMENTAL ASTRONOMY, vol. 20, diciembre de 2005, páginas 455-464, XP002422675.

En un vuelo en formación compuesto por dos satélites, uno se puede considerar como satélite "maestro" o satélite de referencia, el otro como "esclavo" o satélite secundario. El satélite de referencia controla entonces los desplazamientos del satélite secundario en función de sus propios desplazamientos.

20 El satélite de referencia comprende unos sistemas de seguimiento de trayectoria y constituye el satélite sobre el cual se alinean los demás satélites de la formación.

El o los satélites secundarios comprende(n) unos medios de seguimiento de trayectorias y presentan, por lo tanto, unos medios de propulsión y/o de orientación.

25 Por otra parte, un vuelo en formación de varios satélites para realizar una interferometría de apertura sintética precisa un conocimiento preciso de sus posiciones con respecto a un satélite de referencia. El conocimiento de las posiciones lateral y longitudinal es respectivamente de +/- 10  $\mu\text{m}$  a 100 m y +/- 100  $\mu\text{m}$  a 100 m.

30 La interferometría de apertura sintética precisa una compensación precisa de las distancias entre cada satélite secundario y el satélite de referencia. Esta compensación depende de la longitud de coherencia que impone la anchura espectral (filtrada o no) de la fuente observada. Por lo general, la compensación requerida es a escala nanométrica.

Las soluciones actualmente conocidas como el uso de una longitud de onda sintética (batido entre dos longitudes de onda contiguas) y la telemetría láser son el objeto de sistemas instalados a bordo muy complejos y no ofrecen la precisión que se espera de la telemetría.

El objeto de la invención es, por lo tanto, resolver este problema.

### 35 **Resumen de la invención**

La invención se refiere, por lo tanto, a un sistema de metrología de satélites para el vuelo en formación de satélites que comprende al menos un satélite de referencia y un satélite secundario. El satélite de referencia comprende:

- una fuente óptica que emite un haz de luz destinado a iluminar al menos en parte el satélite secundario;
- un conjunto principal de detectores de luz capaces de detectar luz procedente del satélite secundario;
- 40 – un circuito de medición que permite detectar el o los detectores que reciben luz del satélite secundario.

Además, el satélite secundario comprende al menos un primer reflector que recibe la luz recibida del satélite de referencia y que la refleja hacia el conjunto de detectores de luz del satélite de referencia.

De manera ventajosa, la fuente óptica emite un haz de luz divergente.

45 Se preverá por tanto una lente de focalización de salida, encontrándose la fuente óptica situada a una distancia igual a dos veces la distancia focal de la lente.

De acuerdo con una forma preferente de realización de la invención, dicho reflector es un retroreflector.

Por otra parte, la invención prevé que el conjunto principal de detectores es una matriz de detectores. Este conjunto de detectores comprende un primer detector nominal que corresponde al punto de iluminación del conjunto de detectores cuando el satélite secundario está situado convenientemente con respecto al satélite de referencia. El

circuito de medición detecta la distancia que separa a este detector nominal de un detector iluminado por la luz reflejada por el satélite secundario determinando de este modo el descentramiento lateral del satélite secundario con respecto a su posición nominal.

5 De acuerdo con otra forma de realización, el satélite secundario comprende al menos tres reflectores cada uno de ellos destinado a reflejar la luz que proviene de la fuente óptica hacia el conjunto principal de detectores del satélite de referencia.

De preferencia, se preverá entonces que el satélite secundario comprenda un segundo, un tercero, un cuarto y un quinto reflectores, estando cada uno de ellos destinado a reflejar la luz que proviene de la fuente óptica hacia el conjunto principal de detectores del satélite de referencia.

10 De manera ventajosa, dichos reflectores están situados a lo largo de un mismo plano. Del segundo al quinto reflectores están por tanto distribuidos, de preferencia, alrededor del primer reflector.

De preferencia, la fuente óptica es una fuente láser.

15 En dicho sistema de metrología que, de este modo, comprende cinco reflectores, el conjunto principal de detectores comprende por tanto un segundo, un tercero, un cuarto y un quinto detector nominal cuyas posiciones corresponden cada una a un punto de iluminación por un haz de luz reflejado por uno del segundo al quinto reflectores cuando el satélite secundario está orientado angularmente de manera correcta con respecto al satélite de referencia. El circuito de medición detecta entonces la distancia que separa a cada detector nominal de un detector iluminado por la luz reflejada por el reflector correspondiente del satélite secundario. De este modo este circuito de medición determina la desviación angular del satélite secundario con respecto a su posición nominal.

20 De acuerdo con una forma de realización, el satélite de referencia presenta, además, un primer dispositivo semi-reflectante interpuesto entre la fuente óptica y la lente de salida para desviar la luz reflejada por el satélite secundario hacia el conjunto principal de detectores.

25 De acuerdo con una variante de realización, el satélite de referencia comprende un segundo dispositivo semi-reflectante dispuesto entre la fuente óptica y el primer dispositivo semi-reflectante. De este modo un conjunto auxiliar de detectores puede iluminarse por la luz reflejada por el satélite secundario. El circuito de medición puede conmutar la detección de la distancia que separa a los detectores nominales de los detectores iluminados por la luz reflejada por el satélite secundario a partir del conjunto principal de detectores hacia el conjunto auxiliar de detectores.

La invención prevé de manera ventajosa montar los reflectores sobre unas estructuras termoelásticas estables.

30 Por otra parte, la invención prevé que el satélite de referencia puede comprender un reloj así como un circuito de cálculo de velocidad de deriva que recibe del circuito de medición diferentes mediciones de distancias y que calcula la velocidad de deriva del satélite secundario con respecto al satélite de referencia.

De manera similar, el satélite de referencia puede comprender un circuito de cálculo de aceleración que recibe, del circuito de cálculo de velocidad, las velocidades de derivas o, del circuito de medición, diferentes mediciones de distancias y que calcula la aceleración de deriva a la cual está sometido el satélite secundario.

35 De acuerdo con una forma ventajosa de realización de la invención, el segundo al quinto reflectores están dispuestos de forma simétrica alrededor del primer reflector, se prevé un sexto reflector asociado, por ejemplo, a uno del segundo al quinto reflectores para determinar la orientación angular del satélite secundario.

De manera alternativa, de acuerdo con una variante de realización, se puede prever que del segundo al quinto reflectores no están dispuestos de forma simétrica con respecto al primer reflector.

40 La invención también se refiere a un sistema de control de posicionamiento de satélites en vuelo de formación que aplica el sistema de metrología así descrito. El satélite de referencia comprende por tanto una unidad de control:

- que permite calcular las distancias que separan a los detectores nominales de las zonas de iluminación del conjunto de detectores por la luz reflejada por los reflectores del satélite secundario;
- que calcula uno o varios comandos de control de orientación y de desplazamiento del satélite secundario;
- 45 - que transmite este comando de control al satélite secundario, comprendiendo este unos circuitos de control que permiten controlar unos actuadores de desplazamiento y de orientación del satélite secundario en función de dichos comandos de control.

La invención también se refiere a un sistema de compensación de distancias entre satélites que aplica el sistema de metrología anteriormente descrito. En este sistema de compensación, el satélite de referencia comprende:

- 50 - un anillo interferométrico;
- una fuente de luz que permite inyectar un haz de luz en un punto de inyección del anillo interferométrico y este permite transmitir este haz de luz a dos satélites secundarios que retrorreflejan la luz que reciben hacia el anillo interferométrico;

- un detector acoplado a una salida del anillo interferométrico y que mide las fases respectivas de los haces de luz reflejados por los satélites secundarios;
- dos dispositivos de compensación de recorridos ópticos insertados en dos brazos del anillo interferométrico que están situados a ambos lados del punto de inyección del anillo interferométrico.

5 De acuerdo con una forma preferente de realización de dicho sistema, los dispositivos de compensación comprenden cada uno un primer dispositivo de reflexión que inserta en el trayecto de un brazo del anillo interferométrico un segundo dispositivo de reflexión móvil con respecto al primer dispositivo de reflexión y que permite retroreflejar la luz hacia el primer dispositivo de reflexión.

**Breve descripción de las figuras**

- 10 Los diferentes objetos y características de la invención se mostrarán de manera más clara en la descripción que viene a continuación y en las figuras adjuntas que representan:
- la figura 1, un ejemplo básico de realización de un sistema de metrología de satélites para el vuelo en formación de satélites;
  - las figuras 2a a 2c, un ejemplo de realización más completo de dicho sistema de metrología;
  - 15 - la figura 3, una variante de realización del sistema de las figuras 2a a 2c;
  - la figura 4, otra variante de realización del sistema de acuerdo con la invención;
  - la figura 5, un sistema de control que aplica el sistema de metrología de acuerdo con la invención;
  - la figura 6, un ejemplo de realización de un sistema de compensación de las distancias ópticas entre satélites.

**Descripción detallada**

20 Haciendo referencia a la figura 1, se va a describir por lo tanto un ejemplo básico de realización de un sistema de metrología aplicable a un sistema de vuelo en formación de satélites.

A título de ejemplo, la invención se describe considerando el caso de dos satélites únicamente, pero la invención se puede aplicar a un sistema de vuelo en formación que comprende un mayor número de satélites.

25 En la figura 1, el satélite de referencia SR (satélite maestro) comprende una fuente óptica FO capaz de iluminar una cara del satélite secundario SS (satélite esclavo).

Al haz de iluminación procedente de la fuente FO lo transmite una lente LE de distancia focal  $f$  y situada sustancialmente a una distancia  $2f$  de la fuente. La distancia focal  $f$  de la lente se calcula de tal modo que la apertura del haz de iluminación será tal que la sección EQ del haz permitirá una iluminación de la cara del satélite secundario SS que está orientada hacia el satélite de referencia. A título de ejemplo, el ángulo de apertura del haz de iluminación es de  $15^\circ$ .

30 De acuerdo con la invención, también se prevé que esta cara del satélite secundario comprende al menos un dispositivo de reflexión RR1. Toda o parte de la luz del haz de iluminación recibida por el reflector RR1 se refleja hacia el satélite de referencia.

35 Se prevé un dispositivo semi-reflectante RS entre la lente LE y la fuente FO y permite orientar la luz reflejada por el satélite secundario hacia un conjunto de detectores como una matriz de detección CCD.

El reflector RR1 ocupa una posición bien definida en el satélite secundario y esta posición la conoce el satélite de referencia. Por ejemplo, el reflector está en el centro de la cara del satélite SS iluminada por el haz de iluminación (véase la figura 1).

40 El haz reflejado por el reflector RR1 ilumina una zona PM delimitada de la superficie de la matriz de detección CCD. En estas condiciones, si en su posición normal el satélite SS debe estar alineado a lo largo del eje  $XX'$  y en esta posición el haz reflejado debería iluminar un detector PN, el satélite de referencia es capaz de medir la posición del satélite con respecto al eje X determinando la distancia que separa al detector PN de la zona iluminada PM.

Se determinarán entonces los movimientos correctivos que hay que aplicar al satélite secundario para recuperar una alineación lateral perfecta aplicando la fórmula:  $(T_x, T_y) = \varphi(X_{centroide}, Y_{centroide})$ , en la cual:

- 45  $T_x$ : correctivo a lo largo del eje X.  
 $T_y$ : correctivo a lo largo del eje Y.  
 $X_{centroide}$ : coordenada a lo largo de X de la zona iluminada PM (medición).  
 $Y_{centroide}$ : coordenada a lo largo de Y de la zona iluminada PM (medición).  
 $\varphi$ : función lineal afin (calibración).

50 De manera ventajosa, la invención prevé que el reflector RR1 es un retroreflector de tal modo que refleja el máximo de la luz hacia la matriz de detección CCD.

Por otra parte, la fuente de luz será, de preferencia, una fuente láser.

El sistema de la figura 1 permite, por lo tanto, medir la posición del satélite secundario SS con respecto al eje XX'.

Haciendo referencia a las figuras 2a a 2c, se va a describir a continuación el sistema de tal modo que permita medir la inclinación del satélite con respecto al eje XX' así como su orientación angular alrededor de este eje.

5 Para ello, la cara del satélite secundario que está iluminada por el haz de iluminación que llega del satélite de referencia comprende cuatro reflectores adicionales RR2, RR3, RR4, RR5 dispuestos, de preferencia, alrededor del reflector RR1. Estos reflectores forman, por ejemplo, una cruz y están situados de preferencia a lo largo del mismo plano zy.

10 En la figura 2a, el satélite SS está desplazado con respecto al eje XX' y el plano de los reflectores RR1 a RR5 está inclinado con respecto al eje XX'. Además, el conjunto del satélite secundario está desplazado angularmente alrededor del eje XX' como se puede observar en la representación en planta de los reflectores (en la parte inferior derecha de la figura 2a).

La luz reflejada (o retrorreflejada) por los reflectores (o retrorreflectores) RR1, RR2, RR3, RR4, RR5 se retransmite a la matriz de detección CCD y da lugar respectivamente a las zonas iluminadas p1, p2, p3, p4 y p5.

15 La medición del desplazamiento lateral del satélite secundario con respecto al eje XX' se hace, como se ha descrito con anterioridad, midiendo la distancia de la zona p1 con respecto a la posición nominal pn1.

Se determinarán entonces las tres rotaciones correctivas que hay que aplicar al satélite secundario para recuperar una posición perfecta aplicando la fórmula matricial:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi_1 ( X_{centroides}, Y_{centroides} ) \\ \varphi_2 ( X_{centroides}, Y_{centroides} ) \\ \varphi_3 ( X_{centroides}, Y_{centroides} ) \end{pmatrix}$$

20 en la cual:

$\alpha$ : rotación correctiva a lo largo del eje X.

$\beta$ : rotación correctiva a lo largo del eje Y.

$\gamma$ : rotación correctiva a lo largo del eje Z.

25  $X_{centroides}$ : coordenadas a lo largo de X de p2, p3, p4, p5 (mediciones).

$Y_{centroides}$ : coordenadas a lo largo de Y de p2, p3, p4, p5 (mediciones).

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ : funciones lineales afines (calibración).

Hay que señalar que p1 se confunde por tanto con el detector pn1 tal como se ha descrito con anterioridad.

Suponiendo que, en función de esta medición, el satélite secundario SS se conduce a lo largo de la alineación del eje XX', se obtendría la situación que se representa en la figura 2b.

30 Se puede entonces identificar las posiciones respectivas de las zonas iluminadas p2 a p5 y medir sus distancias con respecto a las posiciones nominales que deberían tener si el satélite secundario estuviera bien orientado. Estas posiciones nominales np1 a np5 están representadas en la figura 2a. La figura 2c representa el sistema cuando la posición del satélite secundario se ha corregido.

35 En el sistema de las figuras 2a a 2c, se han previsto cinco reflectores, pero sin salirse del marco de la invención dicho sistema podría funcionar con únicamente tres reflectores convenientemente ubicados.

La figura 3 representa una variante de realización en la cual se prevé un reflector adicional RR6 asociado a uno de los reflectores (el reflector RR3 en la figura 3). Este reflector da una zona iluminada p6 la cual asociada con la zona p3 permite orientar angularmente con facilidad al satélite secundario.

40 La figura 4 representa una variante de realización en la cual se ha previsto una matriz auxiliar de detección CCDA que recibe, mediante el dispositivo semirreflectante RSA, una parte de la luz reflejada por los reflectores del satélite secundario.

45 La matriz de detección CCD permite medir las desviaciones lateral y angular cuando estas son relativamente importantes. A continuación, cuando la posición y la orientación del satélite secundarios se han corregido parcialmente, el sistema puede funcionar con la matriz auxiliar de detección CCDA que es de un tamaño más reducido y que permite una exploración más rápida de la matriz y, por lo tanto, un funcionamiento más rápido.

La figura 5 representa un sistema de control que permite que el satélite de referencia controle el satélite secundario por medio de los resultados de las mediciones realizadas con el sistema de las figuras 1 a 4.

5 El satélite de referencia SR presenta una unidad de control UC que recibe de un circuito de medición CI (o circuito de exploración de la matriz de detección) la información de la matriz de detección. De este modo la unidad de control UC puede identificar las posiciones de las zonas iluminadas (p1 a p5) y calcular su desviación con respecto a sus posiciones nominales respectivas. La unidad de control calcula unas órdenes de corrección TC que se transmiten por un circuito de transmisión TRON a un circuito de recepción RON del satélite secundario.

10 En el satélite secundario, el circuito de recepción RON comunica las órdenes recibidas a uno o varios circuitos de control CMD que controlan los actuadores que permiten modificar la posición y/o la orientación del satélite secundario.

Así pues, el sistema de medición de la invención se basa en la medición de la distancia entre diferentes focos de imágenes (centroidización) suministradas por una red de retrorreflectores situados en el satélite secundario e iluminados por un haz láser divergente procedente del satélite de referencia.

15 La posición del centroide procedente del retrorreflector central (centro geométrico de la red) garantiza el conocimiento lateral.

Además, las mediciones de distancias entre centroides periféricos (p2 a p5) permiten calcular la distancia del satélite secundario al satélite de referencia aplicando la fórmula:

$$d_B = f \left( 1 + \frac{2a}{\Delta Y} \right)$$

en la cual:

20 -  $d_B$  es la distancia entre el satélite de referencia (plano de la lente LE) y el satélite secundario;  
 -  $f$  es la distancia focal de la lente LE;  
 -  $2a$  es la distancia que separa dos reflectores (RR3 y RR5, por ejemplo, en la figura 2c);  
 -  $\Delta$  es la distancia medida que separa dos posiciones nominales que corresponden a estos reflectores (pn3 y pn5, por ejemplo).

25 En la descripción anterior se ha realizado una etapa de centrado lateral del satélite secundario de tal modo que se conduce la zona de iluminación PM sobre el detector PN (véase la figura 1). Sin embargo, sin salirse del marco de la invención, la distancia de base  $d_B$  se puede estimar sin pasar por una primera etapa de centrado lateral (PM en PN). El descentramiento se puede entonces compensar fácilmente de forma analítica mediante una fórmula más generalizada.

30 Por otra parte, el sistema de la invención instalado a bordo de un satélite ofrece una facilidad de redundancia al insertar dos láminas semi-reflectantes adicionales que permiten ubicar otra fuente óptica y también otro conjunto de detectores. De este modo, en caso de avería de uno de estos dos únicos componentes activos, la función metrológica se conserva por completo.

35 Por otra parte, un reloj R previsto en el satélite de referencia permite que la unidad de control UC calcule la velocidad de desplazamiento del satélite secundario con respecto al satélite de referencia (e incluso su aceleración) haciendo varias mediciones espaciadas en el tiempo.

En ciertos sistemas, es necesario compensar las distancias ópticas entre diferentes satélites con una muy gran precisión. Esto es imprescindible, por ejemplo, en los sistemas de interferometría en los que la precisión de compensación de las distancias debe ser del orden del nanómetro.

40 De acuerdo con la invención, se prevé para compensar las distancias entre un satélite de referencia y unos satélites secundarios compensar de dos en dos los caminos ópticos de un interferómetro de tipo Michelson que se utiliza con luz blanca.

La figura 6 representa dicho sistema en el cual el satélite de referencia SR comprende un interferómetro de tipo Michelson realizado con dos espejos semi-reflectantes ES1 y ES2 y dos espejos E1 y E2.

45 Este sistema permite compensar las distancias ópticas entre dos satélites secundarios SS1 y SS2 y el satélite de referencia SR. El recorrido de la luz relativo al satélite secundario SS1 se indica con unas flechas de líneas finas y el recorrido de la luz relativo al satélite secundario SS2 se indica con unos triángulos negros.

El espejo semi-reflectante ES1 permite inyectar en el anillo interferométrico un haz de luz blanca suministrado por una fuente de luz F.

- En dos brazos del interferómetro situados a ambos lados de este espejo semi-reflectante ES1 se prevén unos dispositivos de compensación de recorridos ópticos. A título de ejemplo de realización, estos dispositivos de compensación comprenden cada uno un primer dispositivo de reflexión PR1, PR2 (unas esquinas de cubos, por ejemplo) de corte en un brazo del interferómetro. Los dispositivos de reflexión PR1 y PR2 reflejan la luz hacia unos segundos dispositivos de reflexión PR'1 y PR'2 los cuales reflejan la luz hacia los dispositivos de reflexión PR1 y PR2 que vuelven a introducir la luz en el interferómetro. Las distancias entre los dispositivos PR1 y PR'1, por una parte, y entre PR2 y PR'2, por otra parte, se pueden regular por separado mediante el desplazamiento de los dispositivos PR'1 y PR'2. Para ello, los dispositivos de reflexión PR'1 y PR'2 están montados sobre unos dispositivos piezoeléctricos que permiten desplazar los dispositivos PR'1 y PR'2 con respecto a los dispositivos PR1 y PR2.
- 5
- 10 Un detector DEC permite detectar la puesta en fase de la luz transmitida a los dos satélites secundarios SS1 y SS2. El accionamiento de los dispositivos piezoeléctricos PZ1 y PZ2 permite controlar esta puesta en fase y controlar de este modo las longitudes de los recorridos ópticos entre el satélite de referencia y los satélites secundarios.
- 15 Se observa, por lo tanto, que el conocimiento de la diferencia de las distancias está finamente garantizado por líneas de retardo clásicas (esquina de cubo móvil mediante control piezoeléctrico) que permiten el centrado de la franja blanca (franja brillante) y, por lo tanto, el movimiento corrector longitudinal que hay que aplicar a los satélites secundarios para realizar esta compensación fina.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de metrología de satélites para el vuelo en formación de satélites que comprende un satélite de referencia (SR) y al menos dos satélites secundarios (SS1, SS2), comprendiendo el satélite de referencia (SR):

- una fuente óptica (FO) que emite un haz de luz destinado a iluminar al menos en parte los satélites secundarios (SS);
  - un conjunto principal de detectores de luz (CCD) capaces de detectar luz procedente de los satélites secundarios;
  - un circuito de medición (CI) que permite detectar el o los detectores que reciben luz de los satélites secundarios,
- comprendiendo los satélites secundarios al menos un primer reflector que refleja la luz recibida del satélite de referencia hacia el conjunto de detectores de luz (CCD),

**caracterizado porque** el conjunto principal de detectores de luz (CCD) es una matriz de detectores y **porque** comprende unos primeros detectores nominales (PN, p1) que corresponden al punto de iluminación del conjunto de detectores cuando los satélites secundarios están situados de forma adecuada lateralmente con respecto al satélite de referencia, detectando el circuito de medición la distancia que separa a estos detectores nominales de los detectores iluminados por la luz reflejada por los satélites secundarios que de este modo determina el descentramiento lateral de los satélites secundarios con respecto a su posición nominal,

y **porque** el satélite de referencia (SR) comprende un anillo interferométrico (ES1, E1, ES2, E2) para compensar las distancias ópticas entre el satélite de referencia (SR) y los dos satélites secundarios (SS1, SS2), permitiendo una fuente luminosa (F) inyectar un haz de luz en un punto de inyección (ES1) de dicho anillo y permitiendo este transmitir este haz de luz a los dos satélites secundarios (SS1 y SS2) que retroreflejan la luz que reciben hacia el anillo interferométrico, midiendo un detector acoplado a una salida del anillo interferométrico las fases respectivas de los haces de luz reflejados, insertándose dos dispositivos de compensación de caminos ópticos en dos brazos del anillo interferométrico que están situados a ambos lados del punto de inyección (ES1) del anillo interferométrico.

2. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la fuente óptica (FO) emite un haz de luz divergente.

3. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** comprende una lente de focalización (LE) de salida, encontrándose la fuente óptica (FO) situada a una distancia igual a dos veces la distancia focal (f) de la lente (LE).

4. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 3, **caracterizado porque** dicho reflector (RR1) es un retroreflector.

5. Sistema de metrología de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el satélite secundario comprende al menos tres reflectores (RR1 a RR5) estando cada uno de ellos destinado a reflejar la luz procedente de la fuente óptica (FO) hacia el conjunto principal de detectores (CCD) del satélite de referencia.

6. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** el satélite secundario comprende un segundo, un tercero, un cuarto y un quinto reflectores (RR2, RR3, RR4, RR5), estando cada uno de ellos destinado a reflejar la luz procedente de la fuente óptica (FO) hacia el conjunto principal de detectores del satélite de referencia.

7. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** dichos reflectores están situados a lo largo de un mismo plano, encontrándose el segundo al quinto reflectores (RR2 a RR5) distribuidos alrededor del primer reflector (RR1).

8. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** la fuente óptica es una fuente láser.

9. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque**:

- el conjunto principal de detectores (CCD) comprende un segundo, un tercero, un cuarto y un quinto detector nominal (pn2, pn3, pn4, pn5) cuyas posiciones corresponden cada una a un punto de iluminación por un haz de luz reflejado por uno del segundo al quinto reflectores (RR2 a RR5) cuando el satélite secundario está orientado de manera adecuada angularmente con respecto al satélite de referencia;
- y **porque** el circuito de medición (CI) detecta la distancia que separa a cada detector nominal (pn2, pn3, pn4, pn5) de un detector iluminado por la luz reflejada por el reflector correspondiente del satélite secundario, determinando de este modo este circuito la desviación angular del satélite secundario con respecto a su posición nominal.

10. Sistema de metrología de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 9, **caracterizado porque** el



satélite de referencia presenta un primer dispositivo semi-reflectante (RS) interpuesto entre la fuente óptica y la lente de salida para desviar la luz reflejada por el satélite secundario hacia el conjunto principal de detectores (CCD).

- 5 11. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado porque** comprende un segundo dispositivo semi-reflectante (RSA) dispuesto entre la fuente óptica y el primer dispositivo semi-reflectante, un conjunto auxiliar de detectores (CCDA) que se puede iluminar por la luz reflejada por el satélite secundario, conmutando el circuito de medición (CI) la detección de la distancia que separa a los detectores nominales de los detectores iluminados por la luz reflejada por el satélite secundario a partir del conjunto principal de detectores (CCD) hacia el conjunto auxiliar de detectores (CCDA).
- 10 12. Sistema de metrología de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los reflectores (RR1 a RR5) están montados sobre unas estructuras termoelásticas estables.
13. Sistema de metrología de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende un reloj (R) así como un circuito de cálculo (UC) de velocidad de deriva que recibe del circuito de medición (CI) diferentes mediciones de distancias y que calcula la velocidad de deriva del satélite secundario con respecto al satélite de referencia.
- 15 14. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado porque** comprende un circuito de cálculo de aceleración que recibe, del circuito de cálculo de velocidad, las velocidades de deriva o, del circuito de medición, diferentes mediciones de distancias, y que calcula la aceleración de deriva a la cual está sometido el satélite secundario.
- 20 15. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado porque** el segundo al quinto reflectores (RR2 a RR5) están dispuestos de forma simétrica alrededor del primer reflector (RR1) y porque comprende un sexto reflector (RR6) asociado a uno del segundo al quinto reflectores para determinar la orientación angular del satélite secundario.
16. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado porque** el segundo al quinto reflectores (RR2 a RR5) no están dispuestos de forma simétrica con respecto al primer reflector (RR1).
- 25 17. Sistema de control de posicionamiento de satélites en vuelo de formación que comprende el sistema de metrología de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el satélite de referencia (SR) comprende una unidad de control:
- 30 - que permite calcular las distancias que separan a los detectores nominales de las zonas de iluminación del conjunto de detectores (CCD) por la luz reflejada por los reflectores del satélite secundario;
- que calcula uno o varios comando(s) (TC) de control de orientación y de desplazamiento del satélite secundario;
- que transmite este comando de control al satélite secundario, comprendiendo este unos circuitos de control (CMD) que permiten controlar unos actuadores de desplazamiento y de orientación del satélite secundario en función de dichos comandos de control (TC).
- 35 18. Sistema de metrología de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** los dispositivos de compensación comprenden cada uno un primer dispositivo de reflexión (PR1, PR2) que inserta en el trayecto de un brazo del anillo interferométrico un segundo dispositivo de reflexión (PR'1, PR'2) móvil con respecto al primer dispositivo de reflexión y que permite retroreflejar la luz hacia el primer dispositivo de reflexión.

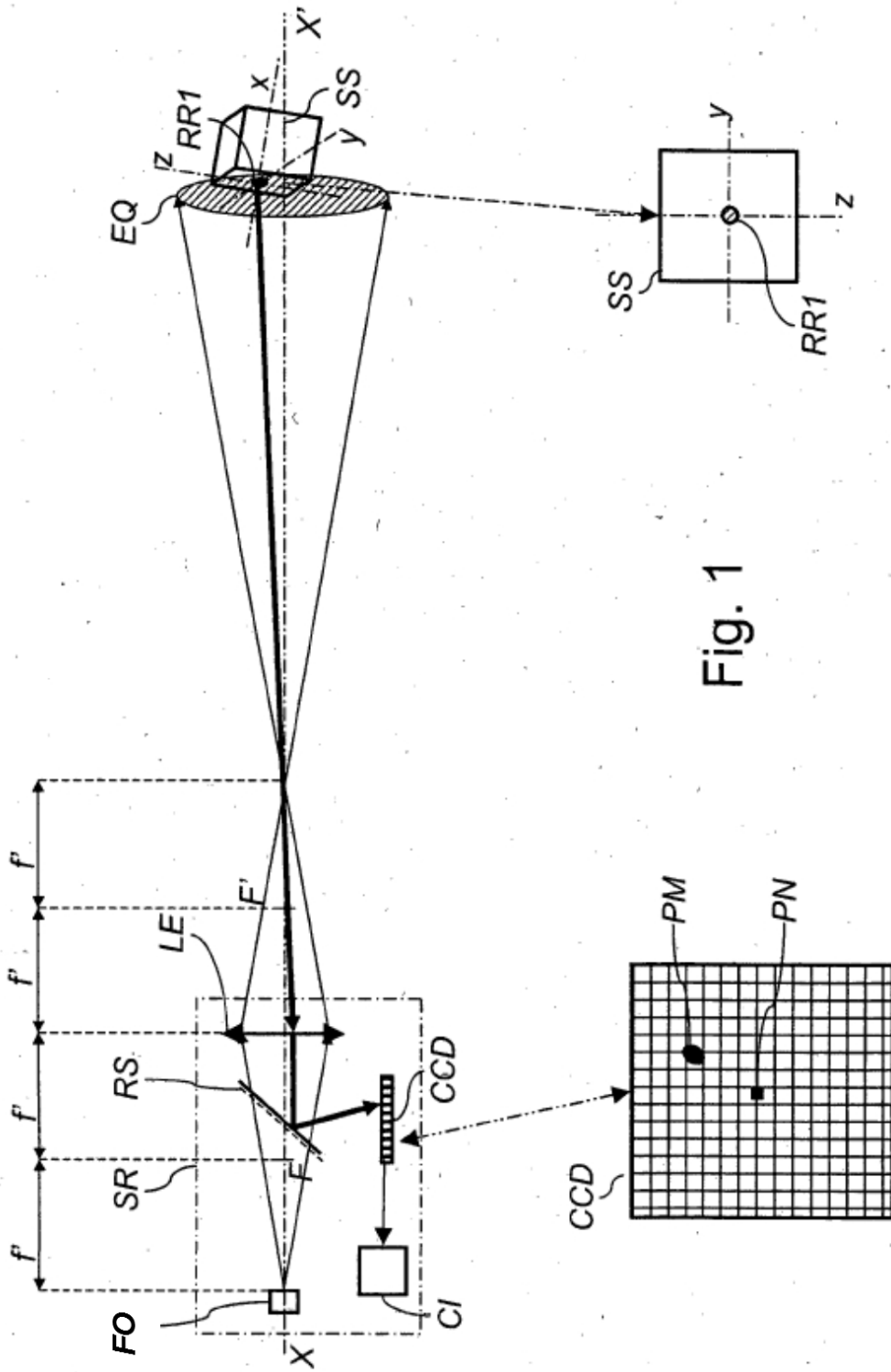


Fig. 1

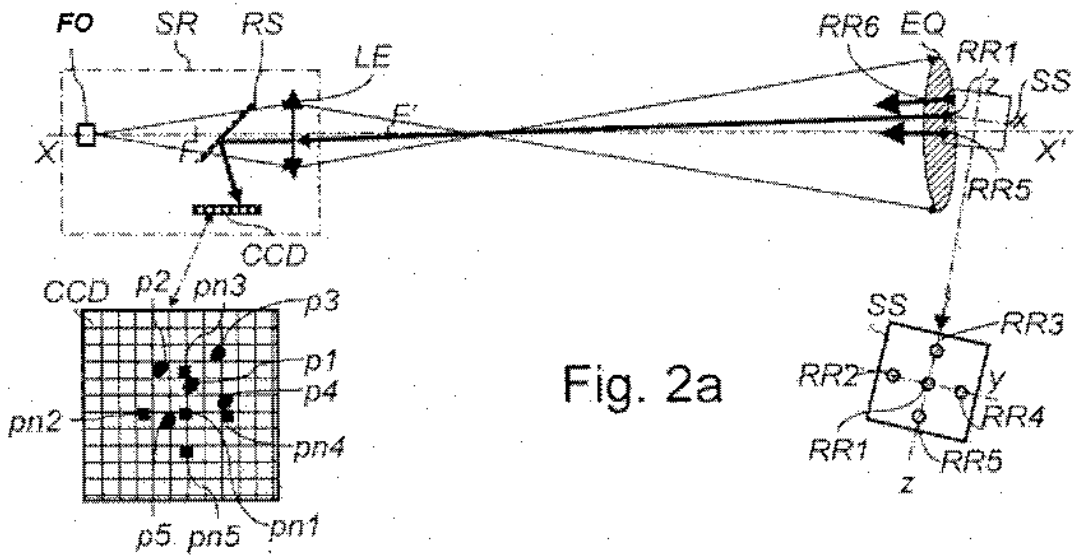


Fig. 2a

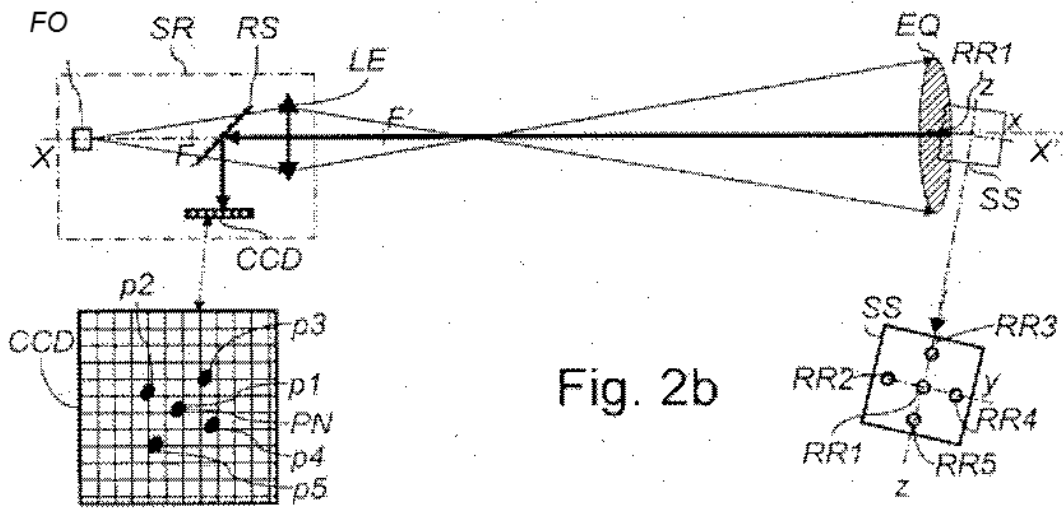
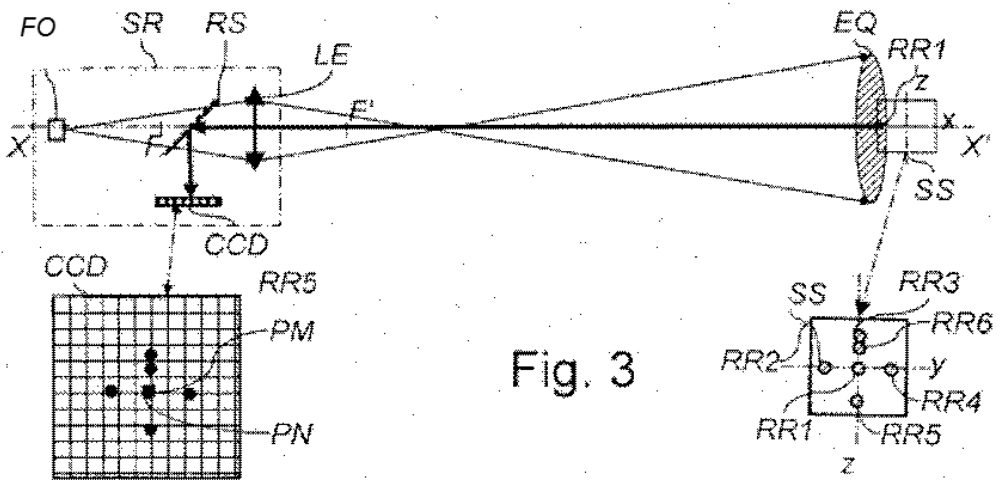
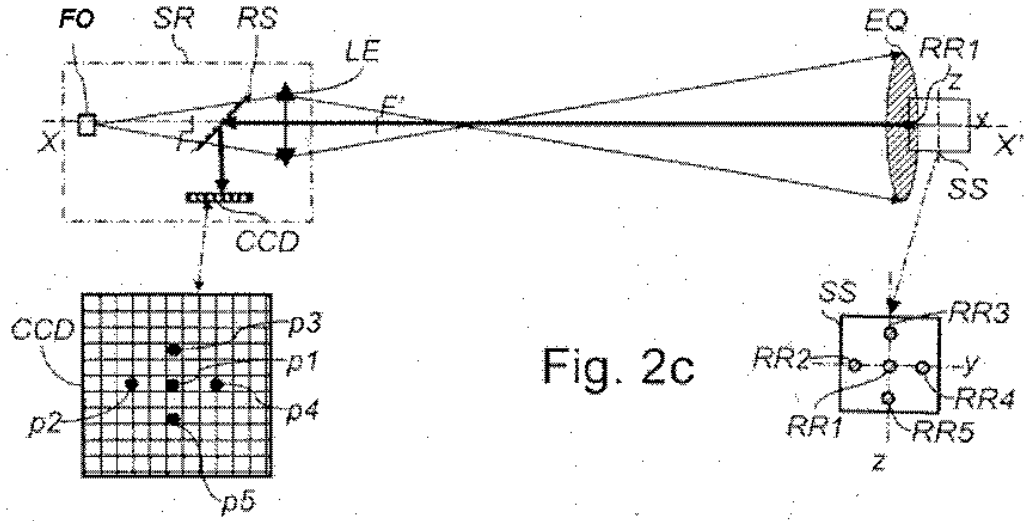
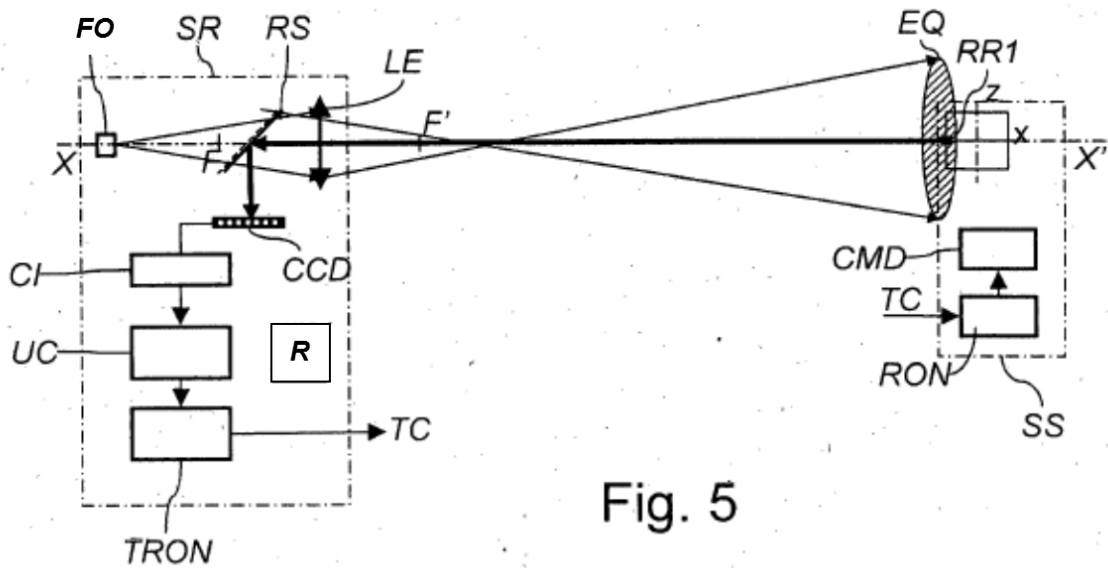
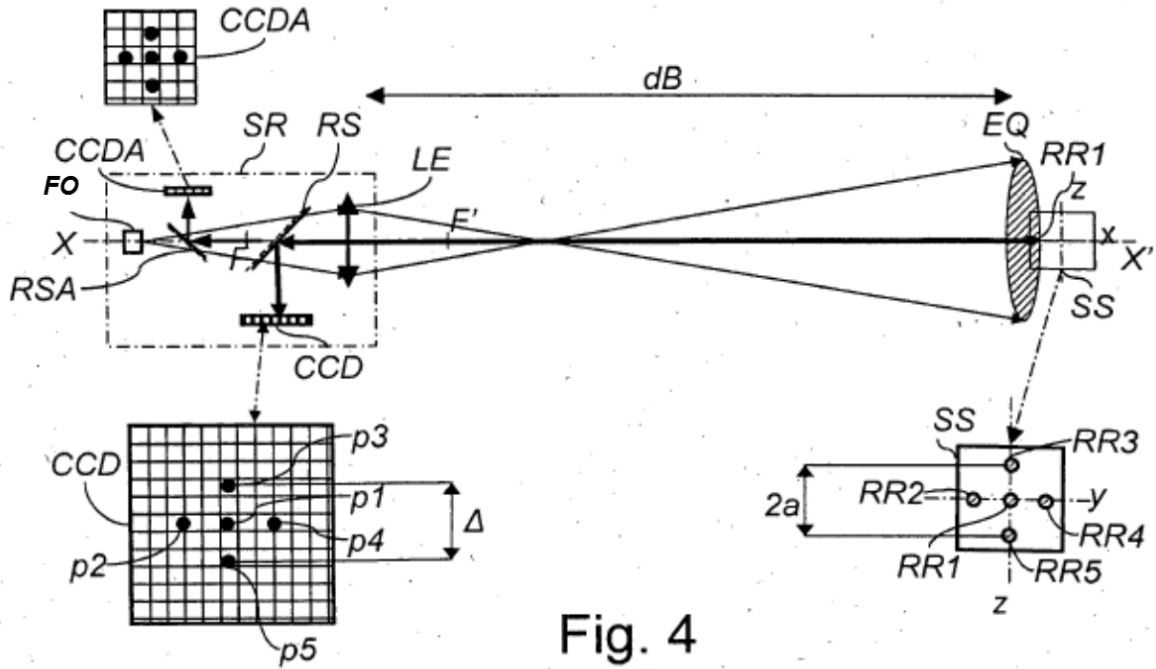


Fig. 2b





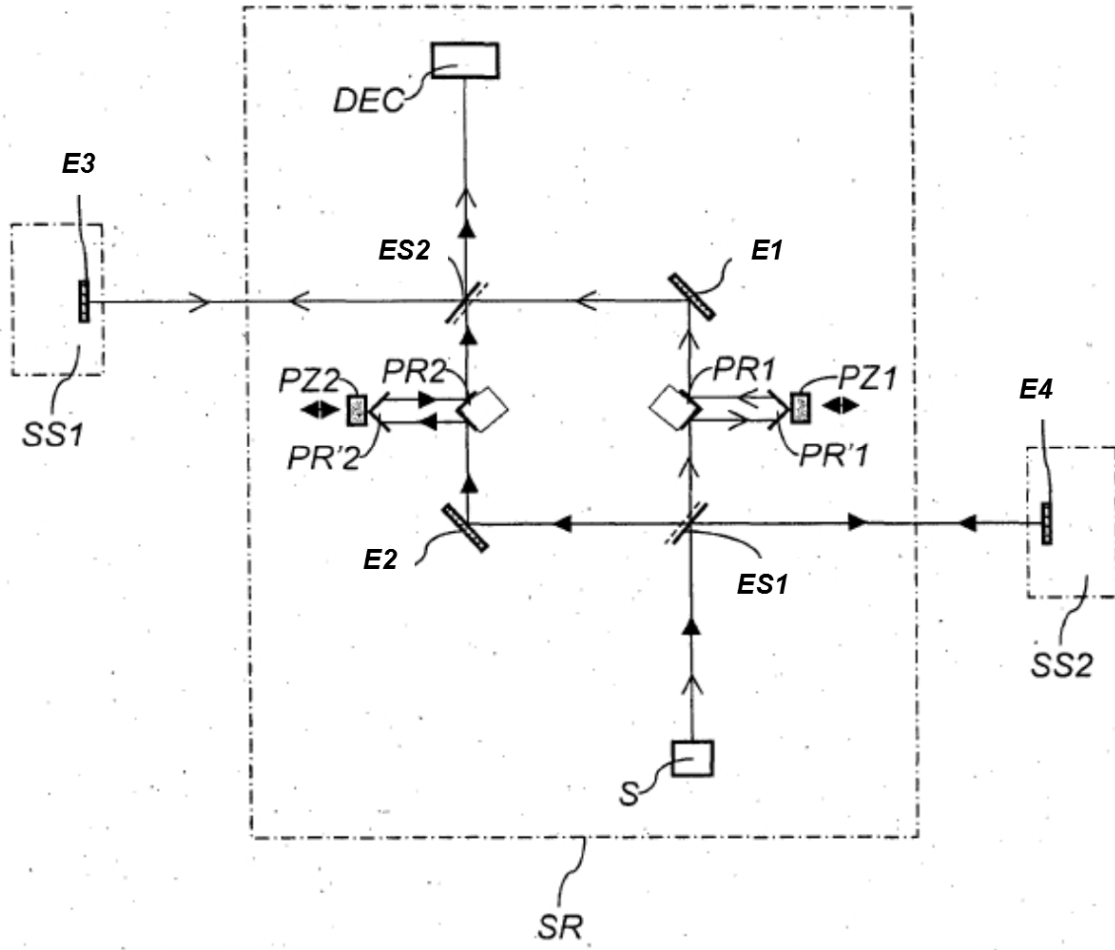


Fig. 6