

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 301**

51 Int. Cl.:

B64G 1/10 (2006.01)
G05D 1/00 (2006.01)
G06T 7/00 (2007.01)
G01C 11/06 (2006.01)
G05D 1/08 (2006.01)
G06T 7/593 (2007.01)
H04N 13/20 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.10.2012 E 12190650 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 2597040**

54 Título: **Sistema de formación de imágenes espaciales en tres dimensiones**

30 Prioridad:

24.11.2011 FR 1103580

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

03.06.2019

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**MARTINERIE, FRANCIS y
HOUZELLE, STÉPHANE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 715 301 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 formación de imágenes espaciales en tres dimensiones

La presente invención trata sobre un sistema de formación de imágenes espaciales en tres dimensiones.

5 La formación de imágenes espaciales consiste en tomar imágenes a intervalos regulares de la Tierra entera o de zonas geográficas específicas, con suficiente precisión y renovación de información. La presente invención se refiere al suministro de imágenes tridimensionales o en 3D de toda o parte de la superficie terrestre.

10 Se conocen sistemas, tal como la aplicación conocida con el nombre de "Google Earth" (marca registrada) que suministra imágenes en 3D. Esta aplicación se basa en la compilación de imágenes en dos dimensiones o imágenes en 2D procedentes de fuentes heterogéneas y se actualizan muy raramente, habitualmente a intervalos de varios años.

Existen sistemas ópticos o radares de observaciones programadas para cubrir en uno o varios pases zonas geográficas de aproximadamente 10000 km². Tal solución no es global, ya que solo cubre pequeñas partes de la superficie de la Tierra.

15 También existen misiones específicas puntuales, globales, que cubren prácticamente la totalidad de las tierras emergidas, en una sola misión de corta duración. Estos sistemas no permiten una actualización periódica de la información y no cubren el campo de la formación de imágenes óptica en el dominio visible de alta resolución (resoluciones de unas decenas de cm a unos metros).

20 También existen misiones radar denominadas tándem, compuestas por dos satélites radar que vuelan en formación. Estas soluciones no permiten la actualización periódica de información y no cubren el dominio de la formación de imágenes óptica.

También se conoce el documento JP 2004 351950 que divulga un sistema de formación de imágenes espaciales del estado de la técnica.

Un objetivo de la invención consiste en paliar los problemas citados anteriormente.

25 Se propone, según un aspecto de la invención, un sistema de formación de imágenes espaciales según la reivindicación 1.

Tal sistema permite la adquisición continua de observaciones durante largos periodos de tiempo, la puesta a disposición de observaciones o imágenes estereoscópicas recurrentes, precisas y globales, así como actualizaciones más frecuentes.

Por ejemplo, dicho umbral mínimo equivale sustancialmente a 0° y/o dicho umbral máximo equivale a 30°.

30 En un modo de realización, dichos medios de control están, además, adaptados para controlar los satélites de manera que dos de dichos satélites, en los instantes respectivos de toma de imágenes de la zona geográfica de la Tierra, estén situados a un lado y a otro de una recta vertical perpendicular a dicha zona geográfica.

De este modo, el sistema propuesto suministra una configuración estereoscópica natural, sin equipamiento integrado específico.

35 Según un modo de realización, dichos instantes respectivos de toma de imágenes de la zona geográfica de la Tierra por los dos satélites son sustancialmente idénticos.

De este modo, cuando los satélites están cerca, las diferencias entre las dos adquisiciones son mínimas.

40 En un modo de realización, dichos medios de control de dichos satélites están adaptados para controlar dichos al menos dos satélites de manera que la separación entre dichos satélites permita la observación de la zona de la que se van a tomar imágenes en instantes diferentes.

La invención se comprenderá mejor tras estudiar algunos modos de realización, descritos a modo de ejemplos nada limitativos e ilustrados por los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 ilustra esquemáticamente una constelación de satélites en órbita heliosíncrona;
- la figura 2 ilustra esquemáticamente la diferencia en las condiciones geométricas de adquisición de una zona geográfica entre dos satélites del sistema situados en diferentes posiciones en un mismo plano orbital, debido a la rotación de la Tierra entre los instantes en los que uno y otro de dichos satélites sobrevuela dicha zona, según un aspecto de la invención;
- la figura 3 ilustra esquemáticamente un ángulo de incidencia con respecto al nadir de los satélites, inferior a un umbral máximo, en este caso concreto, de 30°, según un aspecto de la invención;
- 50 - la figura 4 ilustra la situación, a un lado y a otro de una recta vertical perpendicular a una zona geográfica de la

- que se van a tomar imágenes, en los instantes respectivos de toma de imágenes;
- las figuras 5, 6, 7 y respectivamente 8, 9 y 10 representan respectivamente unos sistemas de formación de imágenes espaciales tridimensionales, en casos de visibilidad simultánea, de visibilidad sucesiva y de una distancia máxima entre dos satélites sucesivos, según un aspecto de la invención.

5 En el conjunto de las figuras, los elementos que tienen las mismas referencias son similares.

La figura 1 representa un conjunto de cuatro satélites en órbita geocéntrica en un mismo plano orbital, del que se selecciona la altitud y la inclinación de manera que el ángulo entre el plano de la órbita y la dirección del sol permanezca aproximadamente constante, a pesar de la deriva anual del plano de órbita (precesión). De este modo, un satélite colocado sobre tal órbita vuelve a pasar por encima de un punto dado de la superficie terrestre a la misma hora solar local. Esto resulta deseable cuando se toman fotografías con luz visible, ya que la iluminación solar varía poco de una toma a otra (satélites meteorológicos, espía, de teledetección, etc.).

10 Un ejemplo toma en cuenta la rotación de la Tierra con respecto al plano de la órbita:
Un primer satélite pasa por encima de las zonas emergidas y toma imágenes de estas zonas, ya sea sistemáticamente en el nadir (ángulos de balanceo y de cabeceo nulos), ya sea con una orientación en balanceo y/o cabeceo y/o guiñada predeterminada, con un ángulo de incidencia con respecto al nadir superior a un umbral mínimo α_{\min} y/o inferior a un umbral máximo α_{\max} . Por ejemplo, dicho umbral mínimo equivale sustancialmente a 0° y/o dicho umbral máximo equivale a 30° .

La invención está adaptada para unas órbitas en las que la altitud máxima es de 2000 km.

20 A continuación, uno de los satélites seguidores llega a la misma latitud con un ángulo de balanceo controlado que le permite compensar la rotación de la Tierra, como se ilustra en la figura 1, y tomar imágenes de las mismas zonas que el primer satélite, de manera que, en los instantes respectivos de toma de imágenes de la zona geográfica de la Tierra, los satélites estén situados a un lado y a otro de una recta vertical perpendicular a dicha zona geográfica y que dicha zona geográfica sea vista, asimismo, por el satélite seguidor con un ángulo de incidencia, con respecto al nadir, superior a un umbral mínimo α_{\min} y/o inferior a un umbral máximo α_{\max} .

25 Estos pases sucesivos permiten adquirir una misma zona con ángulos de vista diferentes, Lo que permite a continuación, en tierra, la constitución de modelos digitales del terreno en tres dimensiones.

30 Para una separación dada de los satélites, el ángulo de balanceo del satélite seguidor no es constante y disminuye cuando se acerca a los polos. El principio implica, por tanto, un pilotado en balanceo y/o guiñada y/o cabeceo durante la toma de vistas que busca verificar que el satélite seguidor apunte siempre a la zona tomada en imágenes por el primer satélite a una latitud dada. El control de los satélites busca, de hecho, compensar el acercamiento de los meridianos en los polos.

35 La diferencia temporal, ilustrada en la figura 2, entre los instantes de toma de vistas de diferentes satélites de la misma órbita depende de la separación de los satélites en el plano orbital y del dominio de variación [α_{\min} α_{\max}] del ángulo de incidencia α de toma de vista con respecto al nadir, el nadir es la dirección de un eje imaginario que pasa por el centro de la Tierra y la posición del satélite.

El sistema de formación de imágenes espaciales en tres dimensiones según un ejemplo, comprende:

- al menos dos satélites en órbita geocéntrica en un mismo plano orbital, estando cada satélite provisto de un equipo de formación de imágenes ópticas en dos dimensiones y de unos medios de transmisión a tierra de las imágenes en dos dimensiones,
- 40 - al menos una estación de recepción de datos en tierra, conectada a una red de comunicaciones,
- al menos un centro de procesamiento de las imágenes recibidas en dos dimensiones de dichos satélites para crear unas imágenes resultantes en tres dimensiones y de difusión de dichas imágenes resultantes en tres dimensiones, estando dicho centro de procesamiento conectado a dicha red de comunicaciones, y
- 45 - un conjunto de control de dichos satélites adaptado para controlar los satélites, por ejemplo, programándolo, de manera que una zona geográfica de la Tierra de la que se van a tomar imágenes se vea con un ángulo de incidencia, con respecto al nadir, superior a un umbral mínimo α_{\min} y/o inferior a un umbral máximo α_{\max} , como se ilustra en la figura 3.

Por ejemplo, el umbral mínimo α_{\min} puede equivaler sustancialmente a 0° y/o dicho umbral máximo α_{\max} puede equivaler a 30° .

50 El conjunto de control puede, además, estar adaptado para controlar los satélites de modo que dos de dichos satélites S1 y S2, en los instantes respectivos t y t' de toma de imágenes de una zona geográfica ZG de la Tierra, estén situados a un lado y a otro de una recta vertical DV perpendicular a la zona geográfica ZG. Por ejemplo, los instantes t y t' respectivos de toma de imágenes en dos dimensiones de una zona geográfica de la Tierra por los dos satélites pueden ser sustancialmente idénticos.

55 El conjunto de control de los satélites está adaptado para controlar los satélites de manera que el espaciado entre

dichos satélites permita la observación estereoscópica del conjunto de la superficie terrestre en diversas condiciones de toma de vistas (balanceo, cabeceo de cada uno de los satélites), como se ilustra más adelante.

5 El conjunto de control de los satélites está adaptado para controlar un ángulo de balanceo y/o un ángulo de guiñada y/o un ángulo de cabeceo de los satélites, de manera que una zona geográfica de la Tierra de la que se van a tomar imágenes se vea con un ángulo de incidencia, con respecto al nadir, superior a un umbral mínimo y/o inferior a un umbral máximo.

10 Las figuras 5 y 8 ilustran una zona geográfica ZG de la que se toman imágenes en dos dimensiones, de manera simultánea, mediante dos satélites de un conjunto de satélites en órbita geocéntrica en un mismo plano orbital. En esta realización, los satélites están lo suficientemente cerca como para permitir esta adquisición simultánea a la vez que se respetan las limitaciones geométricas de adquisición.

Por ejemplo, para dos satélites de un conjunto de satélites en órbita geocéntrica a una altitud de 700 km, para unas tomas de vistas en un dominio de ángulos de incidencia comprendidos entre $\alpha_{\min} = 10^\circ$ y $\alpha_{\max} = 30^\circ$, la distancia entre los dos satélites típicamente debe estar comprendida entre 275 km y 914 km para permitir esta adquisición simultánea.

15 Las figuras 6 y 9 ilustran una zona geográfica ZG de la que se toman imágenes en dos dimensiones, en dos instantes distintos t y t' , entre los cuales la Tierra ha girado, mediante dos satélites de un conjunto de satélites en órbita geocéntrica en un mismo plano orbital. La adquisición en dos instantes distintos permite, gracias a la rotación de la Tierra, unas condiciones geométricas de adquisición variadas: en función de la separación de los satélites, las posiciones relativas en el momento de toma de vistas implican que la orientación del plano estereoscópico definido por el primer satélite, la zona geográfica de la que se forman las imágenes y el segundo satélite, pueden variar del eje del plano orbital a la perpendicular al plano orbital, barriendo así todas las condiciones de toma de vistas de dicha zona: el plano estereoscópico Norte-Sur, Este-Oeste y todos los casos intermedios son accesibles.

El control del espaciado de los satélites permite así para una zona de latitud dada, controlar las condiciones de adquisición estereoscópica.

25 Por ejemplo, para unas observaciones en los instantes respectivos de toma de imágenes de la zona geográfica de la Tierra, los satélites están situados a un lado y a otro de una recta vertical perpendicular a dicha zona geográfica y la zona geográfica es vista, asimismo, por el satélite seguidor con un ángulo de incidencia, con respecto al nadir, superior a un umbral mínimo $\alpha_{\min} = 10^\circ$ y/o inferior a un umbral máximo $\alpha_{\max} = 30^\circ$. Una separación de los satélites de aproximadamente 7400 km para una órbita heliosíncrona a 700 km de altitud permite adquisiciones entre unas latitudes que van del ecuador (0°) a 65° , en condiciones de orientación del plano de adquisición estereoscópica que varían en función de la latitud: de Este-Oeste en el ecuador, a Norte-Sur en latitudes altas. A la inversa, el ajuste de la separación de los satélites permite controlar la orientación del plano de adquisición estereoscópica para una zona a observar situada a una latitud dada.

35 Las figuras 7 y 10 ilustran una zona geográfica ZG de la que se toman imágenes en dos dimensiones, en dos instantes distintos t y t' , entre los cuales la Tierra ha girado y corresponden a una distancia máxima entre los dos satélites de un conjunto de satélites en órbita geocéntrica en un mismo plano orbital.

40 Una distancia superior haría que las proyecciones en tierra de los dominios de incidencias respectivos de cada satélite [α_{\min} , α_{\max}] no tuvieran intersecciones, al haber girado la Tierra demasiado entre los instantes respectivos de paso de los satélites con visibilidad de la zona geográfica a observar. Las condiciones geométricas de adquisición y la latitud de la zona a observar limitan, por tanto, las distancias posibles entre los satélites considerados para una adquisición.

45 Por ejemplo, para satélites en una órbita heliosíncrona a 700 km de altitud, ya no es posible observar las latitudes ecuatoriales y tropicales en condiciones geométricas conformes a la adquisición estereoscópica si los satélites están alejados típicamente a más de 9000 km. A la inversa, la observación de las zonas geográficas a una altitud muy alta con un plano estereoscópico, perpendicular al plano orbital, solo puede efectuarse con una separación muy grande de los satélites, debido al acercamiento de los meridianos en el polo.

Por ejemplo, para satélites en una órbita heliosíncrona a 700 km, una separación de 13.500 km de los satélites es necesaria para permitir tal adquisición a aproximadamente 80° de latitud.

50 La presente invención tiene, por tanto, una naturaleza global de aplicación, en el sentido geográfico, ya que permite la adquisición de escenas estéreo con una gran diversidad de parámetros:

- para una configuración dada del sistema (parametrización de la separación de los satélites) el control continuo de los instantes de adquisición y de las líneas de visión de los satélites en el interior del dominio mínimo y máximo de incidencia permiten formar imágenes de las zonas extendidas en estéreo (carácter global de aplicación);
- a la inversa, la parametrización de la separación de los satélites y de los instantes de adquisición permite cubrir todas las latitudes de la Tierra en condiciones de toma de vistas que permiten una restitución estereoscópica y en el interior del dominio de incidencia mínimo-máximo indicado;

- la parametrización de la separación de los satélites y de los instantes de adquisición permite asimismo adquirir datos según una variedad de puntos de vista con respecto a una escena dada, desde el eje del plano orbital (vistas axiales delante/atrás) hasta el eje perpendicular (vistas laterales derecha/izquierda), en el interior del dominio de incidencia mín-máx indicado.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de formación de imágenes espaciales en tres dimensiones que comprende:

- al menos dos satélites (Sat1, Sat2) en órbita geocéntrica en un mismo plano orbital, de altitud inferior o igual a 2000 km, estando al menos dos de dichos satélites (Sat1, Sat2) provisto de un equipo de formación de imágenes ópticas de dos dimensiones y de medios de transmisión a tierra de las imágenes adquiridas en dos dimensiones en una configuración de adquisición estereoscópica entre los satélites,
- al menos una estación de recepción de datos en tierra, conectada a una red de comunicaciones,
- al menos un centro de procesamiento de imágenes recibidas en dos dimensiones de dichos satélites para crear unas imágenes resultantes en tres dimensiones y de difusión de dichas imágenes resultantes en tres dimensiones, estando dicho centro de procesamiento conectado a dicha red de comunicaciones, y
- unos medios de control de dichos al menos dos de dichos satélites (Sat1, Sat2) adaptados para controlar dichos al menos dos de dichos satélites (Sat1, Sat2) de manera que una zona geográfica (ZG) de la Tierra de la que se van a tomar imágenes se vea con un ángulo de incidencia (α), con respecto al nadir, superior a un umbral mínimo ($\alpha_{\text{mín}}$) y/o inferior a un umbral máximo ($\alpha_{\text{máx}}$), mediante el control de dichos al menos dos de dichos satélites (Sat1, Sat2) de manera que el espaciado entre dichos satélites permita la observación de la zona de la que se van a formar imágenes mediante la toma de imágenes en diferentes instantes o sustancialmente idénticos, y mediante el control de dichos al menos dos de dichos satélites (Sat1, Sat2) con un ángulo de balanceo y/o ángulo de guiñada y/o ángulo de cabeceo.

2. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho umbral mínimo equivale sustancialmente a 0° y/o dicho umbral máximo equivale a 30° .

3. Sistema según la reivindicación 1 o 2, en el que dichos medios de control están, además, adaptados para controlar dichos al menos dos de dichos satélites de manera que dos de dichos satélites controlados, en los instantes respectivos (t , t') de tomas de imágenes de la zona geográfica (ZG) de la Tierra, estén situados a un lado y a otro de una recta vertical (DV) perpendicular a dicha zona geográfica (ZG).

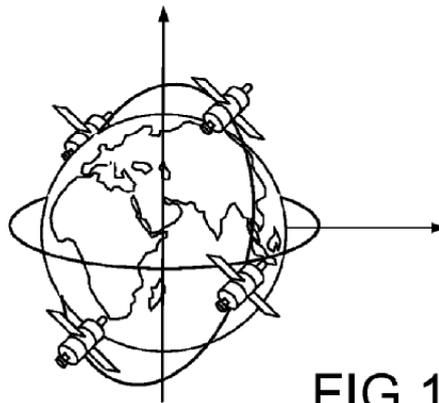


FIG.1

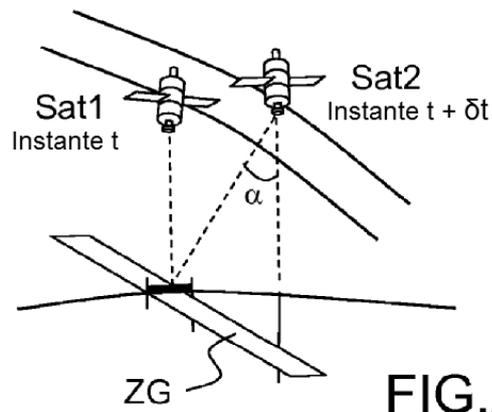


FIG.2

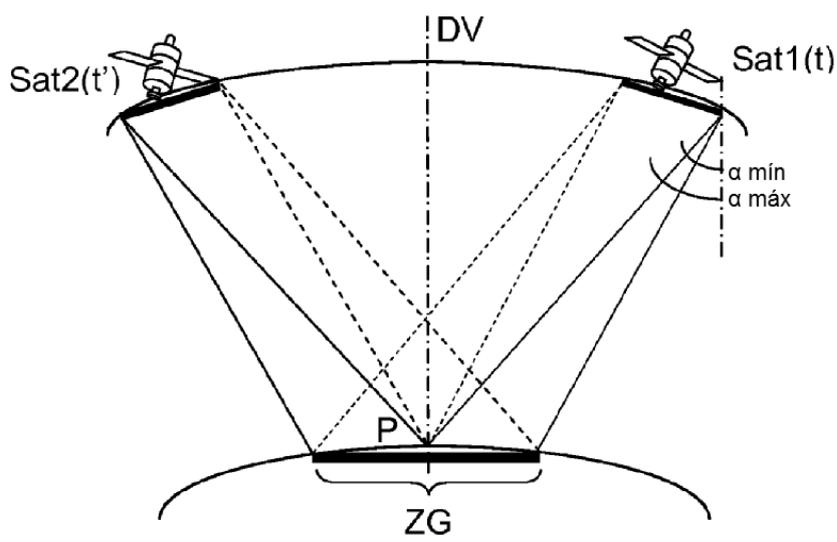


FIG.4

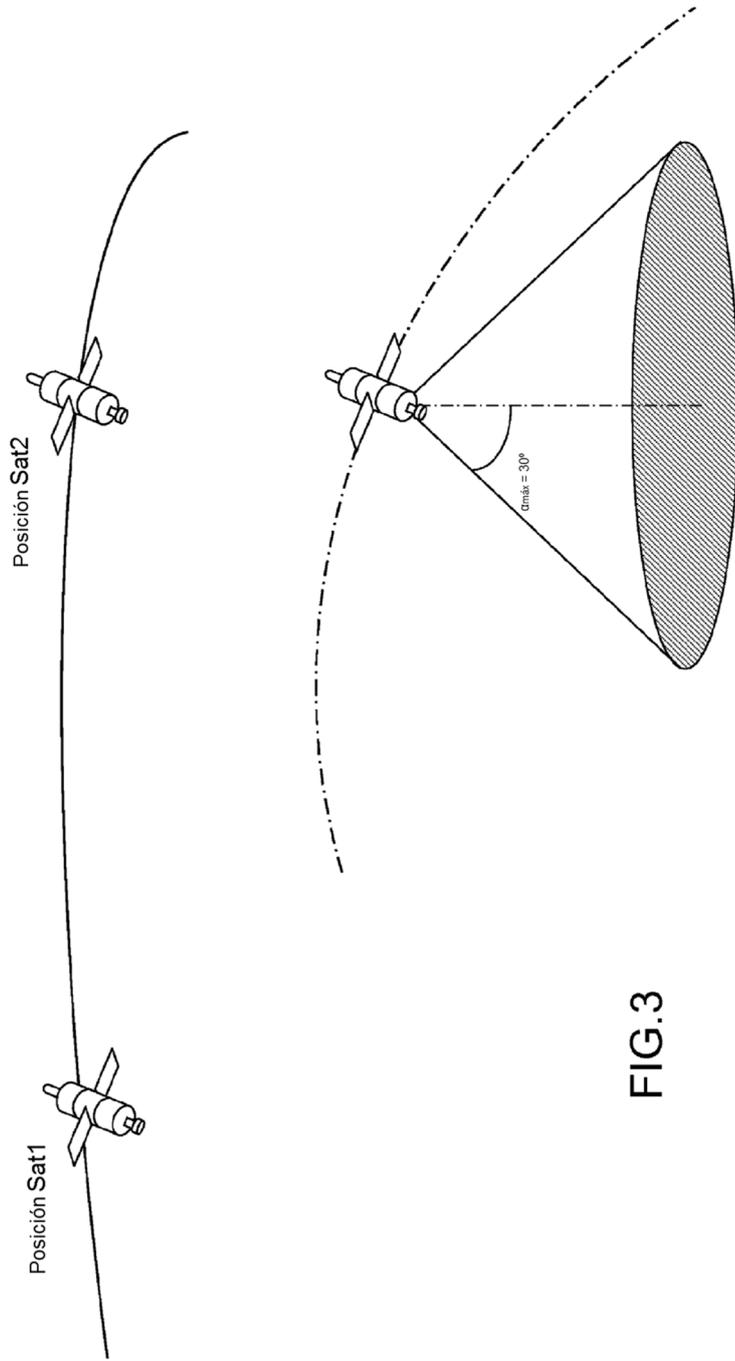


FIG.3

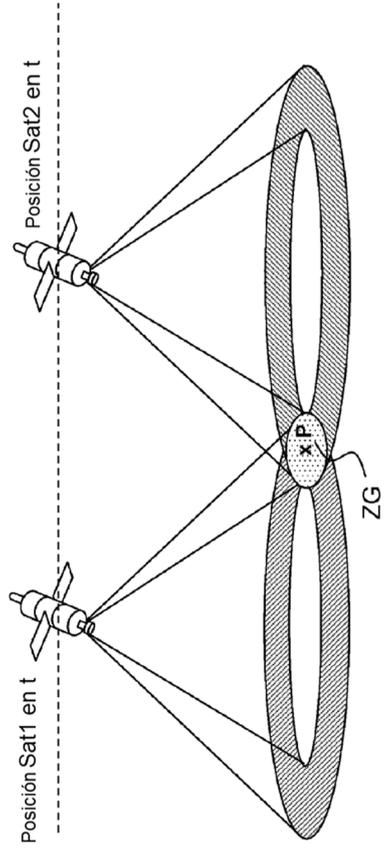


FIG.5

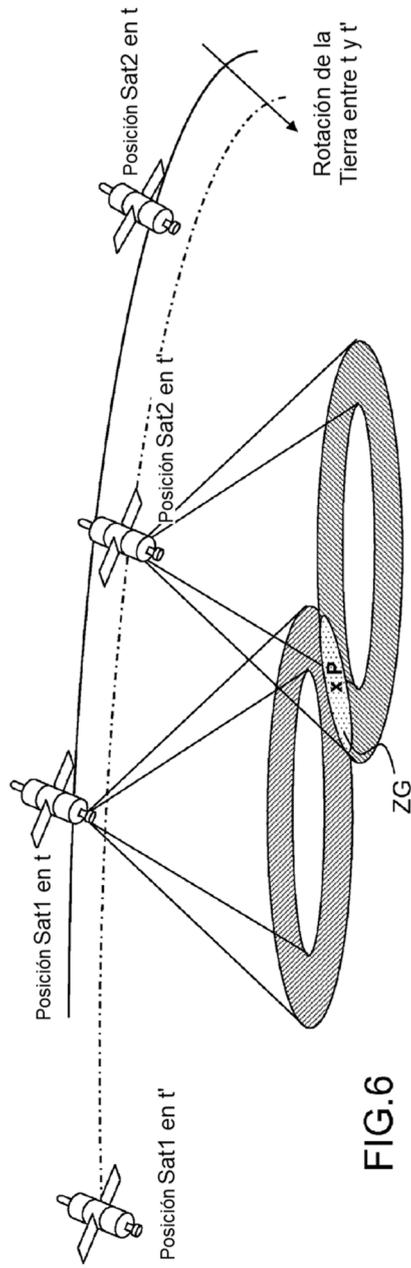


FIG.6

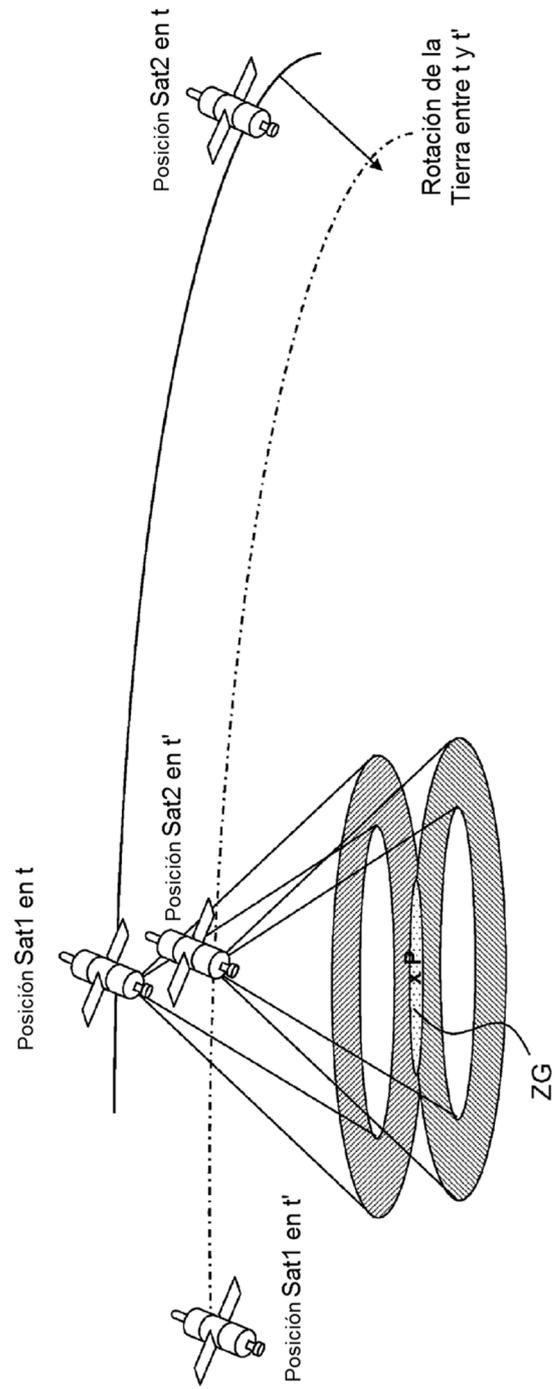


FIG.7

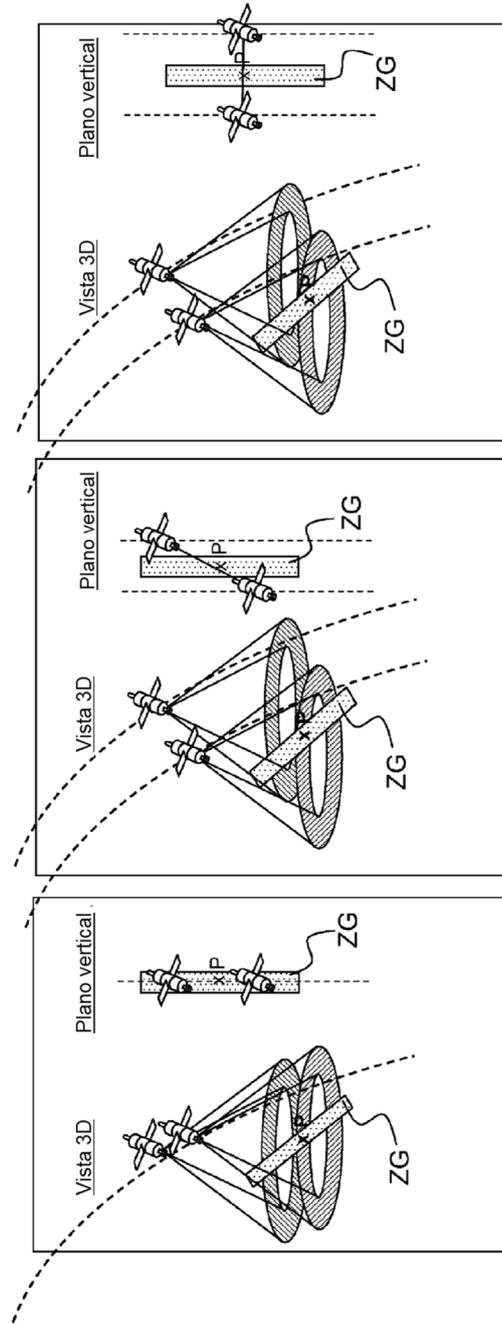


FIG.10

FIG.9

FIG.8