

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 079**

51 Int. Cl.:

B64G 1/42 (2006.01)

B64G 1/10 (2006.01)

B64G 1/24 (2006.01)

B64G 1/50 (2006.01)

B64G 1/66 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.04.2016 PCT/US2016/025537**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.10.2016 WO16161275**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.04.2016 E 16774305 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2019 EP 3277586**

54 Título: **Procedimiento de estabilización térmica de un satélite de comunicación**

30 Prioridad:

01.04.2015 US 201514676568

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.06.2020

73 Titular/es:

**WORLDVU SATELLITES LIMITED (100.0%)
1400 Key Boulevard, Floor A
Arlington VA 22209, US**

72 Inventor/es:

**SMITH, ALEXANDER D.;
ASKIJIAN, ARMEN;
FIELD, DANIEL W. y
GROSSMAN, JAMES**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 769 079 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

Procedimiento de estabilización térmica de un satélite de comunicación

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a los satélites de comunicación en general y, más en particular, a la gestión térmica de satélites de comunicación.

10 Antecedentes

Desde el lanzamiento del satélite Telstar, hace más de cincuenta años, muchos satélites artificiales han sido lanzados a diversas órbitas terrestres para ser utilizados como estaciones de retransmisión de comunicación. Dichos satélites de comunicación han logrado, a lo largo de los años, grandes mejoras en la capacidad y el coste, proporcionando, en muchos casos, conectividad de comunicación a regiones de la Tierra que están mal atendidas por otras tecnologías de comunicación.

Por lo general, la órbita de un satélite de comunicación se elige para maximizar la eficacia del satélite para las comunicaciones. Por ejemplo, un satélite de comunicación podría colocarse en una órbita terrestre baja (LEO) para conseguir un breve retardo en las comunicaciones por radio.

La FIG. 1 representa una órbita LEO polar para un satélite de comunicación. La FIG. 1 muestra un esbozo del planeta Tierra 110, con su lado diurno 120 iluminado por la luz solar 130, mientras que el lado nocturno 140 está oscuro. La FIG. 1 muestra una posible órbita LEO polar 150 para un satélite de comunicación. Una órbita polar se entiende en la técnica como una órbita que pasa por encima o cerca de las regiones polares de la Tierra. Puede observarse que la órbita LEO polar particular mostrada en la FIG. 1 está, en parte, en el lado nocturno de la Tierra. Como consecuencia, la Tierra podría impedir que un satélite en dicha órbita reciba la luz solar en partes de la órbita.

Para los expertos en la técnica resultará evidente que algunas órbitas de satélite pueden estar expuestas a la luz solar en su totalidad, mientras que otras pueden tener partes sustanciales que se encuentran en la sombra de la Tierra. Esto es especialmente cierto en el caso de las órbitas LEO. Además, a medida que la Tierra gira alrededor del Sol, el ángulo con el que la luz solar llega a la Tierra cambia. Además, la órbita de un satélite evoluciona; lo más notable es que el plano de la órbita está en precesión alrededor del eje de rotación de la Tierra. Debido a estos cambios dependientes del tiempo, una órbita que está completamente en el Sol en algún momento en el tiempo, podría estar en parte en la sombra de la Tierra sólo unos meses más tarde, y viceversa.

La luz solar, por supuesto, tiene el efecto de calentar un satélite de comunicación. Además, el satélite comprende muchos componentes que generan calor residual, tales como amplificadores de radio, baterías, ruedas de reacción y otros. Dicho calor, junto con el calor de la luz solar, debe eliminarse de manera controlada, a fin de mantener la temperatura del satélite y de sus componentes dentro de un intervalo deseado. El flujo de calor que entra y sale de un satélite procedente de todas las fuentes de calor se denomina "balance térmico" del satélite. El control del balance térmico se denomina "gestión térmica". La mayoría de las veces, el objetivo de la gestión térmica es estabilizar la temperatura del satélite o de los componentes críticos del satélite.

El aire se utiliza comúnmente para la gestión térmica en la superficie de la Tierra. Por ejemplo, los automóviles, ordenadores y otros muchos dispositivos están equipados con ventiladores para su refrigeración. El ajuste de la cantidad de refrigeración proporcionada por los ventiladores se puede lograr fácilmente, por ejemplo, encendiendo y apagando los ventiladores según sea necesario: si la temperatura de un dispositivo se vuelve demasiado alta, un ventilador se puede encender para mover el aire y enfriar el dispositivo. Cuando la temperatura baja, el ventilador se puede apagar.

En el espacio, donde no hay aire, es más difícil enfriar un objeto tal como un satélite. En la práctica, la refrigeración radiante es la única opción viable. La refrigeración radiante se basa en el hecho de que los objetos calientes emiten (irradiar) calor (en lo sucesivo, "calor radiante"). Cuanto más caliente esté el objeto, más calor radiante se emite. El calor radiante se compone de radiación electromagnética (tal como ondas de luz y de radio). De hecho, el calentamiento que experimenta un objeto cuando se expone a la luz solar se debe al calor radiante inherente a la luz solar. Las emisiones de calor radiante pueden aprovecharse para la gestión térmica de un satélite.

Los satélites suelen estar equipados con radiadores térmicos. Son componentes de satélite diseñados para ser emisores eficientes de calor radiante. Además, debido a la física del calor radiante, los radiadores térmicos son habitualmente buenos absorbentes del calor radiante que proviene de fuentes calientes tal como la luz solar. Los satélites también suelen estar equipados con escudos térmicos, que son la contrapartida de los radiadores térmicos. Por lo general, son malos absorbentes, así como malos emisores de calor radiante. Pueden considerarse el aislamiento térmico de vehículos espaciales.

Un satélite podría diseñarse con un escudo térmico en un lado y un radiador térmico en el lado opuesto. Si el satélite se orienta de tal manera que el lado del escudo térmico esté orientado hacia el sol, mientras que el lado del radiador térmico está orientado hacia el espacio vacío, la absorción de calor radiante de la luz solar caliente se reduce, mientras que la emisión de calor radiante del satélite al espacio se mejora, por lo que se puede esperar que la temperatura del satélite baje. Por el contrario, si el satélite se orienta de tal manera que el lado del radiador térmico esté orientado hacia el sol, mientras que el lado del escudo térmico está orientado hacia el espacio vacío, la absorción de calor radiante de la luz solar caliente en el satélite se mejora, mientras que la emisión de calor radiante del satélite al espacio se reduce, por lo que se puede esperar que la temperatura del satélite aumente. Las orientaciones intermedias lograrán resultados intermedios y, por lo tanto, la temperatura del satélite puede controlarse simplemente ajustando la orientación del satélite.

Como alternativa al ajuste de la orientación de todo el satélite, un satélite puede estar equipado con radiadores térmicos cuya orientación puede ajustarse en relación con el cuerpo del satélite. Por ejemplo, el transbordador espacial de la NASA estaba equipado con grandes paneles térmicos en las superficies interiores de las puertas de carga. Los ajustes de temperatura podían lograrse ajustando las orientaciones de los paneles térmicos con respecto al cuerpo del transbordador, y ajustando el flujo del refrigerante que transportaba calor desde varias partes del transbordador a los paneles térmicos.

Muchos tipos de satélites tienen limitaciones en la manera en que pueden orientarse. Por ejemplo, los satélites de observación de la Tierra pueden estar equipados con cámaras u otros sensores que deben apuntar a la superficie de la Tierra. Este requisito limita el intervalo de posibles orientaciones de dichos satélites.

En el caso de los satélites de comunicación, por lo general, un satélite comprende una o más antenas que deben apuntar con precisión a regiones de la Tierra en las que se prestarán servicios de comunicación. Por lo general, una antena se caracteriza por la forma en que transmite señales de radio. Una señal de radio transmitida por una antena se propaga a través del espacio con diferentes intensidades en diferentes direcciones. La forma geométrica correspondiente a la distribución espacial de la señal de propagación se denomina a menudo "haz de antena". El uso de la palabra "haz" refleja la forma de la forma geométrica: en lo que respecta a antenas altamente direccionales comúnmente utilizadas en los satélites de comunicación, la forma geométrica se parece mucho al haz de un foco reflector. Si las señales de radio fueran visibles, la antena tendría el aspecto de un foco reflector.

Incluso las antenas utilizadas como antenas receptoras se caracterizan por un "haz de antena". Esto se debe a que las antenas son dispositivos recíprocos y, cuando se utilizan para recibir señales de radio, una antena exhibe diferente sensibilidad para las señales de radio que llegan desde diferentes direcciones. La forma geométrica correspondiente a la distribución espacial de dicha sensibilidad variable es la misma que sería si la antena se utilizara para la transmisión. Por lo tanto, para una antena receptora, el "haz de antena" muestra las regiones del espacio desde las cuales se pueden recibir señales de manera eficiente.

Un satélite de comunicación puede tener, por ejemplo, una sola antena con un haz de antena circular. La FIG. 2 muestra un ejemplo de dicho satélite en una órbita polar LEO. El satélite LEO 210 orbita la Tierra en una órbita polar LEO 150. El satélite está equipado con una antena de radio 220 caracterizada por un haz de antena 230. La forma cónica que muestra el haz de antena 230 representa la región del espacio donde se reciben con buena intensidad señales transmitidas por la antena. En cuanto a una antena receptora, representa la región del espacio donde las señales pueden originarse y ser recibidas por el satélite con buena eficiencia. La región de la Tierra donde el haz de antena 230 interseca la superficie de la Tierra se conoce comúnmente como "área de cobertura" y se representa en la FIG. 2 como el área de cobertura 230. Es la región de la Tierra donde el satélite 210 puede proporcionar servicios de comunicación a través de la antena 220.

En la FIG. 2, el haz de antena se ilustra con una simetría circular, de modo que el área de cobertura 230 es un círculo. Además, la antena apunta "directamente hacia abajo", lo que significa que el eje de simetría circular del haz de antena incide en la superficie de la Tierra de manera perpendicular, y el punto donde incide en la superficie de la Tierra es el punto de subsatélite, que se muestra en la FIG. 2 como el punto de subsatélite 240. Un eje que se extiende desde un satélite hasta la Tierra e incide en la superficie de la Tierra de manera perpendicular se denomina comúnmente eje de "guiñada" y se representa en la FIG. 2 como el eje de guiñada 250. El área de cobertura circular 230 está centrada alrededor del punto de subsatélite.

Debido a la simetría circular, el satélite LEO puede girar libremente alrededor del eje de guiñada sin afectar a la forma del área de cobertura. Dicha maniobra se denomina "dirección de guiñada" y puede utilizarse ventajosamente para la gestión térmica del satélite. El satélite puede estar equipado con una combinación de radiadores térmicos y escudos térmicos en diferentes lados del satélite, y puede girar, según sea necesario, para exponer un lado u otro a la luz solar, sin afectar a la forma y el tamaño del área de cobertura 230.

En la práctica, la dirección de guiñada no es una opción para muchos satélites de comunicación que están equipados con múltiples antenas. Con dichos satélites, las comunicaciones por radio se producen de acuerdo con un patrón geométrico de múltiples haces de antena, denominado habitualmente "patrón de haz" del satélite. El patrón de haz debe apuntar con precisión hacia la superficie de la Tierra para generar un patrón deseado de áreas de

cobertura. Los patrones de las áreas de cobertura están cuidadosamente diseñados para lograr un rendimiento deseado, y cualquier alteración de los patrones puede ser muy perjudicial. Esto es especialmente cierto cuando el satélite forma parte de una constelación de satélites en la que los servicios de comunicación prestados por un satélite deben coordinarse con los servicios de comunicación prestados por otros satélites.

En muchos satélites de comunicación, las antenas están fijadas rígidamente al cuerpo del satélite. Las posiciones relativas y las orientaciones relativas de las antenas están diseñadas para lograr un patrón de haz deseado; es decir, un patrón de haz que, cuando apunta adecuadamente hacia la superficie de la Tierra, da como resultado un patrón deseado de áreas de cobertura. La rotación del satélite alrededor del eje de guiñada, o cualquier otro eje, va acompañada de una rotación del patrón de haz. Cualquier rotación sustancial da normalmente como resultado una distorsión inaceptable del patrón de áreas de cobertura. Por lo tanto, la gestión térmica a través de la dirección de guiñada no es una opción para dichos satélites.

Una posible solución es utilizar antenas orientables. Dichas antenas generan haces cuya orientación puede ajustarse. Son posibles medios tanto mecánicos como electrónicos para la orientación del haz. El satélite puede entonces rotar mientras las antenas se orientan para mantener el patrón de haz deseado.

Otra posible solución es dotar al satélite de radiadores térmicos más adaptables. Por ejemplo, los radiadores térmicos pueden montarse en el cuerpo del satélite con cardanes y motores que les permitieran moverse con respecto al cuerpo del satélite. Su ángulo de exposición a la luz solar se puede cambiar según sea necesario para lograr la gestión térmica deseada. Adicionalmente, los radiadores térmicos pueden estar equipados con conmutadores térmicos que inhabilitan los radiadores cuando es necesario, o con un sistema para hacer circular refrigerante hacia los paneles donde el patrón de circulación de refrigerante puede ajustarse por medio de válvulas y bombas según sea necesario para conseguir la gestión térmica deseada.

Estas soluciones y otras disponibles en la técnica anterior tienen desventajas significativas tales como un coste adicional, un mayor peso del satélite y un menor rendimiento. En el futuro, sistemas de satélites de comunicación con diseños de satélites pequeños, ligeros, compactos y de bajo coste proporcionarán una gama de nuevos servicios. Para que estos satélites sean una realidad, se necesita un procedimiento diferente para la gestión térmica.

La patente estadounidense n.º 7.357.356 de Goodzeit et al. describe un sistema que proporciona control de actitud y orientación de antena para una nave espacial que presenta una pluralidad de ruedas de reacción y una pluralidad de antenas. El sistema incluye lógica de control configurada para determinar un ángulo beta, que es el ángulo entre un vector solar y un plano orbital del vehículo espacial, y pasar de forma alterna a un primer modo o un segundo modo para proporcionar control de actitud y orientación de antena en función del ángulo beta. La estrategia de control de actitud de vehículos espaciales mantiene el vector solar en el plano de guiñada/balanceo en todo momento, incluso para ángulos beta bajos, y al mismo tiempo evita las altas velocidades angulares y los grandes ángulos de rotación que de otro modo se necesitarían para implementar una estrategia estándar de apuntamiento al nadir del Sol.

Resumen

La presente invención proporciona un procedimiento para cambiar el balance térmico de un satélite de comunicación en órbita alrededor de la Tierra de acuerdo con la reivindicación 1.

Las formas de realización de la presente invención se utilizan con satélites de comunicación cuyo patrón de haz tiene simetría rotacional discreta. Este tipo de simetría significa que, si bien el patrón de haz no tiene simetría circular, hay un eje de simetría y hay ciertos ángulos por los cuales el patrón de haz puede rotar de modo que, después de la rotación, el nuevo patrón de haz es funcionalmente idéntico al patrón de haz original. Por ejemplo, las pirámides egipcias, cuyas bases son cuadrados perfectos, tienen dicha simetría. Una de dichas pirámides puede rotar alrededor de un eje vertical en 90°, 180° o 270° para producir una copia idéntica de sí misma.

Si el patrón de haz tiene simetría rotacional discreta, todo el satélite puede rotar en uno de los ángulos de simetría, y el nuevo patrón de haz será funcionalmente idéntico al original. Después de la rotación, el satélite puede seguir prestando servicios de comunicación a las mismas zonas con los mismos parámetros de rendimiento.

Por supuesto, la rotación del satélite no puede ser instantánea y, si bien el satélite rota en un ángulo de simetría, las posiciones intermedias pueden dar como resultado patrones de áreas de cobertura que no son aceptables o que no proporcionan una cobertura adecuada, o ambas cosas. Las formas de realización de la presente invención aprovechan dos características de algunos sistemas de satélites: (i) Hay regiones de la Tierra en las que se dispone de más satélites de los que se necesitan para proporcionar cobertura; y (ii) hay regiones de la Tierra que están tan escasamente pobladas que una interrupción de los servicios de comunicación en esas zonas provoca un impacto aceptable en el rendimiento global del sistema. Aprovechando la primera característica, un satélite puede realizar una rotación y apagar todos sus haces de comunicación mientras realiza la rotación siempre que haya otros satélites disponibles para proporcionar servicios de comunicación. Aprovechando la segunda característica, el satélite puede realizar una rotación apagando, o no, sus haces, si la interrupción asociada es tolerable.

La rotación del satélite expone diferentes partes del satélite a la luz solar y, por lo tanto, puede utilizarse para la gestión térmica del satélite. En formas de realización de la presente invención, un satélite está equipado con diferentes radiadores térmicos y/o diferentes escudos térmicos en diferentes lados del satélite. La gestión térmica se logra mediante elecciones juiciosas de parámetros orbitales, patrón de haz y coordinación con otros satélites que permiten rotar el satélite cuando es necesario mantener la temperatura dentro de un intervalo deseado. Las formas de realización de la presente invención pueden proporcionar reducciones sustanciales en el peso y el coste del subsistema de gestión térmica de un satélite de comunicación.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 representa una órbita terrestre baja (LEO) polar para un satélite de comunicación.

La FIG. 2 representa un satélite de comunicación en una órbita LEO. El satélite tiene una sola antena de comunicación que genera un haz de antena con simetría circular centrada alrededor del eje de guiñada.

La FIG. 3 representa un satélite de comunicación que se usa en una órbita LEO. El satélite tiene múltiples antenas de comunicación y múltiples radiadores térmicos.

La FIG. 4 ilustra el patrón de múltiples haces generado por las múltiples antenas del satélite de la FIG. 3.

La FIG. 5 representa un patrón de áreas de cobertura que podría generarse, en la superficie de la Tierra, por el patrón de múltiples haces de la FIG. 4.

La FIG. 6 ilustra la relación de las órbitas de satélite con la dirección de llegada de la luz solar. También ilustra cómo se define el ángulo beta y cómo evoluciona con el tiempo.

Descripción detallada

La FIG. 3 representa un satélite 300 adecuado para algunas formas de realización de la presente invención. El satélite está optimizado para usarse en una órbita LEO. El satélite comprende paneles solares 310 y 320 para generar energía eléctrica a partir de la luz solar. Los paneles solares están abisagrados, tal como en la bisagra 340, y los motores se utilizan para orientar los paneles solares según sea necesario para que los paneles se expongan a la luz solar. El satélite comprende además dos antenas de radio 350 y 360 que también están en monturas abisagradas y pueden orientarse según sea necesario para apuntar a lugares específicos en la superficie de la Tierra. El satélite comprende además una disposición de dieciséis antenas de comunicación, donde las antenas están fijadas rígidamente al cuerpo 380 del satélite a través de un panel de soporte 370. Las dieciséis antenas se representan como recipientes redondos idénticos, donde una de ellas está etiquetada como 380-1.

Debe observarse que el satélite se muestra "boca abajo". Cuando está en órbita, las dieciséis antenas apuntan hacia la superficie de la Tierra. Esto se ilustra en la FIG. 4, donde cada una de las dieciséis antenas genera un haz de antena separado, de modo que la disposición de dieciséis antenas genera un patrón de haz 400 de dieciséis haces. En la superficie de la Tierra, el patrón de haz da como resultado un patrón de dieciséis áreas de cobertura, una de las cuales está etiquetada como área de cobertura 410.

El satélite 300 comprende además cinco radiadores térmicos 391-395 en cuatro lados del cuerpo del satélite. En particular, los radiadores térmicos 391 y 392 se denominan radiador +Y y radiador -Y, respectivamente, y los radiadores térmicos 393 y 394 se denominan radiador +X y radiador de batería +X, respectivamente. El radiador restante está oculto a la vista en la representación de la FIG. 3; el radiador térmico 395 se encuentra en el lado inferior del satélite, tal como se ilustra en la FIG. 3, y se denomina radiador -Z. Los cinco radiadores térmicos no son idénticos en tamaño, capacidad y funcionalidad. Esto se debe, en parte, a las limitaciones de diseño de los satélites; por ejemplo, el radiador de batería +X forma parte del módulo de batería y, por lo tanto, su función principal es enfriar la batería. Otros radiadores están acoplados a otros módulos de satélite a través de conductos térmicos.

El satélite 300 comprende además un escudo térmico. Está oculto a la vista en la representación de la FIG. 3; se encuentra en el lado inferior del satélite, tal como se ilustra en la FIG. 3, y está etiquetado como 330. La disponibilidad de diferentes radiadores y de un escudo térmico en diferentes lados del satélite permite que el satélite aproveche las formas de realización de la presente invención, como resultará evidente para los expertos en la técnica después de leer esta divulgación.

La FIG. 5 representa un patrón de áreas de cobertura 500 generado en la superficie de la Tierra por el satélite 300. El patrón consiste en dieciséis áreas de cobertura 501 a 516. En la FIG. 5, se representan como círculos idénticos que se superponen lo suficiente para garantizar que ninguna región quede sin cubrir cerca de los límites entre las áreas de cobertura. Se puede observar que el patrón de áreas de cobertura 400 tiene simetría rotacional discreta.

La simetría rotacional discreta es una propiedad de algunas formas geométricas. En cuanto a las formas bidimensionales, tal como el patrón de áreas geográficas 500, se dice que la forma tiene simetría rotacional discreta si tiene el mismo aspecto después de la rotación en algunos ángulos. La palabra 'discreta' se utiliza para distinguir este tipo de simetría rotacional con respecto a la simetría circular. Una forma con simetría circular tiene el mismo aspecto después de la rotación en *cualquier* ángulo; por el contrario, una forma con simetría rotacional discreta solo tiene el mismo aspecto si el ángulo de rotación tiene ciertos valores, con sólo un número finito de posibles valores de ángulo que son mayores que 0° y menores que 360°. (Cualquier forma tiene el mismo aspecto después de una

rotación de 0° o 360°; es lo mismo a que no haya rotación). Estos valores de ángulo se denominan "ángulos de simetría". En lo que respecta al patrón de áreas de cobertura 500, el patrón tiene el mismo aspecto si rota 90°, 180° y 270°, y estos son los tres ángulos de simetría para esta forma. Para los fines de esta divulgación y de las reivindicaciones adjuntas, las rotaciones en un ángulo que es un múltiplo, positivo o negativo, de un ángulo de simetría se considerarán equivalentes a una rotación en un ángulo de simetría.

La propiedad de simetría rotacional discreta también se puede definir para formas tridimensionales, tal como, por ejemplo, el patrón de haz tridimensional generado por la disposición de antenas 370. Se dice que una forma tridimensional tiene la propiedad de simetría rotacional discreta si tiene el mismo aspecto después de rotar en algunos ángulos alrededor de un eje de rotación. El eje de rotación para el que existe simetría rotacional discreta se denomina "eje de simetría". Al igual que con las formas bidimensionales, sólo hay un número finito de posibles ángulos de simetría mayores que 0° y menores que 360° para rotaciones alrededor de un eje de simetría, pero puede haber múltiples ejes de simetría. Por ejemplo, un cubo tiene múltiples ejes de simetría: puede girar 90°, 180° y 270° alrededor de cualquier eje que sea paralelo a uno de sus bordes, y seguirá teniendo el mismo aspecto.

En el caso del patrón de haz 400 generado por la disposición de antenas 370, las dieciséis antenas se disponen intencionadamente, entre sí, de modo que el patrón de haz tenga simetría rotacional discreta con ángulos de simetría de 90°, 180° y 270°. De hecho, la simetría rotacional discreta del patrón de áreas de cobertura 500 es una consecuencia de la simetría rotacional discreta del patrón de haz 400, que se obtiene cuando el satélite 300 apunta directamente hacia la superficie de la Tierra, de modo que el eje de simetría del patrón de haz es perpendicular a la superficie de la Tierra.

Un patrón de haz con simetría rotacional discreta es ventajoso porque el satélite puede rotar en un ángulo de simetría alrededor de un eje de simetría sin dar como resultado un cambio del patrón de haz. En alguna forma de realización de la presente invención, dicho satélite rota en un ángulo de simetría con el fin de exponer diferentes lados del satélite a la luz solar en diferentes momentos, todo ello sin cambiar nunca el patrón de haz.

Cabe señalar que un patrón de haz con simetría rotacional discreta no genera necesariamente un patrón de áreas de cobertura que tiene simetría rotacional discreta. Y, viceversa, es posible generar un patrón de áreas de cobertura que tenga simetría rotacional discreta incluso con un patrón de haz que no tenga simetría rotacional discreta. Por ejemplo, si el satélite 300 se inclina de modo que el eje de simetría del patrón de haz no incide en la superficie de la Tierra de manera perpendicular, el patrón resultante de áreas de cobertura no tendrá simetría rotacional discreta, incluso aunque el patrón de haz aún tenga simetría rotacional discreta. La propiedad de simetría rotacional discreta del patrón de haz es intrínseca al diseño del satélite y es independiente de cómo el patrón de haz incide en la superficie de la Tierra. Las formas de realización de la presente invención se pueden utilizar ventajosamente con satélites que generan un patrón de haz con simetría rotacional discreta independientemente de cómo se inclinan los satélites o cómo los patrones de haz inciden en la superficie de la Tierra.

En cualquier sistema de ingeniería del mundo real, los diseñadores del sistema establecen especificaciones para el rendimiento del sistema en su conjunto y de sus subsistemas. Dichas especificaciones siempre comprenden tolerancias que deben cumplirse para que el sistema funcione como se desee. Esto también es cierto, por supuesto, en el caso de los satélites de comunicación y sus patrones de cobertura: los parámetros del patrón de haz de un satélite de comunicación deben estar dentro de ciertos intervalos de tolerancia para que el satélite funcione como se desee. Para los fines de esta divulgación y de las reivindicaciones adjuntas, se considera que el patrón de haz de un satélite de comunicación tiene simetría rotacional discreta si es posible rotar el satélite en un ángulo de simetría alrededor de un eje de simetría de modo que tanto el patrón de haz inicial como el patrón de haz final cumplan con las mismas tolerancias de diseño.

Una caracterización completa de las señales de radio transmitidas (o recibidas) por una antena debe incluir una indicación del estado de polarización de las señales de radio. Por consiguiente, se podría decidir el incluir una especificación de polarización en la definición de un patrón de haz. Sin embargo, algunos diseños de receptores de radio son independientes de la polarización (es decir, funcionan con cualquier estado de polarización), otros son flexibles a la polarización (es decir, adaptan su funcionamiento según sea necesario para funcionar con los estados de polarización disponibles), mientras que otros solo pueden trabajar con ciertos estados de polarización y no con otros. A los expertos en la técnica, después de leer esta divulgación, les resultará evidente cómo elaborar y utilizar algunas formas de realización de la presente invención en las que la polarización se incluye en la definición de simetría rotacional discreta del patrón de haz, y otras formas de realización en las que la polarización no se incluye, dependiendo de las capacidades de los sistemas de radio. Si se incluye polarización, se puede considerar que un patrón de haz con simetría rotacional discreta tiene el mismo aspecto, después de una rotación en un ángulo de simetría, si su forma geométrica tiene el mismo aspecto y si el patrón de polarizaciones de señales transmitidas y recibidas también tiene el mismo aspecto.

En formas de realización de la presente invención, los satélites realizan una rotación alrededor del eje de simetría del patrón de haz de vez en cuando. La rotación es en un ángulo de simetría, de modo que el patrón de haz permanece inalterado después de la rotación y los satélites siguen prestando servicios de comunicación sin interrupciones o impedimentos. Por supuesto, después de una rotación, diferentes antenas dan servicio a diferentes

áreas de cobertura; sin embargo, es bien conocido en la técnica cómo reconfigurar la conectividad de canal a bordo de los satélites, o en tierra, de modo que los canales de comunicación apropiados vayan a los destinos apropiados.

La ventaja de rotar un satélite de acuerdo con las formas de realización de la presente invención deriva del hecho de que, mientras que el patrón de haz tiene simetría rotacional discreta, el patrón de radiadores térmicos y escudos térmicos no tiene necesariamente dicha simetría. Algunos lados del satélite pueden ser más eficaces que otros en la emisión o absorción de calor radiante, y diferentes módulos de satélite también pueden estar acoplados de diferente manera, térmicamente, con diferentes lados del satélite. Así, por ejemplo, si la batería del satélite 300 se está sobrecalentando, podría ser ventajoso rotar el satélite de modo que el radiador de batería +X 394 esté orientado de manera opuesta al sol. Por el contrario, si, por ejemplo, el satélite se está enfriando demasiado debido a largos intervalos de tiempo transcurridos en la sombra de la Tierra, podría resultar beneficioso rotar el satélite de tal manera que el escudo térmico 330 esté orientado de manera opuesta al Sol, mientras que los radiadores térmicos 393 y 394 están orientados hacia el Sol, de modo que el calor de la luz solar se pueda absorber más fácilmente.

En general, la capacidad de rotar un satélite cuando es necesario sin interrupción de los servicios de comunicación proporciona formas de realización de la presente invención con la capacidad de realizar la gestión térmica del satélite de una manera similar a la dirección de guiñada de la técnica anterior, con ventajas similares, incluso aunque el patrón de haz del satélite no tenga simetría circular.

Es importante señalar que, aunque el patrón de haz permanece inalterado después de una rotación de satélite en un ángulo de simetría, dicha rotación no puede realizarse instantáneamente. De hecho, en un satélite típico, una rotación se logra ajustando el índice de rotación de una o más de las ruedas de reacción, y el índice de rotación alcanzable depende de la masa de las ruedas de reacción involucradas. En la mayoría de los satélites, es deseable mantener esa masa lo más baja posible, con la consecuencia de que el índice de rotación alcanzable de un satélite típico es bastante bajo.

A medida que el satélite transita a través de ángulos intermedios, mientras realiza una rotación en un ángulo de simetría, el patrón de haz no es lo que se supone que debe ser y la capacidad del satélite para proporcionar servicios de comunicación se ve gravemente afectada. Peor aún, el patrón de cobertura no deseado resultante podría causar problemas de interferencia con los patrones de cobertura de satélites adyacentes. Por esta razón, en algunas formas de realización de la presente invención, algunos o todos los haces del satélite se apagan mientras el satélite realiza una rotación. Una vez completada la rotación, con el satélite rotado en un ángulo de simetría, los haces pueden encenderse de nuevo.

La interrupción que ocurre mientras un satélite realiza una rotación es aceptable, en muchas formas de realización de la presente invención, debido a dos características de algunos sistemas de satélites: (i) Hay regiones de la Tierra en las que se dispone de más satélites de los que se necesitan para proporcionar cobertura; y (ii) hay regiones de la Tierra que están tan escasamente pobladas que una interrupción de los servicios de comunicación en dichas zonas provoca un impacto aceptable en el rendimiento global del sistema.

La primera característica es ventajosa porque, si hay cobertura de satélite redundante, uno de los satélites puede apagar sus haces mientras que otros satélites siguen proporcionando servicios de comunicación. Cuando un satélite necesita realizar una rotación, el sistema puede planificar dicha rotación para cuando el satélite esté por encima de una de esas regiones en las que se dispone de cobertura redundante. Después, el satélite puede apagar sus haces y realizar la rotación mientras que otros satélites que no están realizando una rotación están configurados para prestar servicios de comunicación.

La segunda característica es ventajosa porque el coste de la gestión térmica de un satélite por medios distintos a una forma de realización de la presente invención puede ser muy alto. Al diseñar un sistema de satélites de comunicación, habrá un equilibrio entre la ventaja de realizar la gestión térmica a través de una forma de realización de la presente invención y la necesidad de prestar servicios de comunicación continua en todas partes. Podría resultar rentable tolerar una interrupción ocasional del servicio en alguna región escasamente poblada de la Tierra a cambio de la ventaja de poder cambiar el balance térmico de un satélite haciéndolo rotar, en lugar de tener que dotar al satélite de tecnología alternativa de gestión térmica.

En algunas formas de realización de la presente invención, podría ser ventajoso realizar rotaciones de satélite con frecuencia, posiblemente incluso múltiples veces dentro de un período orbital, lo que podría ser posible con una alteración modesta del rendimiento del sistema, como se analizó en el párrafo anterior. En otras formas de realización, dichas rotaciones pueden ser infrecuentes. Por ejemplo, a medida que la orientación de una órbita polar relativa al Sol cambia de un mes al siguiente, una órbita que, en algún momento, tenía largos períodos de tiempo en la sombra de la Tierra podría encontrarse completamente al Sol un par de meses más tarde. En lo que respecta a satélites en dicha órbita, podría ser ventajoso realizar una rotación una vez cada pocos meses, según sea necesario, para mantener la cantidad media de calor recibido del Sol aproximadamente constante.

La FIG. 6 ilustra una forma de realización de la presente invención en la que se realizan dichas rotaciones infrecuentes. En la FIG. 6, la Tierra 110 se ve desde arriba del Polo Norte. La luz solar 130 llega desde la izquierda,

de modo que el lado nocturno de la Tierra está a la derecha y el lado diurno está a la izquierda. La iluminación y posición de la Tierra son coherentes con la fecha del 22 de marzo a las 15:40 UT.

La Figura 6 ilustra tres órbitas polares que, en esta vista, aparecen en el borde como tres líneas rectas 610, 620 y 630. La órbita polar 610 está alineada con el terminador día-noche. Un satélite que orbita a lo largo de la órbita 610 siempre está expuesto a la luz solar. El ángulo entre el plano de la órbita y la dirección de llegada de la luz solar se denomina "ángulo beta". Para esta órbita 610, el valor del ángulo beta es de 90° . Las otras dos órbitas, 620 y 630, tienen ángulos beta de $+30^\circ$ y -30° , respectivamente. Los satélites en estas dos órbitas pasan una gran fracción del tiempo en la sombra de la Tierra. Evidentemente, es poco probable que una orientación de satélite que logre un buen balance térmico para los satélites en la órbita 610 lo haga para los satélites en las órbitas 620 y 630.

La FIG. 6 ilustra el hecho de que todas las órbitas polares se intersecan entre sí por encima de los polos de la Tierra. En un sistema de satélites basado en una pluralidad de órbitas polares, hay muchos más satélites por encima de cada polo, en un momento dado, que por encima de cualquier otro lugar de la Tierra. Por lo tanto, los polos son un buen lugar para que los satélites apaguen sus haces y realicen una rotación cuando sea necesario. Dado que los satélites pasan por encima de uno de los dos polos dos veces en cada órbita, hay muchas oportunidades para que realicen rotaciones. Para órbitas polares LEO similares a las representadas en la FIG. 6, dichas oportunidades se producen con más frecuencia que una vez a la hora.

A medida que avanza el año y cambia la dirección de llegada de la luz solar, los planos orbitales de las órbitas polares se mantienen bastante estables. Por lo tanto, los ángulos beta de las órbitas cambian en respuesta al ángulo cambiante de llegada de la luz solar. En particular, dos meses después de la fecha representada en la FIG. 6, la dirección de llegada de la luz solar habrá cambiado en aproximadamente 60° . La luz solar llegará desde abajo a la izquierda, en la representación de la FIG. 6. El ángulo beta de la órbita 620 se aproximará a los 90° , y toda la órbita estará bajo la luz solar. Por el contrario, la órbita 610 tendrá un ángulo beta cercano a -30° y una gran parte de la misma estará en la sombra de la Tierra. Evidentemente, la orientación de satélite que consiguió un buen balance térmico para los satélites en la órbita 610 el 22 de marzo ya no será una buena orientación dos meses después. Lo mismo ocurre, en general, con las demás órbitas. De acuerdo con algunas formas de realización de la presente invención, los satélites en la órbita 610 habrán realizado una rotación en algún momento en el tiempo entre el 22 de marzo y dos meses más tarde, para mantener una orientación con un buen balance térmico. En algunas formas de realización, puede haber uno o más valores predeterminados del ángulo beta en los que se realiza una rotación. Cuando el ángulo beta de una órbita alcanza uno de esos valores, se realiza una rotación predeterminada para conseguir un balance térmico diferente más apropiado para el ángulo beta modificado.

Aunque muchos de los ejemplos de esta memoria descriptiva se refieren a órbitas polares, para los expertos en la técnica, después de leer esta divulgación, les resultará evidente cómo realizar y utilizar formas de realización de la presente invención en las que las órbitas de satélite no son polares. En particular, la mayoría de las afirmaciones y propiedades de esta divulgación que están relacionadas con órbitas polares también son aplicables a órbitas casi polares, es decir, órbitas con un alto ángulo de inclinación. Además, muchas afirmaciones y propiedades son aplicables a cualquier órbita LEO o incluso a otros tipos de órbita. A los expertos en la técnica, después de leer esta divulgación, les resultará evidente cómo realizar y utilizar formas de realización de la presente invención que se pueden utilizar con satélites que se encuentran en diversos tipos de órbitas, y a los expertos en la técnica, después de leer esta divulgación, les resultará evidente cómo los conceptos y procedimientos de la presente invención se pueden adaptar a sistemas de satélite que se prestan a dichas adaptaciones.

Debe entenderse que esta divulgación solo enseña uno o más ejemplos de una o más formas de realización ilustrativas, y que los expertos en la técnica pueden concebir fácilmente muchas variaciones de la invención después de leer esta divulgación, y que el alcance de la presente invención está definido por las reivindicaciones que acompañan a esta divulgación.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para cambiar el balance térmico de un satélite de comunicación (300) en órbita alrededor de la Tierra (110), donde el satélite (300) tiene una pluralidad de antenas de comunicación (380-1) que dan como resultado un patrón de haz (400), donde el patrón de haz tiene un eje de simetría, comprendiendo el procedimiento:
5 rotar el satélite (300) alrededor del eje de simetría del patrón de haz (400) del satélite (300), caracterizado por que el patrón de haz (400) posee simetría rotacional discreta alrededor del eje de simetría,
10 y por que el satélite (300) rota alrededor del eje de simetría en un ángulo de simetría de la simetría rotacional discreta.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el satélite comprende uno o más radiadores térmicos (391, 392, 393, 394, 395), y en el que rotar el satélite (300) provoca un cambio en la cantidad de calor radiante de la luz solar recibida por el uno o más radiadores térmicos (391, 392, 393, 394, 395).
15
3. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la rotación del satélite (300) se produce cuando el satélite está por encima de una región escasamente poblada de la Tierra (110).
4. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el satélite (300) está en una órbita polar (150), y en el que la rotación del satélite (300) se produce cuando el satélite está por encima de una región polar.
20
5. El procedimiento según la reivindicación 4, en el que la rotación del satélite (300) se produce cuando el ángulo beta de la órbita polar (150) alcanza un valor predeterminado.
6. El procedimiento según la reivindicación 5, en el que el valor predeterminado se ajusta para reducir las variaciones de temperatura en el satélite (300).
25
7. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que los haces del patrón de haz (400) se apagan durante la rotación del satélite (300).
30
8. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el eje de simetría es un eje de guiñada (250).
9. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el ángulo de simetría es uno de 90°, 180° o 270°.
10. El procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además:
35 supervisar la temperatura del satélite de comunicación (300); y
 en respuesta a que la temperatura alcance un valor predeterminado, rotar el satélite (300) alrededor del eje de simetría del patrón de haz (400) del satélite (300),
40 en el que el patrón de haz (400) tiene simetría rotacional discreta alrededor del eje de simetría, y la rotación es en el ángulo de simetría de la simetría rotacional discreta.
11. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que la rotación del satélite (300) se produce trascurrido un retardo después de que la temperatura alcance el valor predeterminado.
45
12. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que la rotación del satélite (300) se produce cuando el satélite (300) está por encima de una región escasamente poblada de la Tierra (110).
13. El procedimiento según la reivindicación 10, en el que los haces del patrón de haz (400) se apagan durante la rotación del satélite (300).
50

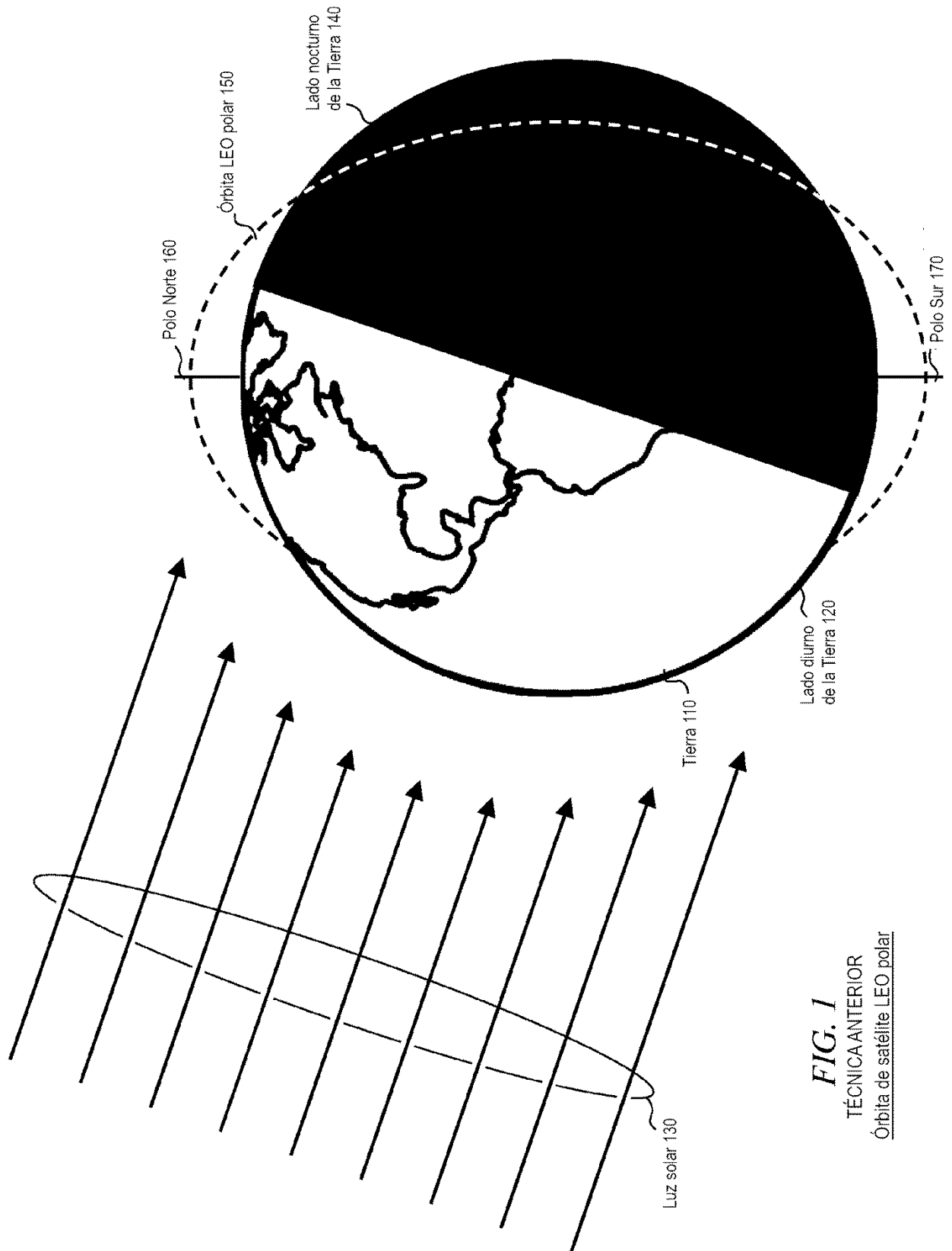


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR
Órbita de satélite LEO polar

FIG. 2
TÉCNICA ANTERIOR
Haz de antena circular de satélite LEO

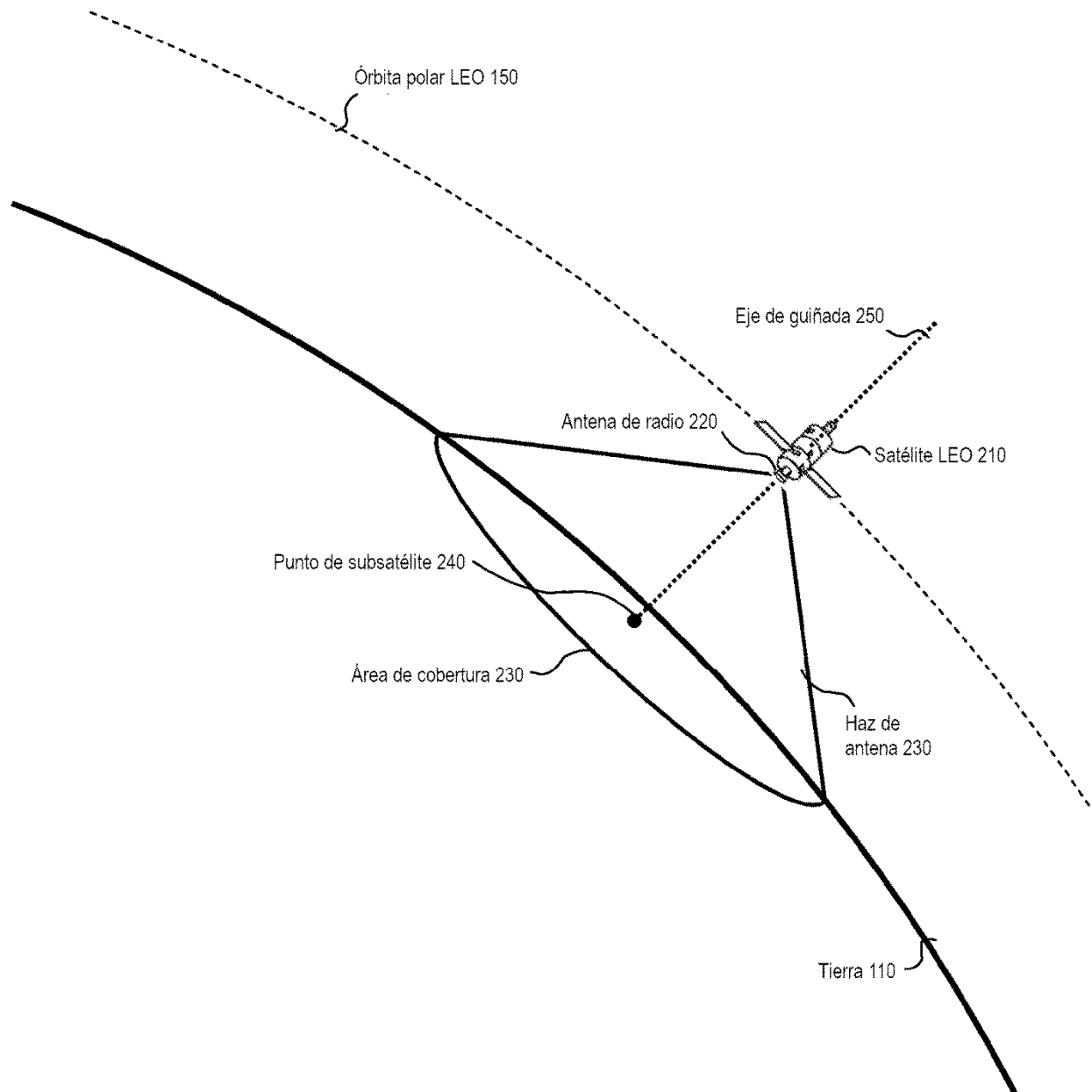


FIG. 3

Satélite de comunicación 300 para órbita LEO

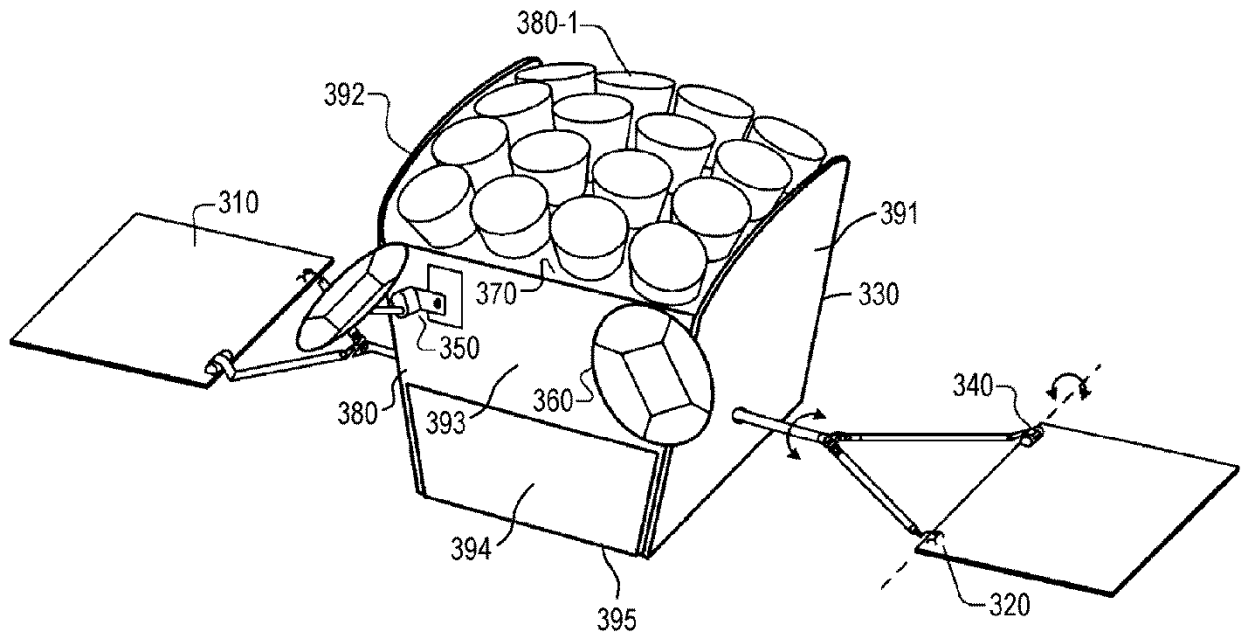


FIG. 4

Patrón de múltiples haces 400 de satélite LEO 300

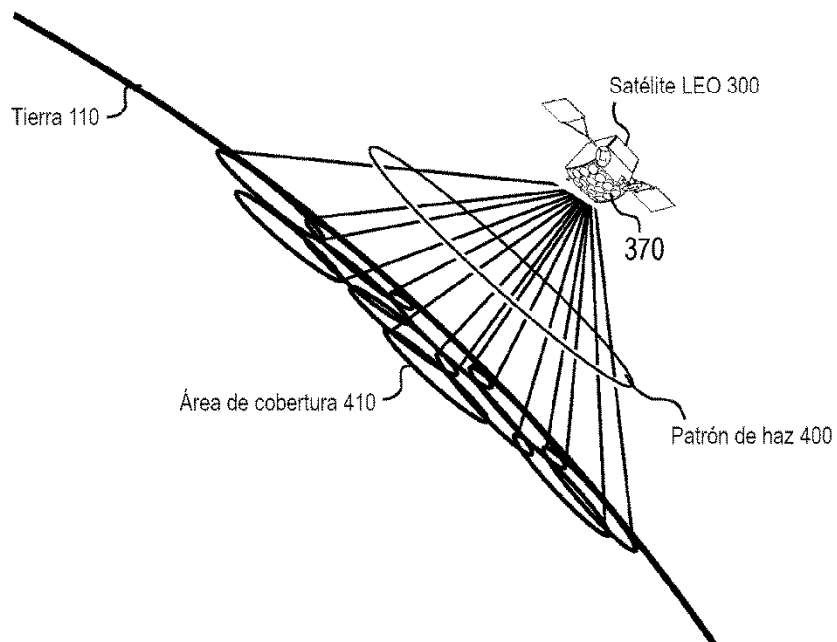


FIG. 5

Patrón de áreas de cobertura 500 generado por el satélite 300

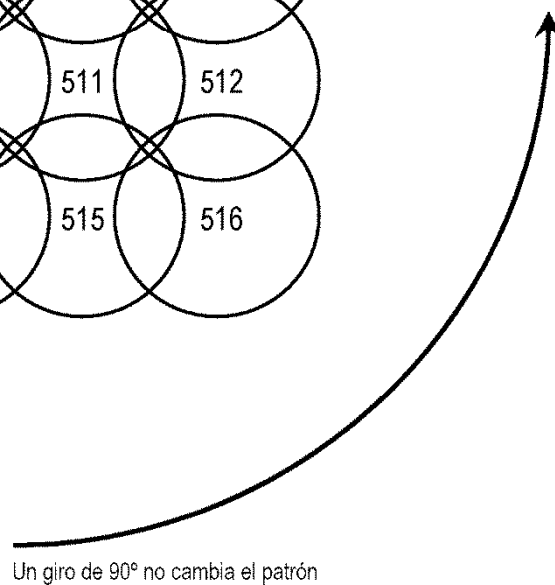
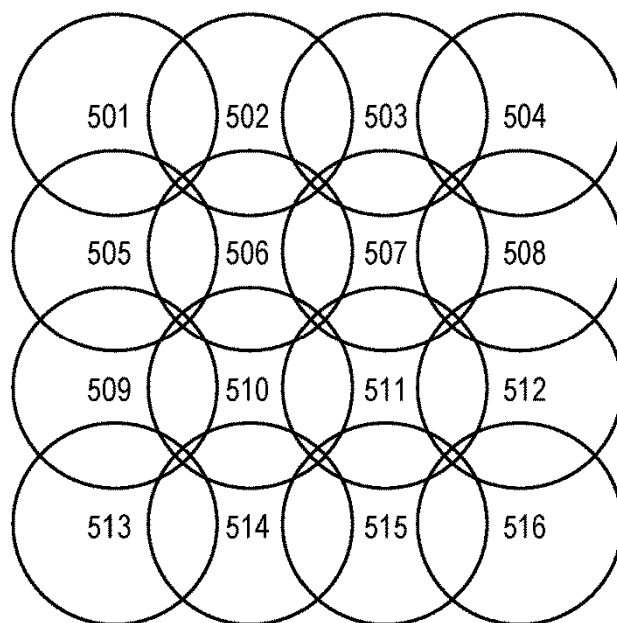


FIG. 6
Ilustración de ángulo beta

