

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 834**

51 Int. Cl.:

**G08G 5/04** (2006.01)  
**B64G 1/24** (2006.01)  
**B64G 1/66** (2006.01)  
**B64G 1/10** (2006.01)  
**B64G 3/00** (2006.01)  
**G01S 13/72** (2006.01)  
**G01S 13/87** (2006.01)  
**G01S 7/00** (2006.01)  
**G01S 13/93** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.07.2013 PCT/US2013/000159**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **14.11.2013 WO13169309**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.07.2013 E 13787040 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2019 EP 2847747**

54 Título: **Sistema satelital autónomo de evitación de desechos orbitales**

30 Prioridad:

**07.05.2012 US 201261688071 P**  
**27.03.2013 US 201313986059**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.02.2020**

73 Titular/es:

**BRISKMAN, ROBERT (100.0%)**  
**61 Valerian Court**  
**Rockville, MD 20852, US**

72 Inventor/es:

**BRISKMAN, ROBERT**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 739 834 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 satelital autónomo de evitación de desechos orbitales

### Antecedentes de la invención

5 En el espacio exterior hay una cantidad considerable de desechos, cómo se describe en el documento del Comitee on Space Debris, National Research Council; Orbital Debris: A Technical Assessment; National Academy Press, ISBM-10:0-309-05125-8; Wash., DC 1995. Estos desechos alrededor de la Tierra se han creado a partir de la totalidad o partes de satélites y vehículos de lanzamiento que se han colocado en órbita, especialmente en las últimas cuatro décadas. Varios de estos objetos fueron destruidos intencionalmente, como lo describe P. Hattis en The Growing Menace of Orbital Debris; Draper Laboratory; Livebetter Center for a Better Life; 2011, explotaron involuntariamente o se reventaron intencionadamente creando pequeños desechos. Dichos desechos creados en órbitas que son más altas que la atmósfera terrestre permanecerán allí indefinidamente. Ahora ya se reconoce el problema de los desechos que impactan contra satélites operativos y muchos países desarrollados han tomado medidas para mitigar un mayor aumento de los desechos, tal como lo describen D. Baiocchi y William Welsler IV en Confronting Space Debris; Rand Corporation; ISBM-978-0-8330-5056-4. Se ha reconocido durante décadas que se debería llevar a cabo la eliminación de los desechos, pero aún no se ha hecho nada por razones económicas, legales y políticas, como lo describo en Rouge Commercial Geosynchronous Communications Satellites; IEEE Transactions on Broadcasting; BC-33, N.º 1; marzo de 1987.

20 Normalmente, para construir, lanzar y asegurar satélites de comunicaciones y transmisiones pueden ser necesarios hasta 250 millones de \$. Estos satélites generalmente tienen una vida útil de diseño de 15-18 años. Además del coste de la pérdida debido a la colisión contra desechos orbitales, el satélite puede dar servicio a muchos millones de clientes y para su sustitución se suelen tardar tres años. Esto se traduce en una grave pérdida de servicio a los clientes y de ingresos operativos.

25 Dado que los desechos suponen un peligro para los satélites operativos y que la cantidad de desechos orbitales sigue aumentando, aunque a un ritmo menor que en el pasado, algunos operadores de satélites (incluida la Estación Espacial Internacional tripulada) toman la información sobre la ubicación y órbita de los desechos a partir de los radares terrestres, particularmente el complejo de radares NORAD del gobierno de los EE. UU., y envían comandos para mover los satélites operativos de modo que sus órbitas eviten colisiones contra los desechos. Los datos del radar terrestre se vuelven menos efectivos a medida que aumenta la distancia hasta los desechos y para los desechos de menor tamaño.

30 La publicación "Space-borne radar detection of orbital debris", Proceedings of the Global Communications Conference (GlobeCom), Houston, 29 de noviembre. - 2 de diciembre de 1993, Nueva York, IEEE, EE. UU., vol. 2 de 04, 29 de noviembre de 1993, páginas 939-943, XP000427945, de Carl JR et al. aborda la creciente amenaza a la Estación Espacial Freedom (SSF) debido a los desechos orbitales de órbita terrestre baja (LEO). La publicación describe un sistema de advertencia de desechos con dos o tres estaciones de radar terrestres que rastrean y catalogan partículas de desecho de más de 2 cm de diámetro y en el que se analizan las trayectorias calculadas de todos los desechos (en tierra) para detectar posibles amenazas a la SSF. Las trayectorias de amenaza están segmentadas en confluencias de 24 h, 12 h, 6 h y 3 h. Si 3 h antes de la confluencia, los desechos aún se consideran una amenaza, entonces se activa un radar espacial en la SSF en el tiempo esperado menos 5 segundos para proporcionar un tiempo actualizado de intersección con desechos, distancia, y posiblemente variación de distancia y ángulo de elevación. Esta información se transmite a tierra para su procesamiento informático de alta velocidad a efectos de proporcionar información actualizada sobre la órbita de los desechos. Esta información actualizada se usaría para determinar la amenaza de colisión y evaluar la necesidad de mover la estación.

### Objetivos de la invención

45 Un sistema y un método para evitar desechos orbitales por satélite según la invención permite que un satélite operativo evite los desechos orbitales de forma autónoma o semiautónoma.

Los beneficios de la innovación proporcionada por esta invención permiten que el operador del satélite no requiera estaciones terrestres para evaluar los desechos orbitales y las contramedidas necesarias.

El seguimiento de desechos puede ser superior en el satélite, ya que los radares de estaciones terrestres deben lidiar con la atenuación y los errores provocados por la atmósfera y la ionosfera.

50 Los satélites generalmente tienen una visión casi completa del esferoide, ya que los desechos pueden venir de cualquier dirección, mientras que una sola estación terrestre prácticamente solo puede ver algo menos de la mitad del esferoide.

55 Múltiples estaciones terrestres pueden superar la deficiencia de cobertura mencionada anteriormente. Un satélite geoestacionario requeriría tres estaciones terrestres separadas aproximadamente a 120 grados de longitud, y los satélites en una órbita más baja requerirían muchas más de tres estaciones terrestres. Tales estaciones suponen una inversión costosa y unos costes operativos significativos, incluyendo sus intercomunicaciones.

La inclusión de un sistema autónomo para evitar desechos, según la invención, en satélites más grandes es una implementación particularmente efectiva ya que gran parte de la potencia de cálculo normalmente ya está incluida, haciendo factibles las modestas adiciones de equipo y programación, y la combinación de subsistemas informáticos existentes en el satélite.

5 Además de lo anterior, un operador podría agregar fácilmente otras capacidades adicionales sin más hardware satelital y con solo pequeñas adiciones de software. Además de determinar una órbita de evitación que minimice el combustible de propulsión del satélite, el satélite también podría determinar si la órbita de evitación elegida está a salvo de entrar en colisión con otros satélites y otros desechos. También podría determinar el efecto de la órbita de evitación elegida en el rendimiento operativo del sistema del satélite.

10 Un beneficio importante de la evitación autónoma de satélites es la velocidad de operación, especialmente para pequeños desechos aleatorios que podrían ser invisibles o difíciles de rastrear con estaciones terrestres. El tiempo extra que requiere la estación de tierra para la adquisición, el tratamiento y la transmisión de los datos de evitación al satélite y la confirmación requerida de su correcta recepción podrían permitir que se produjera la colisión.

### Compendio de la invención

15 Según la invención, se proporciona un sistema satelital según la reivindicación 1.

En una realización, se construye un satélite con un sistema de este tipo que tiene un subsistema de seguimiento de desechos orbitales para detectar y rastrear objetos utilizando un radar de frecuencia de microondas o luz (LADAR) o sensores/detectores similares. Los equipos de detección y seguimiento pueden incluir radares de microondas o láser de frecuencias más altas, lo cual podría ser preferible en ciertas circunstancias porque su resolución respecto al tamaño y movimiento del desecho es mejor, la antena requerida en el satélite será más pequeña y la atenuación atmosférica no será un problema (ya que el satélite y los desechos suelen estar muy por encima de la atmósfera). El satélite tiene capacidad para llevar un ordenador a bordo que calcula a partir de los datos de su radar/ladar y de los datos sobre su propia órbita (derivados de sensores integrados como los sensores de estrellas, de tierra y del sol, Receptores GPS y/o de datos almacenados enviados desde su estación de control terrestre a través del subsistema de comando del satélite) si se podría producir una colisión. Si fuera probable una colisión, el ordenador calcula el cambio mínimo de órbita del satélite para evitar dicha colisión y genera comandos para encender los impulsores de control orbital de a bordo para colocar al satélite en una órbita de evitación. Aparte del radar/ladar, actualmente, la mayoría de los grandes satélites de comunicaciones y de transmisión modernos tienen los sensores integrados mencionados anteriormente y un sistema de propulsión con impulsores.

20 La detección, el seguimiento y la evitación de desechos de un satélite es fundamentalmente mejor que hacerlo en otro sitio, incluso desde estaciones terrestres. Las órbitas de los desechos son aleatorias y numerosas, resultando en posibles rutas de colisión desde cualquier punto del esferoide alrededor del satélite. Los desechos más pequeños y rápidos son particularmente difíciles de detectar desde estaciones terrestres, que a menudo, también están limitadas por una cobertura discontinua y por la incapacidad de penetrar la atmósfera de manera eficiente en varias frecuencias, como la óptica. Ya que, en muchos casos, la evitación debe realizarse en un plazo muy breve, es más rápido realizar una operación autónoma en el satélite que hacer las mismas operaciones desde la o las estaciones terrestres debido al tiempo de tránsito de comandos entre la estación y el satélite y a otros factores mencionados anteriormente.

25 La siguiente descripción de las operaciones autónomas para evitar desechos se describe en términos de procesadores informáticos separados. De hecho, estos son programas de software. La mejor manera de implementarlos estaría basada en el equipo del ordenador/procesador de un satélite particular. Dado que muchos de los satélites más grandes ya están equipados con grandes ordenadores con mucha memoria, muchos o todos los programas de software para evitar desechos se podrían integrar en estos ordenadores o sus modestas expansiones para este propósito.

30 La pérdida de un satélite grande debido a una colisión con desechos sería un desastre operativo y económico muy importante. Operativamente, cada uno de los grandes satélites comerciales de comunicaciones y transmisión puede dar servicio a millones de clientes. Existe poca disponibilidad para poner satélites en órbita, y estos operadores de satélites generalmente no tienen alternativas, especialmente si se trata de eventos no planificados. En particular, cabe destacar que la producción y el lanzamiento de un satélite de sustitución de este tipo lleva al menos 3 años y, a menudo, más. El costo de sustitución es de al menos un cuarto de billón de dólares estadounidenses.

35 Por consiguiente, en el presente documento se describe un sistema satelital que evita colisiones con desechos orbitales y que aborda los problemas mencionados anteriormente. El sistema satelital incluye un medio de seguimiento de desechos orbitales adaptado para proporcionar flujos de datos de seguimiento de fragmentos individuales de desechos detectados en la envolvente esférica completa alrededor del satélite, un medio de procesamiento de determinación de órbita, un medio de procesamiento de efemérides, un medio de cálculo de colisiones, un medio de procesamiento de órbitas de evitación del satélite y un medio de procesamiento de comandos de evitación del satélite.

40 Los medios pueden proporcionarse como uno o más dispositivos separados o integrados o como software adaptado para realizar una o más de las funciones descritas en este documento. Específicamente, el medio de procesamiento de determinación de la órbita está adaptado para recibir los datos de seguimiento del medio de seguimiento orbital para calcular las órbitas de los desechos. El medio de procesamiento de efemérides está adaptado para recibir los

datos orbitales de los desechos del medio de procesamiento orbital y los datos de elementos orbitales del satélite de los sensores integrados y/o el ordenador del satélite.

Además, el medio de procesamiento de determinación de la órbita está adaptado para proporcionar datos de elementos orbitales de los desechos, incluyendo semieje mayor, excentricidad, inclinación, ascensión recta del nodo ascendente, argumento de perigeo, período, tiempo de perigeo y sus variaciones. Por otro lado, el medio de procesamiento de efemérides está adaptado para calcular los datos de efemérides de ubicación para las posiciones futuras de los desechos en relación con las posiciones futuras del satélite. Asimismo, el medio de cálculo de colisiones está adaptado para recibir los datos de efemérides de ubicación para un fragmento de desecho y los datos de efemérides de ubicación para el satélite desde el medio de procesamiento de efemérides.

Los actuales diseños satelitales incluyen un empuje bajo, un impulsor de propulsión eléctrica de alta eficiencia para realizar operaciones de mantenimiento de posición de la estación. Dado que estos sistemas solo son capaces de pequeños ajustes orbitales, las correcciones orbitales deben producirse a intervalos frecuentes, en ocasiones, dos veces al día. A la luz de las consideraciones en cuanto a los ajustes nominales orbitales, planificados, el medio de procesamiento de efemérides debe, por lo tanto, tener en cuenta las operaciones, en curso o inminentes, de mantenimiento de posición de la estación al considerar futuras posibles colisiones. En general, se puede evitar la colisión añadiendo un ajuste de órbita que evite la colisión, eliminando uno o más ajustes nominales de mantenimiento de posición la estación, o una combinación de ambos.

El medio de cálculo de colisión también está adaptado para proporcionar una conclusión de colisión que muestre si se produciría una colisión o no en algún momento futuro entre un fragmento de desecho y dicho satélite. Además, el medio de procesamiento de órbitas de evitación del satélite está adaptado para recibir el resultado del medio de cálculo de colisiones y para calcular un cambio mínimo de la órbita existente del satélite a una órbita que evite la colisión con dicho desecho. Por otro lado, el medio de procesamiento de comandos de evitación del satélite está adaptado para recibir los datos para un cambio mínimo de órbita, para calcular los comandos requeridos para el encendido del impulsor del satélite y hacer que estos comandos se ejecuten.

En otra realización de un sistema satelital según la invención, el medio de seguimiento de desechos orbitales incluye uno o más radares o ladares que están adaptados para proporcionar cobertura alrededor del satélite a fin de determinar el ángulo, velocidad y distancia de uno o más fragmentos de desecho del satélite.

En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, el sistema está específicamente adaptado para evitar de forma autónoma la colisión con desechos orbitales.

En una realización adicional o alternativa de un sistema satelital según la invención, el medio de seguimiento de desechos orbitales se selecciona del grupo que comprende un radar, un ladar, un radar de microondas y un reconocimiento óptico; en donde el medio de seguimiento de desechos orbitales incluye uno o más modos, como un modo de pulso, un modo continuo y/o un modo Doppler; y en donde el medio de seguimiento de desechos orbitales incluye uno o más parámetros operativos tales como el ancho de pulso, el escaneo de haz, el cambio de frecuencia, la potencia irradiada y/o el ancho de banda.

En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, también se proporciona un primer medio de seguimiento para rastrear desechos que presentan un intervalo de altas velocidades con respecto al satélite, y se proporciona un segundo medio de seguimiento para rastrear los desechos que presentan un intervalo de bajas velocidades con respecto al satélite.

En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, también se proporciona un primer medio de seguimiento para rastrear desechos que presentan un intervalo de tamaños grandes, y también se proporciona un segundo medio de seguimiento para rastrear desechos que presentan un intervalo de tamaños pequeños.

En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, el medio de procesamiento de efemérides está adaptado para recibir una parte de los datos orbitales de los desechos del medio de procesamiento de determinación orbital y una parte de los datos de elementos orbitales del satélite de los sensores integrados y/o del ordenador del satélite. Además, el medio de procesamiento de efemérides está adaptado para recibir una parte de los datos de elementos orbitales de los desechos de una o más estaciones terrestres y una parte de los datos de elementos orbitales del satélite de una o más estaciones terrestres.

En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, el medio de cálculo de colisiones informático está adaptado para determinar una envolvente de probabilidad de colisión para cada fragmento de desecho basándose en una medición de incertidumbre asociada con uno o más factores asociados con el fragmento de desecho. Tales factores incluyen datos sobre la órbita, el tamaño y/o la velocidad.

En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, el medio de cálculo de colisiones además está adaptado para proporcionar una conclusión de resultado que muestre si se produciría una colisión en algún momento futuro entre un fragmento de desecho y una posición futura de dicho satélite después de que el satélite experimente una maniobra de cambio orbital.

En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, el medio de cálculo de colisiones está adaptado para mantener una matriz de opciones de maniobras orbitales para el satélite, en donde cada elemento de la matriz incluye una evaluación de riesgos de colisión.

5 En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, el medio de cálculo de colisiones está adaptado para determinar si una probabilidad de colisión de los desechos orbitales está por debajo de un umbral predeterminado y para proporcionar una conclusión que incluya la conclusión de ignorar, y para proporcionar el resultado de su determinación de probabilidad a otros subsistemas de evitación de desechos orbitales.

10 En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, el medio de procesamiento de órbitas de evitación del satélite está además adaptado para elegir un conjunto de soluciones de opciones de maniobras orbitales de una matriz, dependiendo de que uno o más parámetros de rendimiento operativo predeterminados del satélite sean completamente funcionales en cada opción de maniobra orbital.

15 En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, el medio de procesamiento de órbitas de evitación del satélite además está adaptado para elegir un conjunto de soluciones de opciones de maniobras orbitales de una matriz, dependiendo del cálculo del combustible mínimo requerido para alcanzar una nueva solución orbital de evitación.

En una realización adicional de un sistema satelital según la invención, uno o más de los medios del sistema están adaptados para incluir un tiempo de permanencia de seguimiento de desechos para realizar cálculos más precisos u otras funciones de esos medios, qué cálculos están asociados con uno o más fragmentos de desecho y además que los medios estén adaptados para priorizar los cálculos basados en la posición y la velocidad de los desechos.

20 **Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 ilustra un satélite moderno de alta capacidad utilizado para fin(es) de comunicaciones y transmisión, con un sistema para evitar activamente la colisión con desechos orbitales.

25 La figura 2 ilustra una ampliación del cuerpo principal del satélite. Muestra las antenas de comando y telemetría existentes para comunicarse con la(s) estación/estaciones de control terrestre y una posible ubicación de tres radares o ladares para rastrear desechos.

La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra una realización de un sistema de evitación de desechos orbitales, según la invención, implementado para un satélite y su conexión a una estación de control terrestre como respaldo y para otros propósitos.

30 La figura 4 muestra una realización alternativa de un sistema satelital según la invención. La o las estaciones de control terrestre, en tierra, pueden enviar datos adicionales relacionados con la ubicación y velocidad de los desechos y/o las efemérides orbitales de los desechos al sistema satelital para complementar los datos que el satélite ha recopilado de forma autónoma o, si el subsistema de recolección de datos de desechos orbitales del satélite ha fallado, permitir que el sistema satelital de evitación siga operando utilizando los datos sobre ubicaciones/velocidades de los desechos recolectados por la o las estaciones terrestres.

35 **Descripción detallada**

40 En la figura 1 se muestra un satélite 120 moderno de alta capacidad utilizado para fin(es) de comunicaciones y transmisión, que puede adaptarse para su uso con la invención. Dichos satélites típicamente incluyen equipos funcionales que incluyen uno o más impulsores 121 del satélite, una o más fuentes de energía 122, así como una o más antenas 123. Se puede apreciar que el satélite 120 puede incluir varios sistemas, incluyendo sistemas asociados a la función primaria del satélite, como la comunicación, transmisión, observación y otros sistemas, no mostrados. Algunos de estos sistemas y equipos funcionales pueden cooperar con o formar parte de un sistema de evitación de desechos orbitales según la invención.

45 En la figura 2 se muestra una ampliación del cuerpo principal del satélite que ilustra una antena de comando 124 y una antena de telemetría 125 para comunicarse con una(s) estación/estaciones de control terrestre y una posible ubicación de tres dispositivos de seguimiento orbital 101, a saber, radares o ladares u otros sensores/detectores similares para rastrear desechos. Las ubicaciones y los números de las antenas y los dispositivos de seguimiento orbital variarán de un satélite a otro. Los dispositivos de seguimiento orbital se ubican preferiblemente para poder ver sin obstáculos la esfera completa alrededor del satélite. Normalmente se incorporarán al menos dos para lograr esa visibilidad y proporcionar redundancia en caso de fallo. No se muestran los sensores satelitales (p.ej., de sol, de tierra y estrellas) utilizados internamente para determinar la ubicación y actitud del satélite y los diversos impulsores de propulsión utilizados para el control de órbita y actitud, ya que son equipos estándar de a bordo. También, en el interior del cuerpo del satélite se encuentran los ordenadores/procesadores descritos a continuación y los tanques que contienen el combustible de propulsión que son utilizados por los impulsores mencionados anteriormente para controlar la órbita y actitud del satélite.

55 Un diagrama de flujo en la figura 3 ilustra el funcionamiento típico del sistema de evitación 100 de desechos orbitales

implementado en un satélite típico y su posible conexión a la estación de control terrestre como respaldo y para otros propósitos. Se puede apreciar que un sistema de evitación 100 de desechos orbitales no necesita incluir necesariamente algunos de los equipos estándar que pueden estar incluidos en un satélite como antenas, sensores y/o dispositivos de comunicación y procesamiento.

- 5 La siguiente descripción se proporciona teniendo en cuenta esta consideración. De manera similar, los procesadores y dispositivos descritos en la presente memoria que tienen una funcionalidad descrita podrían proporcionarse como uno o más ordenadores de propósito general o como uno o más circuitos integrados de aplicación específica (ASIC).

A menudo, en los satélites se pueden proporcionar procesadores, ya que normalmente están diseñados para un propósito especial. Sin embargo, se pueden incorporar varios procesadores en un ordenador satelital. Se puede apreciar que el sistema satelital de prevención 100 de desechos orbitales puede estar integrado en uno o más ordenadores y/o circuitos ASIC programados, que pueden estar integrados en procesadores para realizar las funciones del sistema 100 según la invención, como se describe en la presente memoria. De este modo, un sistema 100 según la invención puede adaptarse o diseñarse para cooperar con tales dispositivos y, sin embargo, estar dentro del alcance de la invención.

15 Un sistema y método satelital 100 para evitar desechos orbitales según la invención permite que un satélite operativo evite desechos orbitales 140 y objetos similares (p.ej., meteoros) de forma autónoma o semiautónoma. En una realización, se puede diseñar un sistema 100, figura 2, para un satélite que tenga al menos un dispositivo de seguimiento de desechos orbitales 101 para detectar y rastrear objetos y proporcionar datos de seguimiento. Los dispositivos de seguimiento de desechos orbitales 101 incluyen un procesador y uno o más detectores/sensores, como los radares de frecuencia de microondas o luz (LADAR). El detector/sensor 101 puede incluir radares de microondas o láser de mayor frecuencia, lo cual podría ser preferible en ciertas circunstancias porque su resolución respecto al tamaño y movimiento del desecho es mejor, la antena requerida en el satélite será más pequeña y la atenuación atmosférica no será un problema (ya que el satélite y los desechos suelen estar muy por encima de la atmósfera). Además, o como alternativa, los detectores/sensores 101 también pueden incluir sensores de radar y ópticos con capacidad de reconocimiento, así como otros dispositivos de detección remota. Una persona con experiencia ordinaria en la técnica puede apreciar, a la vista de esta descripción de la invención, que pueden implementarse variaciones en el dispositivo de seguimiento 101 de desechos orbitales para que tengan uno o más tipos de sensores 101 para diferentes realizaciones de un sistema 100 según la invención.

La figura 3 ilustra una realización de un sistema de evitación 100 de desechos orbitales según la invención que puede incluir uno o más dispositivos de seguimiento 101 de desechos orbitales o que se puede conectar para cooperar con dispositivos de seguimiento de desechos orbitales existentes provistos en un satélite 120. En una realización, los dispositivos de seguimiento de desechos orbitales son radares/ladares 101 que detectan y rastrean los desechos orbitales. Dichos dispositivos deberían poder cubrir juntos la envoltente esférica completa alrededor del satélite, ya que los desechos pueden llegar desde cualquier dirección. Normalmente, los dispositivos proporcionan datos de seguimiento que incluyen el ángulo y la distancia de los desechos del satélite por modulación de impulsos, pero también pueden emplearse radares de tipo onda continua que proporcionan una velocidad casi instantánea entre el satélite y los desechos. También hay radares/ladares que pueden alternar entre modulación continua y de pulsos. Existen innumerables modos de operación del radar/ladar incluyendo operaciones solo de distancia y permanencia, donde se detiene el barrido radar/ladar de la envoltente esférica y el dispositivo de seguimiento apunta continuamente a un fragmento particular de desecho durante un período predeterminado, de modo que se disponga de datos más precisos y rápidos sobre ese fragmento en particular. Los modos operativos y la modulación del radar/ladar y también pueden optimizarse para un seguimiento tanto por tamaño como por la velocidad de los desechos con respecto al satélite. Al procesador de determinación de órbitas 102 se le proporcionan los datos de seguimiento como flujos de datos de seguimiento de varios fragmentos individuales de desecho. El número de dichos flujos podría ser ilimitado, pero en general solo se necesitarían varios simultáneamente, ya que la mayoría de los desechos no estarán en un curso de colisión.

Un dispositivo de seguimiento orbital 101 puede recibir comandos de un calculador de colisiones de desechos orbitales 104 para modificar el modo de función del dispositivo 101 según las circunstancias. Por ejemplo, una realización de un sistema según la invención puede prever el alternar entre los modos de operación de onda pulsada y continua cuando se rastrea uno o más de un primer conjunto de desechos, tal como para desechos que estén más cerca o tengan mayor probabilidad de impacto, por consiguiente, se puede elegir un modo de onda continua, mientras que puede emplearse un modo de pulsos que usa menos energía y capacidad de procesamiento para un segundo conjunto de desechos que estén más lejos o tengan menor probabilidad de impacto. Como alternativa, se pueden dedicar uno o más de los modos por separado a cada sensor de seguimiento 101 cuando se emplea una pluralidad de dispositivos de seguimiento 101. Se puede apreciar que se puede incluir una o más de las funciones del procesador de seguimiento de desechos orbitales en otra programación o procesadores del sistema, tal como el procesador de determinación de órbitas 102.

El procesador de determinación de órbitas 102 determina las órbitas de los desechos. El ordenador 102 toma los datos de seguimiento de cada fragmento de desecho detectado y cuando se ha recopilado suficiente información a lo largo del tiempo, calcula la órbita de los desechos. Esto no es difícil ya que los desechos deben seguir una órbita clásica formulada originalmente por Kepler como lo describen R. Bate, D. Mueller y J. White en *Fundamentals of*

Astrodynamics; Dover Publications; Nueva York; 1971. Ahora hay otras formulaciones de determinación de órbitas similares, algunas de las cuales requieren menos potencia de cálculo. Se puede diseñar o programar un procesador 102 para determinar lo que se conoce como "elementos orbitales" de cada fragmento de desecho, tal como semieje mayor, excentricidad, inclinación, período, tiempo de perigeo, ascensión recta del nodo ascendente y sus varianzas (es decir, la incertidumbre de los elementos). Cuando cada fragmento de desecho orbital detectado tiene sus elementos determinados dentro de una varianza específica, los elementos del desecho se envían al procesador de generación de efemérides 103.

El procesador de efemérides 103 toma los elementos orbitales y determina dónde se ubicarán los desechos en el futuro. Esta capacidad del procesador proporciona información denominada efemérides, que es un tipo estándar de cálculo orbital de proyección de la futura ubicación de un objeto orbital y cuya precisión se degrada con el lapso de tiempo desde la proyección, así como la incertidumbre en los elementos orbitales mencionados anteriormente.

Al procesador de efemérides 103 también se le suministran los elementos orbitales del satélite anfitrión desde el procesador 102, que fueron determinados por los sensores de a bordo descritos anteriormente o subiéndolos previamente desde la estación de control terrestre. En una realización alternativa, una estación de control terrestre puede enviar dicha información al procesador de efemérides 103 a través de un subsistema de enlace ascendente de comando. En otra realización, también se pueden enviar al procesador de efemérides 103 ajustes nominales anticipados respecto a la órbita del satélite, permitiendo predicciones más precisas. Las razones de la existencia de tales ajustes nominales orbitales incluyen un mantenimiento de la ubicación orbital, una reubicación orbital, operaciones de desorbitamiento y otras consideraciones de rendimiento del sistema. El procesador de efemérides 103 toma los elementos orbitales del satélite y, si fuera necesario, información de ajuste nominal orbital y los convierte en una efeméride para el satélite. Estos datos de efemérides generados por el procesador de efemérides 103 se envían a un calculador de colisiones 104.

El calculador de colisiones 104 es un procesador que funciona esencialmente como un comparador o un procesador de probabilidad de colisión. Toma las efemérides de cada fragmento de desecho y compara su futura ubicación con las efemérides de la futura ubicación del satélite. Produce al menos tres resultados para cada fragmento de desecho. El procesador de actuación 105 recibe y almacena al menos un resultado del calculador de colisiones 104 que determina que es probable que se produzca una colisión en algún momento futuro dentro de un umbral predeterminado. El procesador de actuación 105 envía al menos un resultado al calculador de órbita de evitación 108 y también puede enviar el resultado a una estación de control terrestre por el subsistema de telemetría.

El procesador de ignorar 107 recibe y almacena al menos un resultado del calculador de colisiones, cuando el calculador 104 determina que no es probable o no se espera una colisión. En este caso, el procesador de ignorar 107 le dice al dispositivo de seguimiento 101, al procesador de determinación de órbitas 102 y al procesador de efemérides 103 que ignoren ese fragmento de desecho particular. Estos datos de desechos ignorados se almacenan en la memoria del procesador 101, por lo que no se realiza un seguimiento adicional del objeto. El procesador de almacenamiento 106 recibe y almacena al menos un resultado del calculador de colisiones, cuando el calculador 104 determina que las variaciones son lo suficientemente grandes como para hacer que una futura colisión sea incierta dentro de un umbral predeterminado. En este caso, el procesador de almacenamiento 106 puede esperar hasta que se acumulen más datos de seguimiento sobre este fragmento de desecho o puede instruir a los radares/ladares 101 para que acumulen más datos, digamos que pasando a un modo de permanencia o cambiando el tipo de modulación.

El procesador de órbita de evitación 108 esencialmente calcula el cambio mínimo de la órbita existente del satélite a una órbita que evitará la colisión con los desechos. De nuevo, se trata de un cálculo estándar. El cálculo se realiza preferiblemente de modo que el cambio orbital consuma la cantidad mínima del propelente a bordo del satélite. Si el tiempo calculado para la colisión es durante o después de una maniobra de corrección nominal orbital, prevista, el procesador de órbitas de evitación 108 puede considerar el no ejecutar esta corrección orbital para evitar la colisión o combinar las maniobras de colisión y corrección. Esta estrategia podría tener como resultado que se requiera muy poco, o incluso cero, propelente adicional de a bordo.

Los datos sobre el cambio orbital se envían al procesador de comandos de evitación 109 que calcula los comandos de maniobra del satélite requeridos (por lo general, qué impulsores se utilizarán, la actitud satelital deseada, el tiempo y la duración de encendido de los impulsores). Los comandos del satélite se envían a un controlador de empuje 110 del satélite que normalmente está incluido en un satélite. Puede haber al menos dos tipos de impulsores de satélite 121 a bordo de un satélite. Un tipo es alimentado por productos químicos y puede proporcionar gran cantidad de empuje. El otro es electrónico, lo que proporciona bajos niveles de empuje. La electrónica es más eficiente y se usa normalmente para mantener la órbita estacionaria de oeste a este de satélites geoestacionarios donde se desean niveles de empuje bajos. Para la maniobra de evitación, la elección del tipo de impulsor (si se emplea más de un tipo en el satélite) estará determinada por la cantidad de cambio orbital requerido y el tiempo disponible para lograrlo. Como se muestra, estos comandos también podrían enviarse desde el procesador de comandos de evitación 109 a una estación de control terrestre a través de un subsistema de telemetría para que el operador del satélite sepa lo que está ocurriendo. Los comandos de evitación también pueden incluir instrucciones necesarias para terminar o cancelar anticipadamente, los ajustes nominales orbitales del satélite que pueden estar ya en curso o programados en la memoria del satélite.

También es posible implementar la invención en una o más configuraciones o combinaciones semiautónomas. La figura 4 muestra una de tales realizaciones alternativas de un sistema satelital según la invención.

- 5 En esta realización, se pueden obtener datos adicionales sobre las órbitas de los desechos de fuentes terrestres o espaciales distintas a las de los dispositivos de seguimiento en el satélite en cuestión. Estos datos pueden enviarse al satélite a través de su estación de control terrestre 300 utilizando su subsistema de comando 310 para su uso como un incremento de los datos a los datos de seguimiento generados por el satélite. También, si el subsistema de seguimiento de desechos orbitales del satélite falla y los subsistemas de evitación orbital restantes son operativos, se pueden utilizar las ubicaciones/velocidades de los desechos orbitales obtenidas en tierra para proseguir con las operaciones normales de evitación del satélite.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema satelital (120) que puede evitar de forma autónoma una colisión con desechos orbitales (140), que incluye un satélite (120), en donde el satélite incluye:
- 5 un dispositivo de seguimiento de desechos orbitales (101) adaptado para proporcionar datos de seguimiento sobre un fragmento de desecho;
- un procesador de determinación de órbitas (102) adaptado para recibir dichos datos de seguimiento de dicho dispositivo de seguimiento de desechos orbitales (101) y calcular las órbitas de los desechos, para producir datos de elementos orbitales de los desechos y para calcular los elementos orbitales de los satélites (120) a partir de sensores integrados o datos almacenados a bordo o ambos;
- 10 un procesador de efemérides (103) adaptado para recibir dichos datos de elementos orbitales de los desechos y datos de elementos orbitales del satélite desde el procesador de determinación de órbitas, y para generar datos de efemérides para las posiciones futuras de los desechos y las posiciones futuras del satélite (120);
- un calculador de colisiones (104) adaptado para recibir los datos de futuras efemérides de los desechos y los datos de futuras efemérides del satélite de dicho procesador de efemérides (103); estando dicho calculador de colisiones adaptado para comparar dichos datos de futuras efemérides de los desechos y del satélite; y para proporcionar una conclusión de resultado, mostrando dicha conclusión de resultado si se produciría una colisión o no en algún momento futuro entre dichos desechos y dicho satélite (120);
- 15 un procesador de órbita de evitación (108) adaptado para recibir la conclusión de resultado de que es probable que se produzca una colisión y para calcular una órbita de evitación; y
- 20 procesadores (110) para crear comandos para los impulsores de propulsión para efectuar la órbita de evitación y ejecutar los comandos.
2. Un sistema satelital según la reivindicación 1, en donde el dispositivo de seguimiento orbital (101) se selecciona del grupo que comprende un radar, un ladar, un radar de microondas y un reconocimiento óptico o de microondas; y que además comprende un procesador de comando de evitación (109) que recibe los datos para una órbita de evitación desde el procesador de órbita de evitación (108), calcula los comandos requeridos para el encendido del impulsor del satélite y hace que se ejecuten estos comandos, en donde dicho dispositivo de seguimiento orbital (101) está adaptado para proporcionar una cobertura total del esferoide alrededor del satélite (120) para determinar el ángulo, la velocidad y la distancia de los desechos respecto al satélite.
- 25 3. Un sistema satelital según la reivindicación 2, en donde se proporciona un primer dispositivo de seguimiento de órbita para rastrear desechos que tengan un intervalo de altas velocidades, con relación al satélite, y se proporciona un segundo dispositivo de seguimiento para rastrear desechos que tengan un intervalo de bajas velocidades.
4. Un sistema satelital según la reivindicación 2, en donde se proporciona un primer dispositivo de seguimiento (101) para rastrear desechos que tengan un intervalo de tamaños grandes, y se proporciona un segundo dispositivo de seguimiento (101) para rastrear desechos que tengan un intervalo de tamaños pequeños.
- 35 5. Un sistema satelital según la reivindicación 1, en donde el procesador de efemérides (103) está adaptado para recibir una parte de los datos de elementos orbitales de desechos del procesador de determinación orbital (102) y una parte de los datos de elementos orbitales del satélite de los sensores integrados o datos almacenados a bordo, y en donde el procesador de efemérides (103) está adaptado para recibir una parte de los datos de elementos orbitales de los desechos de una o más estaciones terrestres (300) y una parte de los datos de elementos orbitales del satélite de una o más estaciones terrestres (300).
- 40 6. Un sistema satelital según la reivindicación 1, en donde el calculador de colisiones (104) determina una probabilidad de colisión para cada fragmento de desecho (140) basándose en una incertidumbre en las mediciones asociadas con los datos de la órbita, del tamaño y/o velocidad asociados con el fragmento de desecho (140).
7. Un sistema satelital según la reivindicación 1, en donde el calculador de colisiones (104) proporciona además una conclusión de resultado que muestra si se produciría una colisión en algún momento futuro entre un fragmento de desecho y una posible futura posición de dicho satélite (120) después de someterse a una maniobra de evitación de cambio orbital.
- 45 8. Un sistema satelital según la reivindicación 1, en donde el calculador de colisiones (104) mantiene una matriz de opciones de maniobras orbitales de evitación para el satélite (120), en donde cada elemento de la matriz incluye una evaluación del riesgo de colisión con desechos y la cantidad de combustible a bordo requerida para cada opción de maniobra y el desempeño operativo del satélite después de cada posible maniobra de evitación.
- 50 9. Un sistema satelital según la reivindicación 1, en donde el calculador de colisiones (104) está adaptado para determinar si una probabilidad de colisión con desechos orbitales (140) está por debajo de un umbral predeterminado y para proporcionar al menos una conclusión que incluya una conclusión de ignorar.

10. Un sistema satelital según la reivindicación 1, en donde dicho procesador de órbitas de evitación del satélite (108) además está adaptado para elegir un conjunto de soluciones de opciones de maniobras orbitales de una matriz, dependiendo de que uno o más parámetros de rendimiento operativo del satélite sean completamente funcionales para cada opción de maniobra orbital.
- 5 11. Un sistema satelital según la reivindicación 1, en donde dicho procesador de órbitas de evitación del satélite (108) además está adaptado para elegir un conjunto de soluciones de opciones de maniobras orbitales de una matriz que depende de un cálculo del combustible mínimo requerido para alcanzar la nueva solución de evitación orbital.
12. Un sistema satelital según la reivindicación 1, en donde el sistema incluye un tiempo de permanencia de seguimiento de desechos para realizar cálculos asociados con uno o más fragmentos de desecho y prioriza los cálculos basándose en la posición y la velocidad de los desechos.
- 10 13. Un sistema satelital según la reivindicación 9, en donde un dispositivo de sistema satelital seleccionado del grupo que comprende el dispositivo de seguimiento de desechos orbitales (101), el procesador de determinación de órbitas (102), el calculador de colisiones (104) y el procesador de actuación, está adaptado para ignorar todos o una parte de los datos asociados con un objeto ignorado basándose en la conclusión de ignorar.
- 15 14. Un sistema satelital según la reivindicación 1, en donde el procesador de efemérides (103) está además adaptado para recibir una parte de los datos de elementos orbitales de los desechos del procesador de determinación orbital (102) y una parte de los datos de elementos orbitales del satélite del ordenador del satélite, y en donde el procesador de efemérides (103) está adaptado para recibir una parte de los datos de elementos orbitales de los desechos de una o más estaciones terrestres (300) y una parte de los datos de elementos orbitales del satélite de una o más estaciones terrestres (300).
- 20 15. Un sistema satelital según la reivindicación 1
- en donde los datos de seguimiento incluyen flujos de datos de seguimiento sobre fragmentos individuales de desechos (140) detectados en la envolvente esférica completa alrededor del satélite (120),
- 25 en donde los datos de elementos orbitales de desechos de los desechos incluyen semieje mayor, excentricidad, inclinación, ascensión recta del nodo ascendente, argumento de perigeo, período, tiempo de perigeo y sus variaciones;
- y en donde el procesador de órbita de evitación (108) está adaptado para recibir un resultado de dicho calculador de colisiones (104) y para calcular un cambio mínimo de la órbita existente del satélite a una órbita que evite la colisión con dichos desechos (140).
- 30 16. Un sistema satelital según la reivindicación 15, en donde dicho medio de seguimiento de desechos orbitales (101) incluye uno o más del grupo que comprende un radar y un ladar adaptados para proporcionar cobertura alrededor del satélite para determinar el ángulo, la velocidad y la distancia de los desechos respecto al satélite.

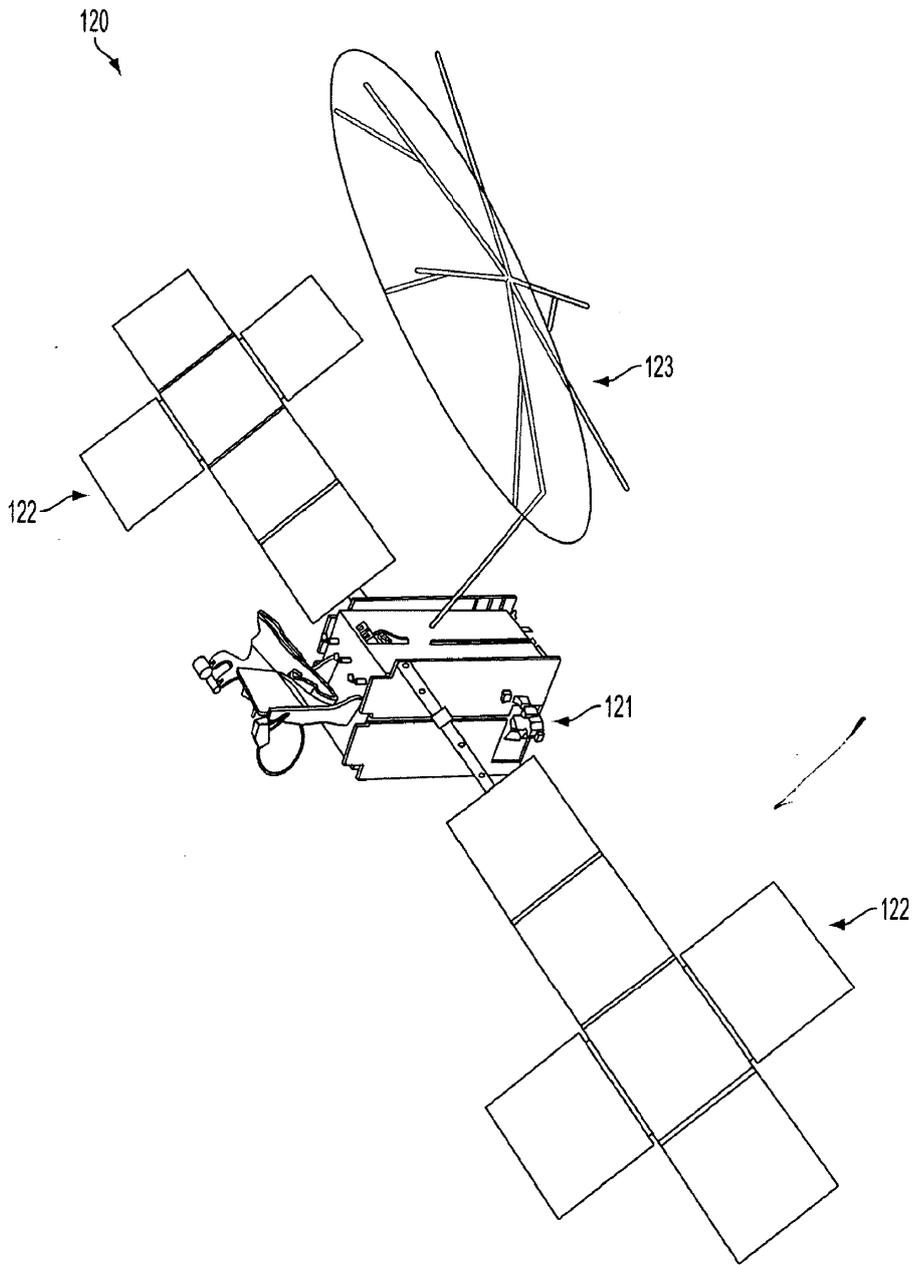


FIG. 1

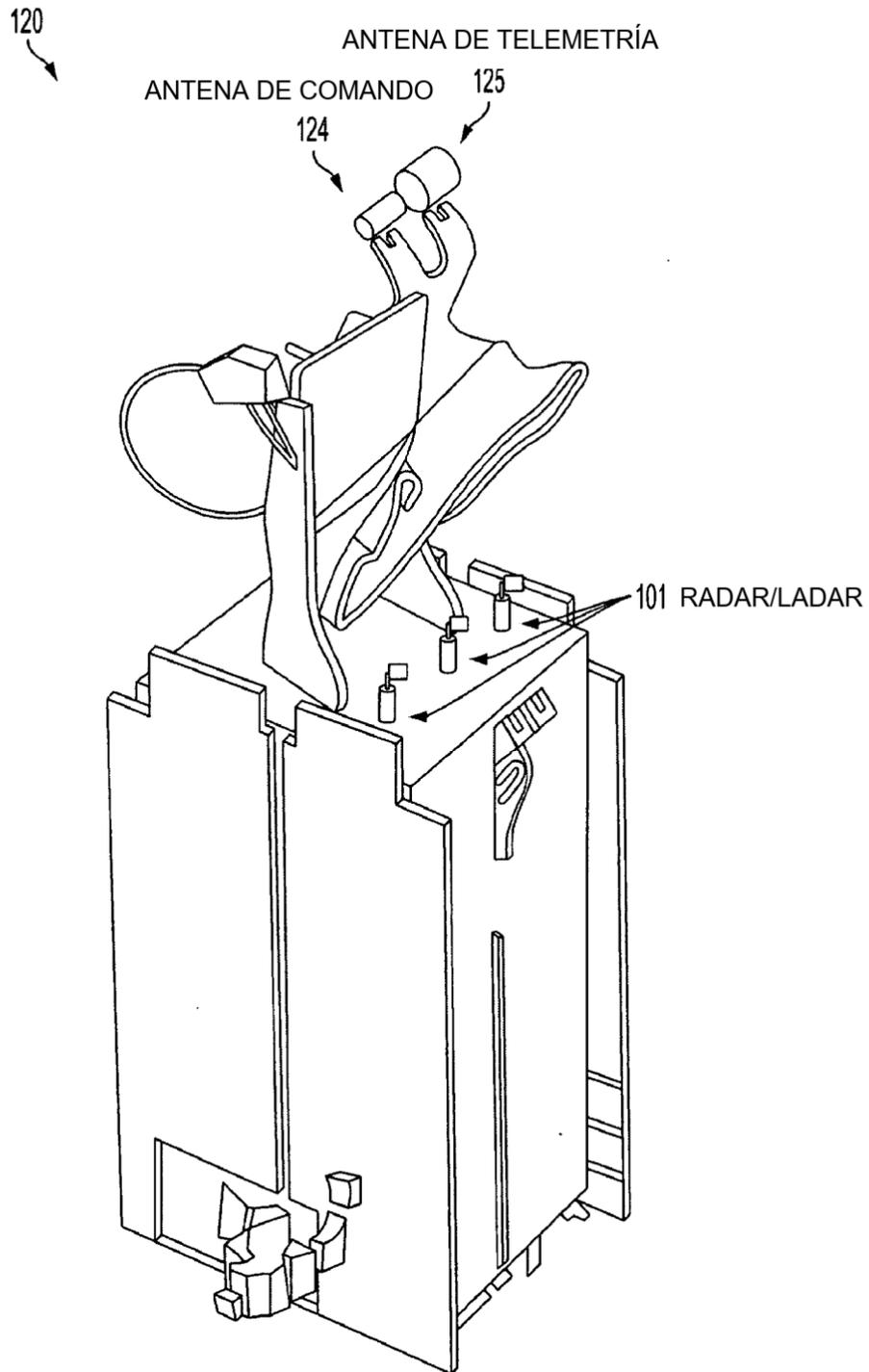


FIG. 2

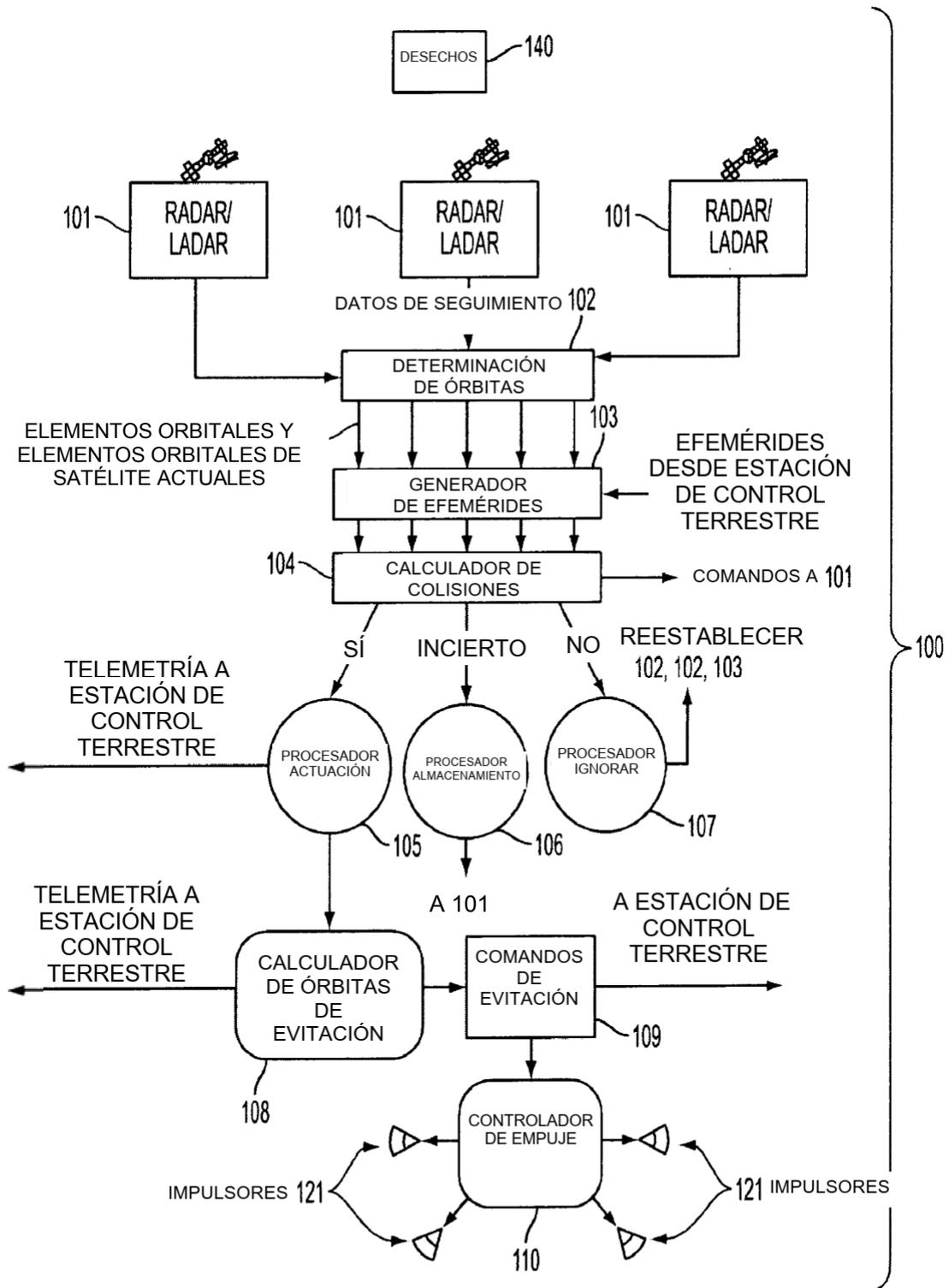


FIG. 3

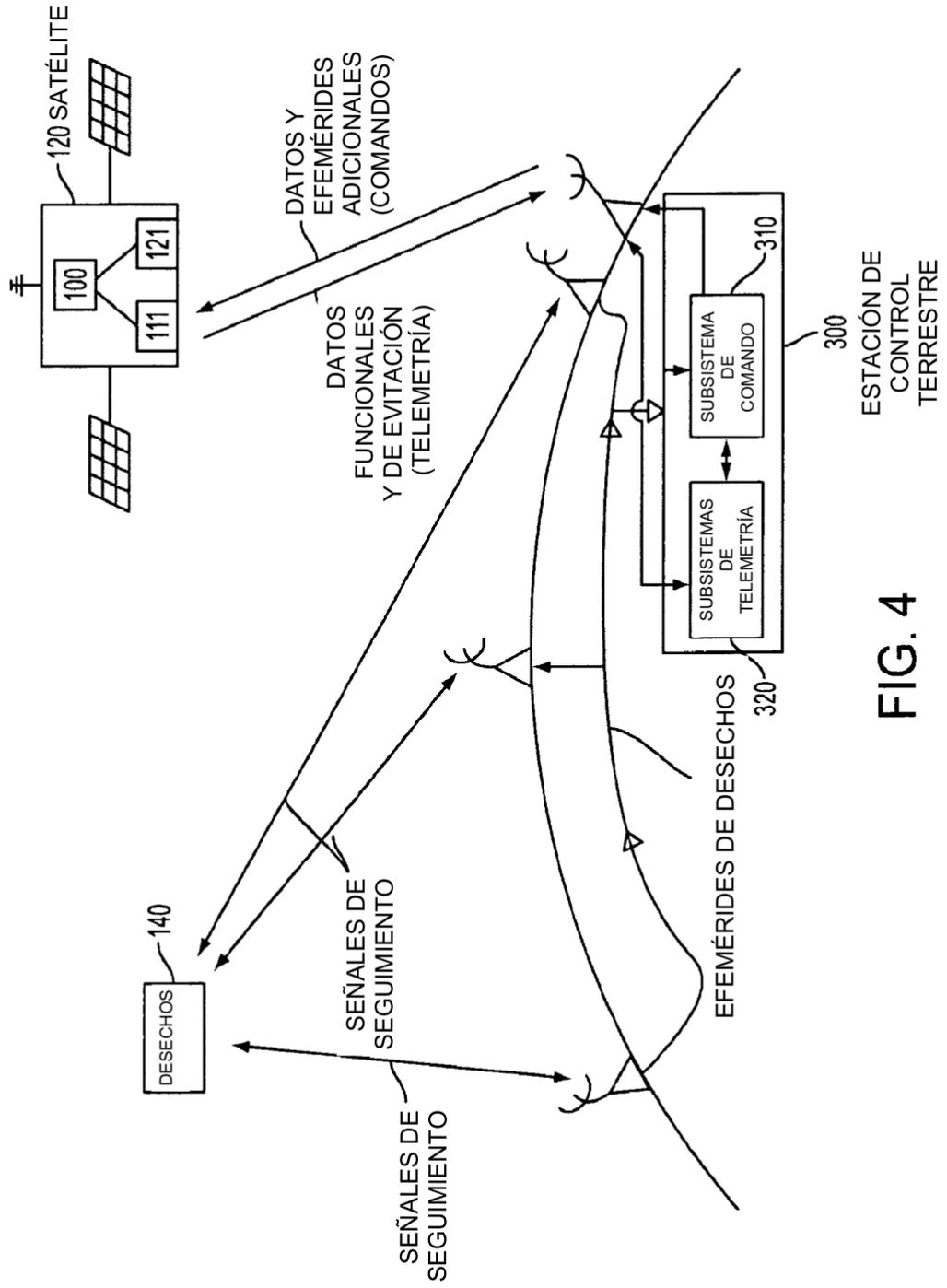


FIG. 4