



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 274 088**

51 Int. Cl.:  
**G05D 1/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02764926 .8**

86 Fecha de presentación : **24.06.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1407335**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **14.04.2004**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de pilotaje de la actitud y de guiado de un satélite mediante un racimo de girodinos.**

30 Prioridad: **26.06.2001 FR 01 08409**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.05.2007**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.05.2007**

73 Titular/es: **EADS ASTRIUM S.A.S.**  
**31, rue des Cosmonautes**  
**31402 Toulouse Cédex 4, FR**

72 Inventor/es: **Lagadec, Kristen;**  
**Defendini, Ange y**  
**Morand, Julien**

74 Agente: **Carpintero López, Francisco**

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 y dispositivo de pilotaje de la actitud y de guiado de un satélite mediante un racimo de girodinos.

5 La presente invención se refiere a los procedimientos y dispositivos que permiten pilotar la actitud de un satélite mediante un comando de la orientación de la dirección del eje de rotación del molinete de los accionadores giroscópicos, o girodinos, de un racimo de accionadores giroscópicos montado en el satélite.

10 Los girodinos o accionadores giroscópicos (que suelen designarse mediante las siglas anglosajonas cmg) tienen una rueda o molinete montado en un soporte, denominado cardán, orientable en la plataforma del satélite por medio de un motor alrededor de por lo menos un eje ortogonal al eje de rotación del molinete. La solicitud de patente francesa n° 98 00556 proporciona un ejemplo de girodino al que podremos remitirnos.

15 Un racimo de girodinos incluye por lo menos tres girodinos para permitir llevar un triedro de referencia ligado al satélite en todas las actitudes y por lo menos dos girodinos para un pilotaje en 2 ejes. En general, se utilizan por lo menos cuatro girodinos para asegurar una redundancia.

20 El racimo de girodinos constituye un accionador inercial cuyo comando permite aplicar un par que proporciona a la plataforma del satélite un perfil de velocidades angulares que se especifica mediante descarga desde tierra o un cálculo efectuado a bordo. Para controlar la actitud, un sistema de comando determina el par a aplicar y deduce del mismo una velocidad a aplicar a los cardanes de los girodinos. La capacidad de suministro del par total C es, por consiguiente, no estacionaria y no lineal. Puede escribirse de forma matricial:

$$25 \quad C = A(\sigma) \cdot \sigma \quad (1)$$

30 donde A es la matriz jacobiana  $a_{ij} = \partial H_i / \partial \sigma_j$ , con  $i = 1$  a 3 y  $j = 1$  a 4 (o más generalmente adopta todos los valores desde 1 hasta el número de girodinos). Un método clásico de guiado consiste, conociendo el par C a proporcionar, en invertir la relación (1) para obtener las velocidades  $\sigma_c$  de consigna a proporcionar a los girodinos. El principio de dicho control se indica por ejemplo en el documento FR ya mencionado o la patente US-A-6 131 056.

35 La solicitud de patente francesa n° 98 14548, a la que podremos remitirnos, describe y reivindica un procedimiento de pilotaje de la actitud de un satélite que permita deshacerse del problema de las singularidades, es decir de la venida en configuraciones en las que es imposible obtener un par según una dirección determinada, provocando un comando de paso directo desde una configuración inicial hasta una configuración final.

40 La arquitectura descrita en la solicitud de patente n° 98 14548 incluye para ello un racimo de por lo menos cuatro girodinos con molinetes respectivos montados en cardanes giratorios montados en una plataforma del satélite, alrededor de ejes de orientación de cardán todos distintos.

45 Esta configuración presenta la ventaja de principio de tener una isotropía máxima cuando los cuatro ejes de cardán son dirigidos según las diagonales de un cubo. Cuando se desea incrementar la capacidad según dos ejes ortogonales para tener cuenta de que las necesidades de agilidad son rara vez isotrópicas, basta con aplastar la pirámide cuyas aristas son ortogonales a los ejes de los cardanes. Pero, en contrapartida de dichas ventajas, la arquitectura piramidal presenta diversos inconvenientes. La envuelta de capacidad presenta concavidades; no es posible, en el caso de una pirámide aplastada, ajustar independientemente las capacidades según los dos ejes de la base de la pirámide. La pérdida de un accionador, que conduce a una envuelta de agilidad muy disimétrica, afecta notablemente la agilidad.

50 Por este motivo, se propone el uso de un satélite que tenga un racimo de por lo menos cuatro accionadores giroscópicos con molinetes respectivos montados en cardanes orientables alrededor de ejes paralelos a una u otra de sólo dos direcciones distintas y fijas con relación al satélite, formando así dos grupos de accionadores de los que por lo menos uno tiene dos accionadores, y adoptar un procedimiento de pilotaje original que permite evitar venir en configuraciones singulares durante el pilotaje de actitud.

55 Con este objetivo, la invención propone un procedimiento de pilotaje de la actitud de dicho satélite, según el cual: se mide la actitud del satélite por medio de sensores embarcados en el satélite,

- 60 - se calcula la necesidad de par de de comando para efectuar una maniobra de reorientación de la actitud determinada,
- se efectúa un cálculo de linealización local basado en la pseudo-inversión de la matriz jacobiana de la función que une las orientaciones de los cardanes de los accionadores en el momento cinético total del racimo, para determinar una nueva orientación de los cardanes, y
- 65 - se comandan velocidades de precesión de por lo menos uno de los cardanes de los accionadores que proporcionan el par de comando para alcanzar la configuración deseada,

caracterizado porque se efectúa el cálculo aplicando una limitación de búsqueda de configuración de racimo alejada de las configuraciones singulares mediante reparto, entre los dos grupos de accionadores, de la componente del momento cinético total del racimo, que es perpendicular, al mismo tiempo, a una y otra de ambas dichas direcciones.

- 5 En un modo ventajoso de realización, se adopta, como criterio de alejamiento de una configuración de ángulos de los cardanes en el racimo con relación a una configuración singular, el producto de dos criterios más simples que se aplican por separado a cada uno de los dos grupos de accionadores.

Estos dos criterios pueden ser de naturaleza muy variada:

10

En caso de que uno de los grupos esté constituido por dos accionadores cada uno con un momento cinético adimensional de norma unidad, el criterio de alejamiento entre una configuración de ángulos de los cardanes y una configuración singular puede ser un criterio elegido como:

15

- anulándose cuando el ángulo entre los dos vectores momento cinético portados por los dos accionadores es nulo o plano, y
- alcanzando un máximo cuando el ángulo entre los dos vectores momento cinético portados por los dos accionadores está próximo a 90°.

20

La búsqueda de una configuración final alejada de las singularidades puede permitir establecer una tabulación de las correspondencias entre los distintos momentos cinéticos de racimo necesarios para las distintas maniobras del satélite y las configuraciones de racimo óptimas respectivas asociadas. En una variante, la búsqueda de una configuración final alejada de las singularidades proporciona directamente y de manera analítica una configuración de racimo óptima que realiza la solicitud de momento cinético de racimo necesario para maniobrar el satélite.

25

En el caso de un grupo constituido por tres accionadores, cada uno portador de un momento cinético adimensional de norma unidad, el criterio de distancia entre una configuración de ángulos cardán y una configuración singular puede definirse de manera a anularse cuando uno de los ángulos formados cada vez por dos de los tres vectores momento cinético portados por los tres accionadores es nulo, y de manera a alcanzar su máximo cuando dichos ángulos son próximos de 120°.

30

En el caso de efectuar un pilotaje según una ley predeterminada en el tiempo, se puede buscar una configuración final alejada de las singularidades de forma continua, desviando continuamente la configuración del racimo para situarse en todo momento -o por lo menos periódicamente- en el máximo local del criterio de alejamiento de la singularidad.

35

En una variante, se efectúa la búsqueda de una configuración final alejada de las singularidades en cuanto se detecta que el alejamiento entre la configuración corriente y la singularidad asociada se vuelve inferior a un umbral predeterminado.

40

La búsqueda de una configuración final alejada de las singularidades puede llevarse a cabo de forma anticipada, a partir del conocimiento previo de la trayectoria de momento cinético de racimo necesaria para el cambio de orientación del satélite y la trayectoria obtenida se emplea a continuación como trayectoria preferida, enviada en bucle abierto en el marco de un método de control de la actitud que asocia un comando en bucle abierto al comando en bucle cerrado de la solicitud FR ya citada.

45

La invención permite asimismo efectuar un guiado según una ley memorizada. En este caso, es ventajoso determinar, antes de la maniobra de reorientación, una configuración final alejada de las singularidades, conociendo la maniobra de actitud a realizar por parte del satélite, y controlar la actitud asociando un comando en bucle abierto a un comando en bucle cerrado, como se describe en la solicitud FR 98 14548. Dicho de otro modo, se pone en práctica el procedimiento por anticipado a partir del conocimiento previo de la maniobra a realizar y se efectúa la maniobra de actitud del satélite utilizando la trayectoria obtenida en bucle abierto en un control de actitud que asocia un comando en bucle abierto a un comando en bucle cerrado, asegurando el desplazamiento del satélite en la actitud final deseada.

55

La invención propone asimismo un dispositivo de pilotaje de actitud que permite poner en práctica el procedimiento anterior, que incluye:

60

un racimo de por lo menos cuatro accionadores giroscópicos con molinetes respectivos montados en cardanes orientables alrededor de ejes paralelos a una u otra de sólo dos direcciones distintas y fijas con relación al satélite, formando así dos grupos de accionadores de los que por lo menos uno tiene dos accionadores

65

- unos sensores de medición de la actitud actual del satélite,
- unos medios de cálculo para calcular la necesidad de par de comando para cumplir con una consigna de actitud del satélite, y para determinar unos medios de comando de las velocidades de precesión de los cardanes que realizan el par de comando a través de un método de linearización local basada en la pseudo-

inversión de la matriz jacobiana de la función que une las orientaciones de los cardanes de los accionadores al momento cinético del racimo.

Las características anteriores, así como otras, aparecerán mejor mediante la lectura de la siguiente descripción de un modo concreto de realización de la invención, proporcionado a título no limitativo. La descripción se refiere a los dibujos que la acompañan, en los cuales:

- la figura 1 muestra un esquema en perspectiva que muestra una posible disposición de cuatro accionadores giroscópicos 1-eje de un racimo que emplea una arquitectura ventajosa, habiéndose representado los accionadores con orientaciones de cardán idénticas;

- la figura 2 presenta un esquema que muestra los parámetros que intervienen en el cálculo analítico de las posibles correspondencias entre el momento cinético buscado  $H$  y las posiciones angulares o de los cardanes;

- la figura 3 presenta un esquema que muestra los parámetros que intervienen en el cálculo analítico en caso de pérdida de redundancia debido a la avería de un accionador.

La figura 1 muestra un racimo de cuatro accionadores giroscópicos 10a, 10b, 10c, 10d idénticos, cada uno con un molinete 12 montado en un cardán 14, de manera a poder girar alrededor de un eje respectivo 16. Un motor no representado mantiene el molinete en rotación, generalmente a velocidad constante. Cada cardán está montado en la plataforma del satélite (no representada) de manera a poder girar alrededor de un eje 18, ortogonal al eje 16. Cada uno de los cardanes está dotado de un motor 22 que permite hacer girar el cardán alrededor del eje 18 respectivo. Un sensor angular como 23 proporciona información sobre la orientación del cardán y, por lo tanto, del plano del molinete 12.

El mantenimiento del satélite en una actitud de consigna en una marca inercial queda asegurado mediante un sistema de comando de actitud con una constitución general que puede ser de un tipo conocido. El sistema incluye un órgano 26 de cálculo y de comando que memoriza consignas de orientación recibidas por un emisor-receptor 28 de enlace con tierra, y recibe señales 30 procedentes de sensores de orientación, tales como sensores de estrella y de horizonte terrestre. Dicho órgano 26 comanda circuitos de potencia 32 que alimentan los motores 22. Este sistema tiene generalmente una constante de tiempo relativamente larga, de entre algunos segundos y varias decenas de segundos.

Para permitir la puesta en práctica de la invención, los ejes 18 tienen una u otra de sólo dos orientaciones distintas.

En el triedro de referencia  $x, y, z$  ligado al satélite, los ejes de los cardanes de los accionadores 10a y 10b están dispuestos perpendicularmente a un mismo plano  $P1$ . Los ejes de los cardanes de los accionadores 10c y 10d son asimismo paralelos entre sí y están dispuestos perpendicularmente a un plano  $P2$  que intercepta el plano  $P1$  según el eje  $x$ . Los planos  $P1$  y  $P2$  forman ambos un ángulo  $\beta$  con el eje  $y$ . Más adelante se indicará el momento cinético global del racimo de accionadores mediante  $H$  y los componentes de  $H$  en los planos  $P1$  y  $P2$  respectivamente mediante  $H1$  y  $H2$ , designando  $u1$  y  $u2$  los ejes perpendiculares a  $x$  contenidos respectivamente en los planos  $P1$  y  $P2$ .

La configuración de accionadores mostrada en la figura 1 (así como cualquier otra configuración de accionadores en la que los ejes de los cardanes son paralelos de dos en dos) tiene la ventaja de permitir expresar de forma analítica la correspondencia entre el momento cinético  $H$  y las posiciones angulares 1, 2, 3 y 4 de los cardanes, expresada por ejemplo con relación a la disposición mostrada en la figura 1.

Como se ha indicado anteriormente, el procedimiento de la invención implica buscar una configuración de racimo, es decir un conjunto de valores  $\sigma$  que suministra al mismo tiempo el vector momento cinético de racimo solicitado  $H = (Hx, Hy, Hz)$  que es óptimo, en el sentido de que está alejado de una configuración singular.

Para efectuar el análisis analítico, se desglosa el vector  $H$  en:

- una componente  $[Hy, Hz]$  que está en el plano  $y, z$ , que a su vez puede desglosarse en dos componentes  $Hu1$  y  $Hu2$ , según los ejes  $u1$  y  $u2$ , de una única manera,

- una componente  $Hx$  según el eje  $x$ .

La arquitectura adoptada permite repartir la componente  $Hx$  entre los dos pares de accionadores 10a-10b y 10c-10d con un grado de libertad, salvo en la superficie de envuelta de momento cinético, donde presenta una singularidad.

El desglose del vector  $H$  en dos vectores  $H1$  y  $H2$  puede ser el siguiente:

en el plano  $P1$ , definido por  $[x, u1]$ ,  $H1 = Hu1 + Hx1$ ,

en el plano  $P2$ , definido por  $[x, u2]$ ,  $H2 = Hu2 + Hx2$ .

En cada plano, basta con orientar los cardanes cuyos ejes son perpendiculares a dicho plano para obtener la componente plana necesaria.

## ES 2 274 088 T3

Por ejemplo, los dos cardanes del plano P1 están dispuestos simétricamente a cada lado de la dirección del momento cinético H1, formando un ángulo 1 con dicha dirección, tal que:

$$2h \cos 1 = |H1|$$

indicando h el momento cinético escalar individual de cada rueda.

En el plano P2, se puede realizar la misma operación:

$$2h \cos 2 = |H2|$$

Se observa que la determinación es puramente analítica y permite obtener cuatro ángulos de orientación de los cardanes que proporcionan el momento cinético requerido H, dentro del límite del valor máximo  $R = 2h$  del momento cinético de cada par de accionadores.

Dado que se dispone de cuatro momentos cinéticos ajustables, mientras que el momento cinético H a realizar es de tres dimensiones, existe un grado de libertad que permite obtener Hx mediante cualquier combinación de la forma:

$$Hx1 = \lambda Hx$$

$$Hx2 = [(1 - \lambda) (Hx)]$$

siendo  $\lambda$  un coeficiente de ponderación elegido a voluntad.

De conformidad con la invención, la elección se realiza buscando la configuración de racimo alejada de las configuraciones singulares, adoptando como criterio uno de los dos indicados anteriormente.

En consecuencia, la arquitectura propuesta en combinación con el procedimiento de la invención, permite conseguir numerosas ventajas.

La correspondencia entre el valor H requerido y los distintos repartos 1, 2, 3 y 4 puede expresarse de forma puramente analítica.

Es posible pasar de cualquier configuración que cree un momento cinético H determinado, a cualquier otra configuración que cree el mismo momento cinético mediante un desplazamiento de par nulo en permanencia, simplemente por medio de una variación continua del factor de ponderación  $\lambda$ . Esto confirma la ausencia de singularidades internas elípticas para la configuración propuesta.

La invención es aplicable a diversos modos de pilotaje de actitud y de guiado según una ley predeterminada a cumplir sobre un período largo, por ejemplo de varios días.

Las configuraciones y modos de control habitualmente utilizados en el pasado exigían un guiado global que obligaba al momento cinético a seguir una variación determinada por anticipado, para evitar el paso por singularidades. El pilotaje local (que, para mayor claridad, se opondrá a guiado global) podía conducir a singularidades elípticas de las que era difícil salir. Un guiado global, tal como se propone en la solicitud de patente francesa mencionada anteriormente, elimina el problema, pero requiere un conocimiento previo de la maniobra a realizar.

En el caso de la invención, para evitar encontrarse en una singularidad, basta con añadir al pilotaje local mediante pseudo-inversión de la jacobiana, un bucle de servidumbre que permite, con un par nulo, buscar la configuración más alejada posible de una configuración singular. Esta aproximación tiene la ventaja adicional de garantizar que el racimo de accionadores está siempre a proximidad de una controlabilidad óptima.

La invención se presta asimismo al guiado predictivo basado en un algoritmo de pilotaje local, siguiendo una trayectoria calculada por anticipado, memorizada e inyectada en bucle abierto en los medios de cálculo 34. Especialmente, es posible precalcular una trayectoria óptima en términos de controlabilidad, que permita en todo momento un perfil de velocidad angular especificado o, por lo menos, pasar por perfiles de velocidad especificados.

Un interés adicional de la configuración es que la geometría sigue sencilla en caso de avería de uno de los accionadores, los que permite conservar una capacidad de control de actitud y degradar sólo escasamente la agilidad (del 25% alrededor del eje x).

Si, por ejemplo, uno de los accionadores del plano P1 está averiado, nos encontramos en el caso representado en la figura 3.

## ES 2 274 088 T3

La resolución de la relación entre el momento cinético global y las orientaciones de los accionadores disponibles sigue siendo estrictamente analítica.

5 La única consecuencia importante es que el accionador sano en el plano P1 tiene una orientación angular que viene impuesta por la solicitud de momento  $H_{u1}$ , siendo único el desglose de H según los ejes  $u_1$  y  $u_2$ . Naturalmente, ya no existe el grado de libertad que proporcionaba la presencia de cuatro accionadores.

10 La capacidad de control alrededor de un momento cinético nulo se conserva mediante la presencia de dos posiciones de los accionadores restantes que aseguran el valor cero. Estas dos configuraciones son no singulares y el radio  $R_p$  de los alrededores exento de singularidad es igual a h (figura 3).

15 La pérdida de agilidad en la base x, cuya capacidad es máxima, es como pasar de  $4h$  a  $3h$ . Según uno de los ejes u, la pérdida de agilidad máxima es del 50%. Pero, muy a menudo, el eje según el cual las exigencias de agilidad son más fuertes es el eje x, donde la degradación es más escasa.

20 En el caso mencionado anteriormente, donde uno de los grupos está constituido por dos accionadores, el criterio de alejamiento de una configuración de ángulos cardán con relación a una configuración singular puede determinarse utilizando uno de los siguientes parámetros: - norma del producto vectorial de los dos vectores de momento cinético portados por los dos accionadores; - valor absoluto del seno del ángulo que forman los dos vectores de momento cinético portados por los dos accionadores, - área de un triángulo del que dos lados son los vectores de momento cinético portados por los dos accionadores, siendo sus orígenes coincidentes; y - diferencia entre la unidad y el valor absoluto del producto escalar de los dos vectores de momento cinético portados por los dos accionadores.

25 En caso de que el grupo estuviera constituido por tres accionadores, cada uno portador de un momento cinético adimensional de norma unidad, el alejamiento entre una configuración de ángulos cardán y una configuración singular puede determinarse especialmente utilizando uno de los siguientes parámetros: suma de los tres productos vectoriales de dos en dos de los vectores de momento cinético portados por los tres accionadores, y área del triángulo cuyos vértices coinciden con los vértices de los vectores de momento cinético portados por los tres accionadores, siendo sus orígenes coincidentes.

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de pilotaje de la actitud de un satélite que incluye un racimo de por lo menos cuatro accionadores giroscópicos (10a, 10b, 10c, 10d) con ruedas (12) respectivas montadas en cardanes (14) orientables alrededor de ejes (18) paralelos a una u otra de sólo dos direcciones distintas y fijas con relación al satélite, formando así dos grupos de accionadores de los que uno tiene por lo menos dos accionadores, según el cual:

- se mide la actitud del satélite por medio de sensores embarcados en el satélite,
- se calcula la necesidad de par de comando para efectuar una maniobra de reorientación de la actitud,
- se efectúa un cálculo de linealización local basado en la pseudo-inversión de la matriz jacobiana de la función que une las orientaciones de los cardanes (14) de los accionadores en el momento cinético total del racimo, para determinar una nueva orientación de los cardanes, y
- se comandan velocidades de precesión de por lo menos uno de los cardanes (14) de los accionadores que proporcionan el par de comando para alcanzar la configuración deseada,

**caracterizado** porque se efectúa el cálculo aplicando una limitación de búsqueda de configuración de racimo alejada de las configuraciones singulares mediante reparto, entre los dos grupos de accionadores, de la componente del momento cinético total del racimo, que es perpendicular, al mismo tiempo, a una y otra de ambas dichas direcciones.

2. Procedimiento, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se adopta como criterio de alejamiento de una configuración de ángulos de los cardanes (14) en el racimo con relación a una configuración singular, aplicándose el producto de dos criterios más simples por separado a cada uno de los dos grupos de accionadores (10a-10b, 10c-10d).

3. Procedimiento, según la reivindicación 2, **caracterizado** porque, en un grupo constituido por dos accionadores portadores cada uno de un momento cinético adimensional de norma unidad, el criterio de alejamiento entre una configuración de ángulos de los cardanes y una configuración singular se elige como:

- anulándose cuando el ángulo entre los dos vectores momento cinético portados por los dos accionadores es nulo o plano, y
- alcanzando un máximo cuando el ángulo entre los dos vectores momento cinético portados por los dos accionadores está próximo a  $90^\circ$ .

4. Procedimiento, según la reivindicación 3, **caracterizado** porque el criterio de alejamiento de una configuración de ángulos cardán con relación a una configuración singular se determina utilizando uno de los siguientes parámetros:

- norma del producto vectorial de los dos vectores momento cinético portados por los dos accionadores,
- valor absoluto del seno del ángulo que forman los dos vectores momento cinético portados por los dos accionadores,
- área de un triángulo del que dos lados son los vectores momento cinético portados por los dos accionadores, siendo sus orígenes coincidentes,
- diferencia entre la unidad y el valor absoluto del producto escalar de los dos vectores de momento cinético portados por los dos accionadores.

5. Procedimiento, según la reivindicación 2, **caracterizado** porque, dado que el grupo considerado está constituido por tres accionadores cada uno portador de un momento cinético adimensional de norma unidad, el criterio de distancia entre una configuración de ángulos cardán y una configuración singular se define de manera a anularse cuando uno de los ángulos formados cada vez por dos de los tres vectores de momento cinético portados por los tres accionadores es nulo y de manera a alcanzar su máximo cuando dichos ángulos son próximos de  $120^\circ$ .

6. Procedimiento, según la reivindicación 5, **caracterizado** porque el alejamiento entre una configuración de ángulos cardán y una configuración singular se determina utilizando unos de los siguientes parámetros:

- suma de los tres productos vectoriales de dos en dos de los vectores de momento cinético portados por los tres accionadores,
- área del triángulo cuyos vértices coinciden con los vértices de los vectores de momento cinético portados por los tres accionadores, siendo sus orígenes coincidentes.

7. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con objeto del pilotaje del satélite según una ley determinada en el tiempo, **caracterizado** porque se busca una configuración final alejada de las singularidades de forma continua, desviando continuamente la configuración del racimo para situarse en el máximo local del criterio de distancia con relación a la singularidad.

8. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque se pone en práctica la búsqueda de una configuración final alejada de las singularidades cuando se detecta que el alejamiento entre la configuración corriente y la singularidad asociada se vuelve inferior a un umbral predeterminado.

9. Procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque para realizar una maniobra de actitud determinada alcanzando una configuración final alejada de las singularidades, se controla la actitud asociando un comando en bucle abierto a un comando en bucle cerrado.

10. Procedimiento, según la reivindicación 9, **caracterizado** porque se establece mediante cálculo previo una tabulación de las correspondencias entre los distintos momentos cinéticos de racimo necesarios en las distintas maniobras del satélite y las configuraciones de racimo óptimas respectivas asociadas, con objeto de conseguir una configuración final alejada de las singularidades.

11. Procedimiento, según la reivindicación 9, **caracterizado** porque la búsqueda de una configuración final alejada de las singularidades proporciona directamente y de forma analítica una configuración de racimo óptima, realizando la solicitud de momento cinético de racimo necesario para la maniobra del satélite.

12. Procedimiento, según la reivindicación 7, **caracterizado** porque se pone en práctica por anticipado a partir del conocimiento previo de la maniobra a realizar y se efectúa la maniobra de actitud del satélite utilizando la trayectoria obtenida en bucle abierto en un control de actitud que asocia un comando en bucle abierto a un comando en bucle cerrado que asegura la entrada del satélite en la actitud final deseada.

13. Dispositivo de pilotaje de actitud de un satélite, que permite poner en práctica el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, que incluye:

- un racimo de por lo menos cuatro accionadores giroscópicos (10a, 10b, 10c, 10d) con molinetes (12) respectivos montados en cardanes (14) orientables alrededor de ejes paralelos a una u otra de sólo dos direcciones distintas y fijas con relación al satélite, formando así dos grupos de accionadores (10a-10b, 10c-10d) de los que por lo menos uno tiene dos accionadores,
- unos sensores de medición de la actitud actual del satélite,
- unos medios de cálculo (26, 34) para calcular la necesidad de par de comando para cumplir con una consigna de actitud del satélite, y para determinar unos medios de comando de las velocidades de precesión de los cardanes que realizan el par de comando a través de un método de linearización local basada en la pseudo-inversión de la matriz jacobiana de la función que une las orientaciones de los cardanes (14) de los accionadores (10a, 10b, 10c, 10d) al momento cinético del racimo.



FIG.1.

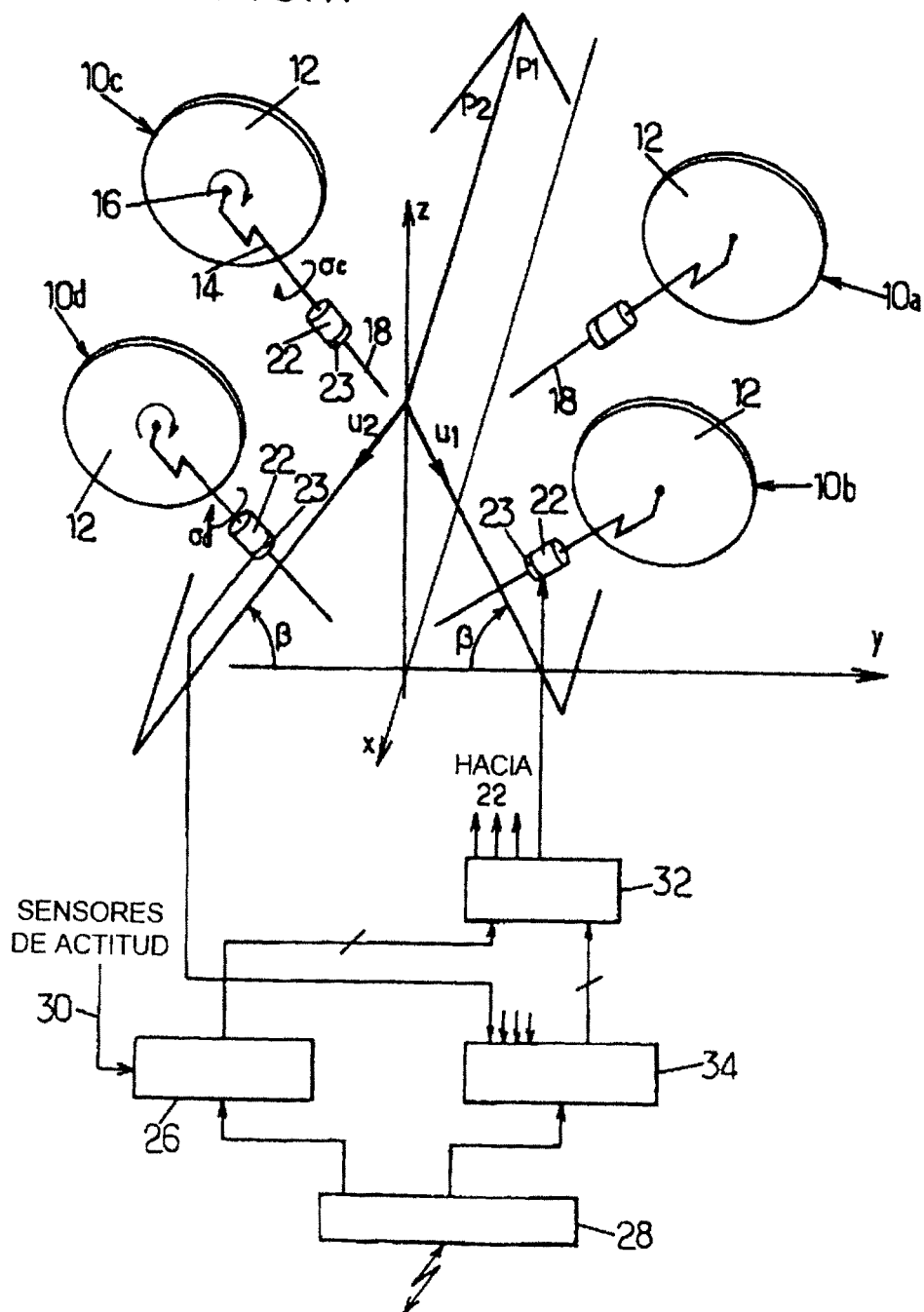


FIG.2.

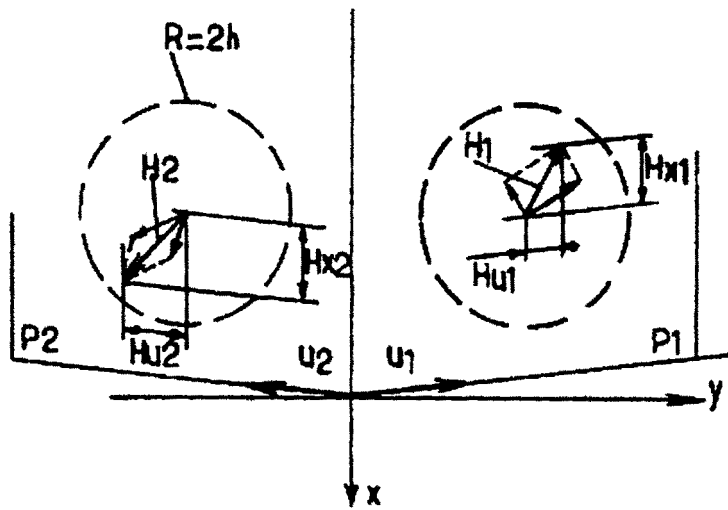


FIG.3.

