

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 622**

51 Int. Cl.:

G05D 1/12 (2006.01)

F41G 7/00 (2006.01)

G01C 21/00 (2006.01)

F42B 15/01 (2006.01)

F41H 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.05.2010 E 10162443 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2012 EP 2251759**

54 Título: **Procedimiento y sistema de estimación de una trayectoria de un móvil**

30 Prioridad:

15.05.2009 FR 0953222

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

22.02.2013

73 Titular/es:

**MBDA FRANCE (100.0%)
37, Boulevard de Montmorency
75016 Paris, FR**

72 Inventor/es:

BOURZIER, LAURENT

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 396 622 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 y sistema de estimación de una trayectoria de un móvil.

Antecedentes de la invención.

5 La presente invención se sitúa en el ámbito de la validación de las capacidades de funcionamiento de un móvil o vehículo volante, tal como por ejemplo un vehículo aéreo no tripulado, un misil, etc.

Ésta concierne de modo más particular a la estimación de la trayectoria de un móvil en un entorno real de navegación, especialmente tras la detección de un rebasamiento o de un cambio de un objetivo designado para este móvil. Por objetivo se entiende aquí, un blanco, un objeto a alcanzar por el móvil, designado por ejemplo en forma de coordenadas geográficas.

10 En el sentido de la invención, un rebasamiento de un objetivo por un móvil significa que el móvil no ha alcanzado este objetivo (por ejemplo éste ha fallado el objetivo). De modo similar, en lo que sigue de la descripción, se hablará de ataque de un objetivo por un móvil cuando éste intenta alcanzar a este objetivo.

La invención permite así, de modo privilegiado, pero no limitativo, evaluar la capacidad de un móvil de volver a atacar a un objeto fallado y/o su capacidad de cambiar de objetivos en el transcurso de una misión.

15 En el estado actual de la técnica, existen procedimientos de simulación híbrida que permiten estimar la trayectoria de un móvil, tal como un avión o un cohete, de modo preciso y a un coste razonable.

Estos procedimientos de simulación híbrida se apoyan:

20 - por una parte, en subconjuntos reales, como por ejemplo un simulador de movimientos angulares en el cual está embarcado el móvil o una parte de éste, y que comprende ciertos elementos del móvil tales como su central inercial, su calculador, etc; y

- por otra, en modelos matemáticos que reemplazan a elementos del móvil no puestos en práctica y que modelan el entorno de navegación del móvil, como por ejemplo un modelo matemático para la propulsión, la aerodinámica, para la atmósfera, la Tierra, etc.

25 Tal procedimiento de simulación está descrito por ejemplo en el documento EP 1 909 067 y en el documento FR 2 927 418. Éste es utilizado para validar una central inercial embarcada en un móvil, comparando una trayectoria estimada del móvil con la ayuda del procedimiento de simulación híbrida con una trayectoria de referencia.

30 Sin embargo, actualmente no se conoce procedimiento ni sistema de simulación híbrida, que permitan estimar la trayectoria de un móvil tras la detección de un acontecimiento representativo de un rebasamiento de un objetivo que este móvil debe alcanzar o de un cambio de objetivo que necesite para alcanzarlo desplazamientos angulares superiores a los ofrecidos por los medios puestos en práctica en el sistema de simulación híbrida, con miras especialmente a permitir la evaluación de la capacidad de reataque del móvil o de su capacidad de cambio de objetivos en el transcurso de una misión.

Objeto y resumen de la invención

35 La presente invención responde especialmente a esta necesidad, proponiendo un procedimiento de estimación de una trayectoria de un móvil en un entorno real de navegación que comprende, la facilitación, por una herramienta de simulación numérica que modela el móvil en este entorno, de mandos cinemáticos a un simulador de movimientos que embarca al móvil y a un blanco representativo de un objetivo a alcanzar por el móvil, siendo alimentada esta herramienta de simulación por mandos de gobierno facilitados por un calculador del móvil y facilitando, en respuesta a estos mandos de gobierno, puntos de la trayectoria. De acuerdo con la invención, el procedimiento de estimación comprende, además:

40 - en la detección de un acontecimiento representativo de un rebasamiento o de un cambio de un primer objetivo designado para este móvil, una fase de posicionamiento asociada a un segundo objetivo designado para el móvil, que comprende:

45 - la comparación de posiciones ejecutadas por el simulador de movimientos, en respuesta a primeros mandos cinemáticos de transición, con una primera posición de consigna predeterminada, y la activación de un primer marcador cuando se detecte una posición sensiblemente igual a la primera posición de consigna;

- la comparación de posiciones ejecutadas por el blanco, en respuesta a segundos mandos cinemáticos de transición, con una segunda posición de consigna predeterminada, y la activación de un segundo marcador cuando se detecte una posición sensiblemente igual a la segunda posición de consigna;

- cuando los primero y segundo marcadores estén activados, una etapa de evaluación de una diferencia entre el mando cinemático corriente facilitado al simulador de movimientos y el mando cinemático corriente facilitado al objetivo por la herramienta de simulación; y
- 5
- si esta diferencia es inferior a un umbral determinado, una fase de gobierno que comprende la aplicación de términos correctivos a los mandos cinemáticos procedentes de la herramienta de simulación antes de su facilitación al simulador de movimientos y al blanco, estando ligados estos términos correctivos a las posiciones de consigna.
- Correlativamente, la invención concierne igualmente a un sistema de simulación híbrida que permite la estimación de una trayectoria de un móvil en un entorno real de navegación, comprendiendo el citado sistema:
- un simulador de movimientos que embarca al móvil;
- 10
- un blanco representativo de un objetivo que hay que alcanzar por el móvil; y
 - una herramienta de simulación numérica que modela el móvil en el entorno real de navegación, y adaptada para facilitar mandos cinemáticos al simulador de movimientos y al blanco, siendo alimentada esta herramienta de simulación por mandos de gobierno facilitados por un calculador del móvil y facilitando, en respuesta a estos mandos de gobierno, puntos de la trayectoria;
- 15
- comprendiendo el citado sistema, además:
- medios para detectar un acontecimiento representativo de un rebasamiento o de un cambio de un primer objetivo designado para este móvil;
 - medios, activados en la detección de dicho acontecimiento y durante una fase de posicionamiento asociada a un segundo objetivo designado para el móvil:
- 20
- para comparar posiciones ejecutadas por el simulador de movimientos en respuesta a primeros mandos cinemáticos de transición con una primera posición de consigna predeterminada, y activar un primer marcador cuando se detecte una posición sensiblemente igual a la primera posición de consigna; y
 - para comparar posiciones ejecutadas por el blanco en respuesta a segundos mandos cinemáticos de transición con una segunda posición de consigna predeterminada, y activar un segundo marcador cuando se detecte una posición sensiblemente igual a la segunda posición de consigna;
- 25
- medios para detectar cuando los primero y segundo marcadores están activados y para, llegado el caso, evaluar una diferencia entre el mando cinemático corriente facilitado al simulador de movimientos y el mando cinemático corriente facilitado al blanco por la herramienta de simulación;
 - medios para comparar esta diferencia con un umbral determinado; y
- 30
- medios, activados cuando la diferencia es inferior al citado umbral, para aplicar, en el transcurso de una fase de gobierno, términos correctivos a los mandos cinemáticos procedentes de la herramienta de simulación antes de facilitarlos al simulador de movimientos y al blanco, estando ligados estos términos correctivos a las posiciones de consigna.
- 35
- La invención se apoya por tanto ventajosamente en un simulador híbrido en bucle cerrado. Éste está compuesto especialmente por una herramienta de simulación numérica así como por equipos reales tales como un simulador de movimientos que embarca al móvil, un blanco que representa el objetivo que hay que alcanzar por el móvil, y un calculador del móvil adaptado para facilitar mandos de gobierno a la herramienta de simulación numérica, permitiendo así el cálculo de los puntos de la trayectoria. De esta manera, la trayectoria del móvil estimada con la ayuda de la invención es muy próxima a una trayectoria real que tendría este móvil.
- 40
- Cuando el segundo objetivo corresponde al primer objetivo, esta trayectoria refleja el comportamiento del móvil en caso de rebasamiento de su objetivo y de reataque a éste. Inversamente, cuando el primero y el segundo objetivos son distintos, la trayectoria estimada con la ayuda de la invención refleja el comportamiento del móvil en caso de cambio de objetivos efectuado en el transcurso de una misión.
- 45
- El posicionamiento del blanco y del móvil con respecto a posiciones de consigna predeterminadas se realiza, en el transcurso de la fase de posicionamiento, con la ayuda de mandos cinemáticos de transición facilitados al simulador de movimientos y al blanco, que substituyen a los mandos cinemáticos procedentes de la herramienta de simulación. Se simplifica, así, el posicionamiento del móvil y del blanco en el transcurso de la fase de posicionamiento. Esta fase de posicionamiento permite asegurarse de que la estimación de la trayectoria obtenida representa de modo preciso una fase predefinida de ataque al segundo objetivo.
- 50
- Así, preferentemente, estas posiciones de consigna se elegirán de modo que pueda estimarse la trayectoria del móvil correspondiente a la puesta en práctica funcional del equipo de guía terminal del móvil (por ejemplo, de su autodirector) con miras a alcanzar al segundo objetivo. Esta fase corresponde en efecto a una fase crítica en la

detección y el seguimiento del segundo objetivo. Un análisis de la trayectoria del móvil estimada en esta fase permite determinar si el segundo objetivo ha sido alcanzado por el móvil. Es posible entonces evaluar, en función de los objetivos designados para el móvil, su capacidad de reataque a un objetivo o su capacidad de cambio de y de ataque a objetivos en el transcurso de una misión.

5 Además, de modo conocido, los simuladores de movimientos angulares y los blancos actualmente disponibles tienen, por razones de coste y de viabilidad, capacidades limitadas, especialmente en términos de desplazamiento (es decir, excursión) angular: por ejemplo, más o menos 110° para un simulador de movimientos angulares, más o menos 40° para un blanco móvil. Por otra parte, esta limitación se ve amplificada debido a la utilización de cables y de bancos para realizar la interfaz entre los diferentes elementos del simulador híbrido.

10 La invención propone compensar estos desplazamientos angulares limitados con la ayuda de términos correctivos, aplicados durante una fase denominada de gobierno, a los mandos cinemáticos procedentes de la herramienta de simulación, antes de su facilitación al simulador de movimientos y al blanco. Estos términos correctivos están ligados a las posiciones de consigna consideradas para el blanco y para el móvil. De esta manera, con la invención es posible estimar cualquier trayectoria de un móvil, independientemente de la posición de los primero y segundo objetivos,

15 Deberá observarse que, en el sentido de la invención, se entiende por aplicación de un término correctivo a un mando cinemático, la aplicación de un término correctivo a uno o varios de los componentes de este mando cinemático (incluso a todos sus componentes), pudiendo ser el valor del término correctivo diferente según los componentes.

20 Así pues, la invención tiene una aplicación privilegiada cuando la posición del segundo objetivo con respecto a la posición del primer objetivo requiera una trayectoria del móvil incompatible con las capacidades en términos de desplazamiento angular del simulador de movimientos y del blanco. Esta situación se presenta especialmente cuando el segundo objetivo corresponde al primer objetivo y el móvil debe efectuar una rotación casi completa para volverse a posicionar en la dirección del blanco.

25 En un modo particular de realización del procedimiento de simulación de acuerdo con la invención, los mandos cinemáticos facilitados por la herramienta de simulación al simulador de movimiento comprenden una componente de desviación lateral y los mandos cinemáticos facilitados por la herramienta de simulación al blanco comprenden una componente de orientación. Por componente de orientación se entiende aquí la componente angular del mando cinemático en el plano horizontal. En este modo de realización, en tanto que no sea detectado un acontecimiento representativo de un rebasamiento o de un cambio del primer objetivo designado para el móvil, se aplica a las componentes de desviación lateral y a las componentes de orientación de los mandos cinemáticos un término de compensación angular antes de su facilitación respectivamente al simulador de movimientos y al blanco.

30 Así, en este modo particular de realización, se aplica igualmente una compensación durante el ataque por el móvil del primer objetivo. Esta compensación permite liberarse de una trayectoria que debe seguir el móvil para alcanzar el primer objetivo incompatible con las capacidades angulares del simulador de movimientos y del blanco.

35 Por ejemplo, si la trayectoria del móvil es en dirección Sur, mientras que el eje de desviación lateral del simulador de movimientos presenta un desplazamiento angular tal que éste permite tomar una posición angular de más o menos 90° alrededor del Norte, se puede aplicar una compensación angular de 180°, para simular una trayectoria en dirección al Sur. El desfase angular se aplica tanto al eje de desviación lateral del mando cinemático del simulador de movimientos como al eje de orientación del mando cinemático del blanco.

40 En un modo particular de realización, cuando se requiere un cambio de dirección del móvil con miras a alcanzar el segundo objetivo con respecto a una dirección emprendida por el móvil para alcanzar al primer objetivo, la fase de posicionamiento comprende además una etapa de determinación del sentido de rotación por el móvil para cambiar de dirección, siendo elegidas las primera y segunda posiciones de consigna en función de este sentido de rotación.

45 En efecto, para volverse a colocar en la dirección supuesta del blanco, el móvil puede efectuar, sin que esto sea conocido previamente, un cambio de dirección en sentido horario o en el sentido antihorario.

Este modo de realización permite adaptar las posiciones de consigna que hay que respetar por el blanco y el simulador de movimientos en función del sentido de rotación del móvil, lo que permitirá desarrollar de modo realista:

- el final de la fase de alineación del móvil con el segundo objetivo;
- 50 - la puesta en práctica funcional del equipo que asegura el guiado terminal del móvil; y
- el guiado terminal del móvil hacia el segundo objetivo con miras a alcanzarlo.

De acuerdo con una variante, durante la etapa de determinación, los mandos cinemáticos de transición facilitados al simulador de movimientos y al blanco pueden ser constantes. Estos mandos cinemáticos de transición constantes

pueden comprender por ejemplo las posiciones ejecutadas por el simulador de movimientos y por el blanco en el momento de la detección del acontecimiento.

5 En un modo particular de realización de la invención, el umbral que hay que franquear para acceder a la fase de gobierno depende de las posiciones ejecutadas respectivamente por el simulador de movimientos y por el blanco durante la activación respectivamente del primero y segundo marcadores, y del sentido de rotación adoptado por el móvil para cambiar de dirección.

En variante, el umbral puede estar predeterminado y depender especialmente de las posiciones de consigna.

En un modo de realización de la invención, la fase de gobierno comprende además la evaluación de los términos correctivos a partir:

- 10 - de las posiciones de consigna;
- de los mandos cinemáticos facilitados por la herramienta de simulación en el momento en que se detecte que la diferencia sea inferior al umbral predeterminado.

En otro modo de realización de la invención, la fase de gobierno comprende además términos correctivos a partir:

- 15 - de las posiciones ejecutadas por el simulador de movimientos y por el blanco respectivamente en el momento de la activación del primer y del segundo marcador; y
- de los mandos cinemáticos facilitados por la herramienta de simulación en el momento en que se detecte que la diferencia sea inferior al umbral determinado.

Se obtiene así un valor más preciso de los términos correctivos que hay que aplicar a los mandos cinemáticos antes de su facilitación al simulador de movimientos y al blanco.

20 En un modo particular de realización, los mandos de gobierno son evaluados por el calculador del móvil a partir:

- de datos inerciales de medición facilitados por una central inercial del móvil embarcado en el simulador de movimientos;
- de datos inerciales de simulación representativos de datos inerciales considerados como facilitados por la central inercial en el entorno real de navegación; y
- 25 - de datos inerciales teóricos representativos de los datos inerciales de medición facilitados por la central inercial, siendo evaluados estos datos inerciales teóricos a partir de mandos cinemáticos ejecutados por el simulador de movimientos.

Preferentemente, los mandos de gobierno son calculados en función de datos inerciales I definidos por $I=T2+R-T1$ donde $T2$, R y $T1$ designan respectivamente los datos inerciales de simulación, los datos inerciales de medición y los datos inerciales teóricos.

30

Así, la fase de posicionamiento es transparente en la estimación de la trayectoria del móvil.

En efecto, dependiendo los datos inerciales de medición y los datos inerciales teóricos, cada uno, de los mandos (es decir de los datos) cinemáticos realmente ejecutados por el simulador de movimientos, estos se mantienen coherentes uno respecto de otro, incluso si el simulador de movimientos no ejecuta correctamente los mandos cinemáticos o si estos no están correctamente dimensionados.

35

Así, cualesquiera que sean los mandos cinemáticos facilitados al simulador de movimientos (o incluso en un caso extremo, en caso de ausencia de mandos cinemáticos variables facilitados al simulador de movimientos), esto no tiene consecuencia sobre los mandos de gobierno, ni por ello sobre la trayectoria estimada.

Así pues, se puede utilizar un simulador de movimientos subdimensionado para transitorios de gran dinámica angular de la trayectoria. Esto permite desarrollar una trayectoria precisa del móvil a un menor coste.

40

En otro modo de realización, los medios de guía son evaluados por el calculador del móvil a partir de datos inerciales obtenidos únicamente por simulación.

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la presente invención surgirán de la descripción que seguidamente se hace, refiriéndose a los dibujos anejos que ilustran un ejemplo de realización de la misma desprovisto de cualquier carácter limitativo. En las figuras:

45

- la figura 1 representa, en un modo particular de realización, un sistema de estimación de acuerdo con la invención;

- la figura 2 representa, en un modo particular de realización, las principales etapas del procedimiento de estimación de acuerdo con la invención puestas en práctica durante una primera parte de la simulación híbrida durante la cual el móvil intenta alcanzar un primer objetivo designado, por el sistema de estimación representado en la figura 1;
- 5 - la figura 3A representa, en un modo particular de realización, las principales etapas del procedimiento de estimación de acuerdo con la invención puestas en práctica durante una fase de posicionamiento de una segunda parte de la simulación híbrida durante la cual el móvil intenta alcanzar un segundo objetivo designado, por el sistema de estimación representado en la figura 1; y
- 10 - la figura 3B representa, en un modo particular de realización, las principales etapas del procedimiento de estimación de acuerdo con la invención puestas en práctica durante una fase de gobierno de la segunda parte de la simulación híbrida, que sigue a la fase de posicionamiento representada en la figura 3A.

Descripción detallada de un modo de realización

15 Como se describió anteriormente, la invención concierne a un procedimiento y a un sistema de estimación de una trayectoria de un móvil, tal como un vehículo aéreo no tripulado o un misil, en un entorno real de navegación, con miras por ejemplo a evaluar su capacidad de reataque a un objetivo o su capacidad de cambiar de objetivos y de atacar a estos nuevos objetivos en el transcurso de una misión.

20 De acuerdo con la invención, la trayectoria del móvil es calculada con la ayuda de una arquitectura de simulación híbrida que utiliza, por una parte, subconjuntos reales (por ejemplo calculador de a bordo y central inercial del móvil, simulador de movimientos angulares, blanco representativo de un objetivo que hay que alcanzar por el móvil) y, por otra, modelos numéricos del móvil (por ejemplo propulsión, consumo de carburante, central inercial) y de su entorno (por ejemplo, atmósfera, efectos terrestres).

En el modo de realización considerado aquí, esta trayectoria está compuesta por diferentes puntos, siendo definido cada punto por un triplete (longitud, latitud, altura) evaluado en el sistema de referencia terrestre.

25 La simulación híbrida puesta en práctica por el sistema de estimación de acuerdo con la invención para calcular esta trayectoria, se desarrolla en dos tiempos y comprende:

- una primera parte durante la cual el móvil intenta alcanzar un primer objetivo designado,
- y después una segunda parte, que sigue a la detección de un acontecimiento representativo de un rebasamiento del primer objetivo o de un cambio de este primer objetivo, y durante la cual el móvil intenta alcanzar a un segundo objetivo designado.

30 Deberá observarse que el primer objetivo y el segundo objetivo pueden ser distintos o, por el contrario, el segundo objetivo puede corresponder al primer objetivo. De acuerdo con esta última hipótesis, el móvil intenta, durante la segunda parte, reatacar al mismo objetivo. Esto puede presentarse especialmente cuando el móvil ha fallado su primer objetivo.

35 El procedimiento de estimación de acuerdo con la invención es implementado en forma de una pluralidad de iteraciones ejecutadas con la ayuda de la arquitectura de simulación híbrida antes citada, puesta en práctica en tiempo real y en bucle cerrado. Cada una de estas iteraciones permite obtener un punto de la trayectoria calculada del móvil. La figura 1 representa de manera esquemática, en un modo particular de realización, un sistema de estimación 1 de acuerdo con la invención y que pone en práctica esta arquitectura de simulación híbrida.

40 El sistema de estimación 1 comprende un simulador de movimientos angulares 2, que comprende una mesa de « 3 ejes » 21, mandada con la ayuda de una caja de control numérico 22 y adaptada para recibir a un móvil 3 (o vehículo volante). En el ejemplo aquí considerado, el móvil 3 es un misil, del que se desea evaluar la capacidad de reatacar a un objeto fallado indicado por O1 (primer objetivo en el sentido de la invención). El segundo objetivo en el sentido de la invención corresponde por tanto en este ejemplo, al primer objetivo. Sin embargo, como se describió anteriormente, la invención se aplica igualmente cuando el primer y el segundo objetivos son distintos.

45 El principio de funcionamiento de una mesa de « 3 ejes » es conocido por el especialista en la materia y no se describirá aquí en detalle. En variante, el simulador de movimientos angulares puede utilizar otro tipo de mesa, tal como por ejemplo una mesa de « 5 ejes ».

50 El simulador de movimientos angulares 2 puede realizar desplazamientos angulares alrededor de un eje de balanceo, de un eje de cabeceo y de un eje de desviación lateral, y así aplicar al móvil 3, movimientos angulares según estos tres ejes. Estos movimientos angulares son aplicados por la mesa 21, en función de mandos cinemáticos numéricos, recibidos de la caja 22. Estos mandos comprenden especialmente una posición angular, expresada en forma de tres componentes, correspondientes respectivamente a los tres ejes del simulador de movimientos. Estos pueden comprender igualmente una velocidad y/o una aceleración angulares.

De manera general en lo que sigue de la designación, con fines de simplificación, ésta se limitará a mandos cinemáticos constituidos por una posición angular solamente. Naturalmente, el especialista en la materia sabría traspasar el modo de realización descrito aquí al caso en que los mandos cinemáticos comprendan igualmente una velocidad y/o una aceleración angular.

- 5 El simulador de movimientos 2 está igualmente adaptado para facilitar los mandos cinemáticos C14 que éste realmente ha ejecutado, en respuesta a los mandos cinemáticos que ha recibido. Se designará por IC14, la componente de desviación lateral de la posición angular realmente ejecutada por el simulador de movimientos.

El móvil 3 embarcado en el simulador de movimientos está equipado con un dispositivo de guía terminal 31 y con una central inercial 32. El dispositivo de guía terminal 31 es por ejemplo autodirector.

- 10 De manera conocida, el dispositivo de guía terminal 31, es puesto en tensión cuando el móvil está próximo a su objetivo. Inversamente, en la detección de un rebasamiento del objetivo o cuando el móvil está demasiado alejado de éste, el dispositivo de guía terminal 31 es puesto fuera de tensión (o de modo equivalente, sus informaciones no son tenidas en cuenta).

- 15 La central inercial 32 comprende herramientas de medición tales como girómetros (o giroscopios) y acelerómetros (no representados en la figura), que la permiten facilitar datos inerciales de medición R (es decir, informaciones giro métricas y acelerométricas de medición), en respuesta a los movimientos aplicados por el simulador de movimientos 2.

- 20 El sistema de estimación 1 de acuerdo con la invención comprende igualmente un blanco 4, representativo de un objetivo que hay que alcanzar por el móvil (primer o segundo objetivo en función de la parte de la simulación híbrida considerada).

- 25 En el ejemplo considerado aquí, este blanco está embarcado en un carrito, adaptado para desplazarse sobre una porción de carril circular, en un plano horizontal, en respuesta a mandos cinemáticos que le son facilitados. Estos mandos cinemáticos comprenden especialmente una posición angular, cuya componente en el plano horizontal (componente de orientación) está definida con respecto al Norte geográfico. El blanco 4 está además adaptado para facilitar su posición corriente, en respuesta a estos mandos (es decir, posición ejecutada en el sentido de la invención). Se designará por IC24, la componente de orientación de esta posición corriente.

En variante, pueden ser utilizados otros blancos como, por ejemplo, blancos aéreos (por ejemplo mesa de 5 ejes), blancos que se desplazan sobre un eje recto, blancos estáticos provistos de cornetes, etc. En este último caso, una posición del blanco en el sentido de la invención designará el valor del baricentro asociado a los cornetes.

- 30 Deberá observarse que, debido a la hipótesis relativa al desplazamiento del blanco en un plano horizontal, el interés en este caso estará esencialmente en las componentes de desviación lateral y de orientación de las posiciones angulares del móvil y del blanco. Sin embargo, la invención puede aplicarse igualmente cuando el blanco se desplace en un plano vertical o según una dirección que comprenda una componente de orientación y una componente de situación. En tales casos, las operaciones detalladas en lo que sigue y aplicadas a los componentes
- 35 de desviación lateral y de orientación de las posiciones angulares de los mandos cinemáticas, se aplicarán igualmente a las componentes de cabeceo, para el móvil, y de situación para el blanco.

El simulador de movimientos angulares 2 y el blanco 4 están por otra parte relacionados con al menos un dispositivo informático u ordenador 5, utilizado para poner en práctica los elementos de modelación numérica de la arquitectura de simulación híbrida, tales como un modelo teórico M1 y una herramienta de simulación (o simulador) M2.

- 40 El modelo teórico M1 está adaptado para facilitar una imagen teórica T1 (datos inerciales teóricos en el sentido de la invención) de los datos inerciales medidos por la central inercial 32 embarcada en el simulador de movimientos 2 (es decir, en el punto de coordenadas fijas del laboratorio en el cual se encuentra el simulador de movimientos 2). Dicho de otro modo, los datos inerciales teóricos facilitados por el modelo teórico M1 representan los datos inerciales que mediría la central inercial 32 en el punto de coordenadas fijas si ésta fuera perfecta.

- 45 Para calcular la imagen teórica T1, el modelo teórico M1 se apoya en modelos matemáticos de los fenómenos físicos que se ejercen sobre el móvil 3, y de modo más particular sobre la central inercial 32 (expresiones teóricas que modelan los efectos terrestres tales como la rotación terrestre o la gravedad local), así como de los efectos ligados a los movimientos angulares ejecutados por el simulador de movimientos 2. Éste utiliza especialmente mandos cinemáticos que traducen las posiciones, velocidades y aceleraciones angulares realmente aplicadas al
- 50 móvil 3 por el simulador de movimientos 2.

- La herramienta de simulación M2 modela el móvil 3 en un entorno real de navegación, es decir en un entorno de navegación alrededor del globo terrestre, teniendo en cuenta los efectos terrestres locales sobre el móvil 3 (por ejemplo, gravedad local, velocidad de rotación terrestre), y los objetivos que tiene que alcanzar el móvil. Tal herramienta de simulación se apoya, de modo en sí conocido, en modelos matemáticos de los elementos que
- 55 constituyen el móvil (como especialmente un modelo de central inercial que presenta características nominales

(medio de tolerancia) del pliego de especificaciones técnicas de la central inercial 32), un modelo de mecánica del vuelo y de su entorno, etc.

En el ejemplo descrito aquí, durante la simulación híbrida, la herramienta de simulación M2 calcula, a partir de mandos de gobierno P:

- 5
- un punto X de trayectoria del móvil en el entorno real de navegación,
 - datos inerciales de simulación T2, representativos de los datos inerciales que se supone serían facilitados a la central inercial 32 en tal entorno, para este punto de trayectoria, y
 - mandos cinemáticos C11 y C21 destinados respectivamente al simulador de movimientos 2 y al blanco 4, y que representan los movimientos que hay que aplicar al móvil 3 y al blanco 4 correspondientes a este punto de trayectoria.
- 10

El modelo teórico M1 y la herramienta de simulación M2 se presentan en forma de softwares memorizados, por ejemplo, en una memoria muerta o en una memoria persistente del ordenador 5 (no representada).

- 15
- El móvil 3 comprende además un calculador de a bordo 33, unido, por una parte, a la central inercial 32 y, por otra, al ordenador 5. El calculador de a bordo 33 está encargado especialmente del gobierno y del guiado del móvil 3, a partir de datos inerciales I. Éste está dotado de un módulo « piloto » 33b, destinado a elaborar órdenes de giro (o medios de gobierno) de los órganos de gobierno del móvil, compatibles con las características del móvil (por ejemplo órdenes de giro de los timones aerodinámicos, mando de apertura de válvulas de regulación de caudal de carburante, etc.). El módulo piloto 33b es una función automática, que, gracias a los datos inerciales I, juzga en tiempo real el cumplimiento de la orden mandada precedentemente y que adapta si es necesario el nivel de la orden de mando que sigue, en función de una trayectoria de consigna.
- 20

De modo general, un calculador de a bordo de un móvil genera mandos de gobierno P especialmente a partir de datos inerciales procedentes de los girómetros y de los acelerómetros de la central inercial del móvil. En el sistema de validación 1 de acuerdo con la invención, los datos inerciales I utilizados por el calculador de a bordo 33 dependen:

- 25
- de los datos inerciales de medición R,
 - de los datos inerciales de simulación T2, y
 - de los datos inerciales teóricos T1.

De modo más preciso, en el ejemplo considerado aquí, el calculador de a bordo 33 evalúa los mandos de gobierno P a partir de los datos inerciales I que verificando:

30

$$I=R+T2-T1$$

Tal cálculo es conocido por el documento EP 1 909 067 y por el documento FR 08 50793, publicado con el N° 2 927 418, y en consecuencia no se explicará aquí en detalle.

- 35
- Deberá observarse que las diferentes conexiones entre el ordenador 5, el simulador de movimientos 2, el blanco 4, el calculador 33 de a bordo y la central inercial 32 pueden ser realizadas a través de cables eléctricos u ópticos, por radio o por otros medios.

Se describen ahora, refiriéndose a la figura 2, las principales etapas puestas en práctica en cada iteración de la primera parte del procedimiento de estimación de acuerdo con la invención por el sistema de validación 1, para evaluar un punto de la trayectoria del móvil 3. Como recordatorio, durante esta primera parte, el móvil 3 intenta alcanzar al primer objetivo O1 que previamente se la ha designado.

- 40
- La posición de este primer objetivo está por ejemplo almacenada en una memoria del móvil 3, o el móvil 3 puede recibirla por intermedio de un enlace de datos establecido con un satélite, un helicóptero, un avión, etc. Ésta corresponde a una posición expresada en el sistema de referencia terrestre, o en una variante, a una posición relativa con respecto a un elemento conocido del móvil, tal como su punto de tiro.

- 45
- Como se describió anteriormente, cada iteración i del procedimiento de estimación de acuerdo con la invención es implementada por las diferentes entidades del sistema de validación 1 en tiempo real, y a un ritmo de reloj condicionado por el ritmo de reloj del móvil. De modo más preciso, en cada iteración, los cálculos y los intercambios de datos entre el calculador de a bordo 33 del móvil, el simulador M2, el modelo teórico M1, el simulador de movimientos angulares 2, la central inercial 32 y el blanco 4 son efectuados a la frecuencia real que acompaña las operaciones realizadas por el móvil y en un plazo de tiempo inferior al período correspondiente a esta frecuencia.

De modo general, en lo que sigue de la descripción, se calificarán de « corrientes », los datos de la iteración en curso (por ejemplo mandos cinemáticos facilitados por la herramienta de simulación, aplicados o ejecutados, informaciones inerciales, etc.).

5 En el transcurso de una iteración i , a la recepción de mandos de gobierno P generados por el calculador de a bordo 33 a partir de datos inerciales I en la iteración $i-1$ (etapa E10), la herramienta de simulación numérica $M2$ genera un punto X de la trayectoria del móvil en el entorno real de navegación (etapa E20).

10 A tal fin, la herramienta $M2$ utiliza especialmente un modelo de mecánica del vuelo que le permite calcular, en respuesta a los mandos de gobierno P y en el entorno real de navegación, la posición real del móvil (es decir, punto de la trayectoria), a saber su longitud, su latitud y su altura. Este punto de trayectoria X se incrementa a la trayectoria del móvil elaborada por el procedimiento de estimación de acuerdo con la invención (etapa 30).

La herramienta de simulación $M2$ facilita igualmente, en tiempo real:

- los datos inerciales de simulación $T2$ representativos de los datos inerciales que se supone son medidos por la central inercial 32, para el nuevo punto X de trayectoria calculado, en el entorno real de navegación;
- 15 - mandos cinemáticos $C11$, que indican el movimiento que hay que ejecutar por el simulador de movimientos 2 en respuesta a los mandos de gobierno P (es decir, movimiento realizado por el móvil para alcanzar el nuevo punto de trayectoria X). Se designará por $IC11$ la componente de desviación lateral de la posición angular comprendida en $C11$, y definida con respecto al norte geográfico; y
- mandos cinemáticos numéricos $C21$, que indican la posición que debe tomar el eje móvil 3 – blanco 4. Se designará por $IC21$ la componente de orientación de la posición angular comprendida en $C21$.

20 En el ejemplo aquí considerado, la herramienta de simulación $M2$ facilita igualmente una estimación d de la distancia entre el móvil y el primer objetivo. Esta estimación permite especialmente a una unidad lógica 51 evaluar la posición del móvil con respecto al objetivo, y activar una transición T ($T=1$), cuando ésta detecta que el móvil ha rebasado el primer objetivo (etapa E40). Si no, por defecto, la transición está desactivada ($T=0$). Dicho de otro modo, la transición T está activada durante la segunda parte de la simulación híbrida y está desactivada durante la primera parte.

25 En el ejemplo considerado aquí, la segunda parte de la simulación híbrida coincide con la designación del segundo objetivo, dicho de otro modo del objetivo final que tiene que alcanzar el móvil. Sin embargo, naturalmente, entre el primer objetivo y este objetivo « final », podría considerarse la designación de uno o de varios objetivos intermedios, en cuyo caso la segunda parte de la simulación, y de modo más preciso la activación de la transición T , solamente intervendría a partir de la designación del objetivo final.

30 La unidad lógica 51 es por ejemplo una función de un programa informático o de un software memorizado en la memoria muerta del ordenador 5. Su funcionamiento se describirá más adelante en detalle, refiriéndose a las figuras 3A y 3B.

35 En el modo de realización considerado aquí, durante la primera parte de la simulación, los mandos cinemáticos $C11$ y $C21$, antes de su facilitación respectivamente al simulador de movimientos 2 y al blanco 4, son transmitidos a una unidad lógica 52 (etapa E50). La unidad lógica 52 es por ejemplo una función de un programa informático o de un software memorizado en la memoria muerta del ordenador 5. Esta unidad lógica 52 está adaptada para elaborar mandos cinemáticos $C21$ y $C22$ a partir de mandos cinemáticos $C11$ y $C21$ procedentes de la herramienta de simulación.

40 Para hacer esto, ésta aplica un término correctivo $D1$ no nulo a las componentes $IC11$ y $IC21$ de los mandos cinemáticos $C11$ y $C21$, si la trayectoria del móvil para alcanzar el primer objetivo es estimada incompatible con las capacidades angulares (desplazamiento) del simulador de movimientos 2 y del blanco 4. En el caso contrario, $D1$ será tomado aquí nulo, a fin de simplificar la arquitectura del simulador híbrido.

45 Deberá observarse que el término correctivo $D1$ solamente es aplicado por la unidad lógica 52 durante la primera parte de la simulación híbrida, es decir cuando el móvil intenta alcanzar el primer objetivo (dicho de otro modo cuando la transición T está desactivada, es decir $T=0$).

50 Para determinar si la trayectoria del móvil para alcanzar el primer objetivo es incompatible con las capacidades angulares del simulador de movimientos 2, se puede, antes de realizar la simulación híbrida con los elementos reales, efectuar una simulación numérica, por ejemplo con la ayuda del modelo $M2$ (que comprende entonces un modelo de calculador de a bordo), o en variante una simulación sin simulador de movimientos, y esto a fin de estimar de modo preliminar la trayectoria del móvil. Si la trayectoria preliminar así obtenida se considera incompatible con las capacidades del simulador de movimientos 2 y del blanco 4, el término correctivo $D1$ que hay que aplicar es calculado a partir de la trayectoria preliminar, de las capacidades angulares del simulador de movimientos 2 y del blanco 4 (se suponen éstas conocidas por los constructores del simulador de movimientos y del blanco), y del posicionamiento angular relativo entre el simulador de movimientos y el blanco.

55

ES 2 396 622 T3

5 De modo más preciso, el término correctivo D1 es elegido de modo que garantice que la componente de orientación de la posición angular del blanco está incluida en la gama de desplazamiento angular ofrecida por el blanco y que la componente de desviación lateral de la posición angular del simulador de movimientos es compatible con el desplazamiento angular ofrecido por el simulador de movimientos. Una vez satisfechas estas dos exigencias, se podrá todavía afinar la elección de D1 a fin de utilizar lo mejor posible la gama de desplazamiento angular ofrecida por el simulador de movimientos.

10 Por ejemplo, si el simulador de movimientos 2 tiene una capacidad angular de +/- 100° con respecto al norte geográfico, el blanco tiene una capacidad angular de +/- 40° con respecto al norte geográfico, y la trayectoria preliminar del móvil indica un desarrollo de cara al sur, es decir según un ángulo de 180° con respecto al norte geográfico, podrá considerarse un término correctivo D1 igual a -180°. Los mandos cinemáticos obtenidos después de la aplicación del término correctivo D1 serán entonces compatibles con el desplazamiento angular del simulador de movimientos y del blanco.

15 Así, la unidad lógica 52 aplica a las componentes de desviación lateral IC11 y de orientación IC21 el término correctivo D1. De modo más preciso, el término correctivo D1 es añadido por la unidad lógica 52 a las componentes de desviación lateral IC11 y de orientación IC21 para generar respectivamente las componentes de desviación lateral IC12 y de orientación IC22 (etapa E60):

$$IC12 = IC11 + D1 \text{ y } IC22 = IC21 + D1$$

Las otras componentes permanecerán inalteradas.

20 Los mandos cinemáticos C12 y C22 así obtenidos son transmitidos entonces por la unidad lógica 52 al simulador de movimientos 2 y al blanco 4 (transición T=0 representada en la figura 1).

Los mandos cinemáticos C22 son aplicados al blanco 4 que, en respuesta, facilita su posición actual C24 (posición ejecutada o realmente ejecutada en el sentido de la invención) (etapa E70).

Asimismo, los mandos cinemáticos C12 son recibidos por la caja numérica 22 del simulador de movimientos 2 y aplicados por la mesa de 3 ejes 21 al móvil 3 (etapa E80).

25 En respuesta al movimiento aplicado por el simulador de movimientos 2, la central inercial 32 facilita datos inerciales de medición R (etapa E82), procedentes de los girómetros y de los acelerómetros de la central inercial 32.

30 Por otra parte, simultáneamente, los mandos cinemáticos C14 realmente ejecutados por el simulador de movimientos 2 sobre el móvil 3 son transmitidos al ordenador 5 (etapa E84), con miras a ser facilitados al modelo teórico M1. Estos mandos cinemáticos C14 han sido medidos por sensores angulares localizados en el simulador de movimientos.

El modelo teórico M1 evalúa, a partir de los mandos C14, los datos inerciales teóricos T1 (etapa E86).

35 Como se describió anteriormente, para generar los datos inerciales teóricos T1, el modelo teórico M1 comprende un modelo matemático que modela los fenómenos físicos que se ejercen sobre una central inercial perfecta localizada en un punto de coordenadas fijas correspondiente al laboratorio. Este modelo M1 es idéntico a los descritos en los documentos EP 1 909 067 y FR 08 50793 (no publicado actualmente).

40 Deberá observarse que los datos inerciales teóricos T1 supuestos como representativos de los datos inerciales medidos por la central inercial 32 del misil 3 embarcado en el simulador de movimientos 2, es decir de los datos inerciales medidos en un punto de coordenadas fijas del laboratorio. Los datos inerciales teóricos T1 y los datos inerciales de medición R facilitados por la central inercial son por tanto idénticos, salvo la desviación lateral debida a las características propias de la central inercial real (es decir, no nominal).

Los datos inerciales de medición R (facilitados por la central inercial 32), los datos inerciales teóricos T1 (facilitados por el modelo teórico M1) y los datos inerciales de simulación T2 (facilitados por el simulador M2) generados en la iteración i son utilizados después para evaluar los datos inerciales I (etapa E90) según:

$$I = R + T2 - T1$$

45 Para esto, se utilizan medios de operaciones aritméticas 54 y 33a, conocidos por el especialista en la materia, y localizados respectivamente en el ordenador 5 y en el calculador de a bordo 33, como está representado en la figura 1. Así, los medios de operaciones aritméticas 54 evalúan en un primer tiempo la diferencia T2-T1, y después los medios de operaciones aritméticas 33a añaden en un segundo tiempo el resultado de esta diferencia a los datos inerciales R.

50 En variante, los medios 54 y 33a pueden estar colocados en el ordenador 5 o en el calculador de a bordo 33 o en otro dispositivo (por ejemplo, la central inercial u otro ordenador). Por otra parte, pueden ser efectuadas otras operaciones que conduzcan al cálculo de I.

Los mandos de gobierno P son calculados después por el calculador de a bordo 33 en función de estos datos inerciales I y a partir de la trayectoria de consigna del móvil como se describió anteriormente (etapa E100).

5 Los mandos de gobierno P son facilitados entonces a la herramienta de simulación M2 en el transcurso de la iteración i+1, y a continuación en cada iteración se reanudan las etapas E10 a E100 de la primera parte, de modo que se elabore la trayectoria del móvil.

Se va a describir ahora más en detalle el tratamiento realizado por la unidad lógica 51. Como se mencionó anteriormente, en cada iteración, esta unidad examina la distancia d entre el móvil y el primer objetivo para determinar la posición del móvil con respecto al primer objetivo, y activa la transición T a 1, si el móvil ha rebasado el primer objetivo.

10 De modo más preciso, en cada iteración, la unidad 51 pone en práctica las etapas siguientes:

- si $d \leq d_{\min}$: $d_{\min} = d$ y $cpt = 0$,

si no $cpt=cpt+1$; y

- si $cpt > S1$, entonces se activa la transición T (es decir, $T=1$).

15 $S1$, cpt y d_{\min} designan respectivamente un umbral predeterminado (elegido de modo que pueda detectar sin ambigüedad el rebasamiento del primer objetivo), un contador y una distancia mínima inicializada en un valor superior a la distancia máxima que puede ser considerada entre el móvil y el primer objetivo.

20 Así, la transición T es activada cuando la distancia mínima d_{\min} es rebasada después de varias iteraciones (al menos $S1$), dicho de otro modo cuando el móvil se desplaza más allá del primer objetivo. La activación de la transición T por la unidad 51 constituye así una detección de un acontecimiento representativo de un rebasamiento del primer objetivo por el móvil en el sentido de la invención.

Naturalmente, si el interés es la trayectoria del móvil en caso de cambio de objetivo en el transcurso de una misión, la unidad lógica 51 podrá ser adaptada de modo que active la transición T en la detección de la designación de un nuevo objetivo (sea realizado este cambio de objetivo antes o después del rebasamiento del primer objetivo).

25 La activación de la transición T por la unidad lógica 51 marca el inicio de la segunda parte de la simulación híbrida. Refiriéndose a las figuras 3A y 3B se van a describir ahora las principales etapas puestas en práctica en el transcurso de esta segunda parte, es decir cuando el móvil intenta alcanzar el segundo objetivo, dicho aquí de otro modo, cuando intenta reatacar al objetivo O1.

30 Las iteraciones de la segunda parte se desarrollan en lo esencial de modo similar a la primera parte (etapas E10-E40 y E82-E100). Sin embargo, los mandos cinemáticos C11 y C21 procedentes de la herramienta de simulación M2 son tratados ahora por una unidad lógica 53 (transición $T=1$ representada en la figura 1) antes de su facilitación respectivamente al simulador de movimientos 2 (con miras a ser aplicados al móvil 3) y al blanco 4. Se designarán por C13 y C23 respectivamente las componentes cinemáticas (en este caso posiciones angulares) facilitadas por la unidad lógica 53 al simulador de movimientos 2 y al blanco 4, y por IC13 y IC23 las componentes de desviación lateral y de orientación de las posiciones angulares comprendidas en C13 y C23,

35 De acuerdo con la invención, a continuación de la transición T por la unidad lógica 51, se ponen en práctica dos fases por el sistema de estimación 1 de acuerdo con la invención:

40 - una primera fase φ_1 denominada de posicionamiento (representada en la figura 3A), en el transcurso de la cual son facilitados los mandos cinemáticos denominados de transición al simulador de movimientos 2 y al blanco 4, en sustitución de los mandos cinemáticos C11 y C21, con miras a posicionar el móvil 3 en una dirección próxima a la del blanco 4 para el reataque al objeto; y

- una segunda fase φ_2 denominada de gobierno (representada en la figura 3B), en el transcurso de la cual la unidad lógica 53 aplica términos correctivos a los mandos cinemáticos C11 y C21 enviados por la herramienta de simulación al simulador de movimientos 2 y al blanco 4, con miras a estimar la trayectoria del móvil 3 durante su reataque al objetivo.

45 Así, con la activación de la transición T por la unidad lógica 51 (etapa F10), se activa la fase φ_1 de posicionamiento del móvil 3 y del blanco 4. En lo que sigue de la descripción, se indicará por i_0 la iteración en la cual se activa la transición T.

50 Los valores corrientes de los mandos cinemáticos C11 y C21, y los mandos cinemáticos ejecutados C14 y C24 tomados en el momento de la activación de la transición T, son memorizados entonces por la unidad lógica 53 (etapa F20). Se designarán estos mandos por C11(i_0), C21(i_0), C14(i_0) y C24(i_0) y por IC11(i_0), IC21(i_0), IC14(i_0) y IC24(i_0), las componentes de desviación lateral y de orientación de las posiciones angulares asociadas a estos mandos.

- 5 Como se definió anteriormente, la fase de posicionamiento φ_1 tiene por objetivo situar el móvil 3 y el blanco 4 en posiciones de consigna predeterminadas P1 y P2, de modo que se pueda observar la fase final de ataque al objetivo O1 por el móvil, especialmente durante la nueva puesta en marcha funcional del dispositivo de guía terminal 31. Las posiciones de consigna P1 y P2 son elegidas aquí de modo que se obtenga una dirección del móvil 3 y una dirección del blanco 4 después del posicionamiento angular próximo, por ejemplo inferior a 30°. Sin embargo, este ejemplo se da únicamente a título ilustrativo y, preferentemente, se elegirán las posiciones de consigna P1 y P2 de modo que se garantice una latencia entre el momento en que se consiguen las posiciones de consigna y el rearranque de los sensores del móvil, y especialmente de su dispositivo de guía terminal.
- 10 Además, por razones de implementación, las posiciones de consigna P1 y P2 dependen en este caso de la posición del móvil 3 con respecto al objetivo O1, y de modo más preciso, del cambio de dirección eventualmente realizado por el móvil 3 para situarse en la dirección del blanco 4.
- 15 En el ejemplo considerado aquí, el segundo objetivo corresponde al primer objetivo. Después del rebasamiento del primer objetivo por el móvil, éste debe por tanto cambiar de dirección para poder reatacar al primer objetivo. Así, la unidad lógica 53 determina, en un primer tiempo, el sentido de rotación adoptado por el móvil para volverse a colocar en la dirección del objetivo O1 (etapa F30).
- 20 Para hacer esto, ésta compara, con respecto a un umbral S2 predeterminado y si es necesario en una pluralidad de iteraciones, el valor absoluto de la diferencia entre la componente de desviación lateral corriente IC11 de la iteración en curso y la componente de desviación lateral IC11(i0) (indicada por $|IC11-IC11(i0)|$). Esta prueba es realizada en tanto que este valor absoluto no sea superior al umbral S2:
- Si $|IC11-IC11(i0)|$ es superior a S2 y (IC11-IC11(i0)) es positivo, entonces la unidad lógica 53 determina que el móvil 3 efectúe un cambio de dirección en el sentido horario.
 - Si $|IC11-IC11(i0)|$ es superior a S2 y (IC11-IC11(i0)) es negativo, entonces la unidad lógica 53 determina que el móvil 3 efectúe un cambio de dirección en el sentido antihorario.
- 25 El umbral S2 será elegido de modo que permita determinar sin ambigüedad el sentido de rotación del móvil (del orden de algunos grados).
- 30 Durante esta etapa de determinación del sentido de rotación adoptado por el móvil, la unidad lógica 53 facilita al simulador de movimientos y al blanco mandos cinemáticos de transición C13 y C23 constantes, tomados aquí iguales respectivamente a C14(i0) y C24(i0). Dicho de otro modo, durante esta etapa de determinación, la unidad lógica 53 bloquea especialmente las componentes de desviación lateral del simulador de movimientos y de orientación del blanco desde el instante de transición de T=0 a T=1, y en tanto en que el sentido de rotación del móvil no haya sido determinado. Deberá observarse que debido al modo de cálculo utilizado para evaluar las informaciones inerciales I, el bloqueo no tiene impacto sobre la validez de los mandos de gobierno ni sobre la trayectoria. En efecto, dependiendo los datos inerciales de medición R y los datos inerciales teóricos T1 ambos de la cinemática realmente ejecutada por el simulador de movimientos, un bloqueo del eje de desviación lateral del simulador de movimientos tiene repercusiones idénticas sobre R y sobre T1, y por tanto se compensa en el cálculo de las informaciones inerciales I.
- 35 Además, en el ejemplo aquí considerado, el conjunto de las componentes de los mandos cinemáticos son bloqueadas y tomadas iguales a las componentes correspondientes de C14(i0) y C24(i0). En variante, solo las componentes de desviación lateral y de orientación son bloqueadas respectivamente en los valores de IC14(i0) y IC21(i0), mientras que las otras componentes son tomadas iguales a las componentes correspondientes de los mandos corrientes C11 y C21 o a valores arbitrarios.
- 40 En la hipótesis de que los mandos cinemáticos comprendieran igualmente una velocidad y una aceleración angulares, el hecho de que las posiciones angulares sean constantes implica naturalmente que las componentes de las velocidad y aceleración angulares sean nulas.
- 45 Después de la determinación del sentido de rotación del móvil 3, la unidad lógica 53 sitúa al simulador de movimientos y al blanco en las posiciones de consigna predeterminadas P1 y P2 elegidas en función del sentido de rotación del móvil, con la ayuda de mandos de transición C13 y C23.
- 50 De esta manera, si el sentido de rotación es el sentido horario, el eje de desviación lateral del simulador de movimientos 2 estará situado a la izquierda de la consigna P1 (elegida negativa), y el eje de orientación del blanco 4 a la derecha de la consigna P2 (elegida positiva), de modo que pueda ser efectuado el final del movimiento real del móvil con el conjunto caja de 3 ejes – blanco.
- Inversamente, si el sentido de rotación es el sentido antihorario, el eje de desviación lateral del simulador de movimientos 2 estará posicionado a la derecha de la consigna P1 (elegida positiva), y el eje de orientación del blanco 4 a la izquierda de la consigna P2 (elegida negativa).

En estos ejemplos, se han elegido P1 y P2 de signos opuestos, que verifican un desvío angular predeterminado, de modo que se gestionen ventajosamente los límites en términos de desplazamiento angular del blanco y del simulador de movimientos. Sin embargo, P1 y P2 pueden ser de signos cualesquiera.

5 Deberá observarse, además, que las posiciones « cero » del blanco y del simulador de movimientos pueden no estar confundidas. Sin embargo, la toma en consideración de la diferencia angular existente entre las posiciones « cero » del blanco y del simulador de movimientos no presentaría dificultad para el especialista en la materia, que por ello sabría adaptar los cálculos y las operaciones presentadas aquí.

El posicionamiento del móvil y del blanco en las posiciones de consigna es realizado, a lo largo de las iteraciones, del modo siguiente:

10 - Para el móvil, designando IC14, durante la fase de posicionamiento, la posición realmente ejecutada por el móvil en respuesta a los mandos cinemáticos de transición corrientes para la iteración considerada:

□ si $IC14-P1 > 0$ (etapa F40): el eje de desviación lateral de la mesa es desplazado en cada iteración en el sentido antihorario (etapa F42), dicho de otro modo, la componente de desviación lateral del mando cinemático de transición C13 facilitada por la unidad lógica 53 al simulador de movimientos es tomada igual a:

15
$$IC13 = IC14 - \varepsilon_1$$

designando ε_1 un número entero positivo de pequeño valor;

□ si $IC14-P1 > 0$ (etapa F40): el eje de desviación lateral de la mesa es desplazado en cada iteración en el sentido horario (etapa F44), dicho de otro modo, la componente de desviación lateral del mando cinemático de transición C13 facilitada por la unidad lógica 53 al simulador de movimientos es tomada igual a:

20
$$IC13 = IC14 + \varepsilon_1$$

Las otras componentes de posiciones angulares del mando cinemático de transición C13 son tomadas aquí iguales a las componentes correspondientes del mando cinemático corriente C11 procedente de la herramienta de simulación.

25 El posicionamiento es efectivo cuando se detecte que IC14 está en la consigna P1, con un umbral S3 tomado preferentemente próximo a 0 (etapa F46). Así, en cuanto se detecte que la posición ejecutada por el móvil es sensiblemente igual a la posición de consigna P1 (es decir igual a P1 salvo el umbral S3), se activa ($f1=1$) (etapa 48) un marcador f1 (primer marcador en el sentido de la invención). Se designará por i1 la iteración en la cual se alcanza la posición P1 y el marcador f1 está activado. Se memorizan entonces los valores IC13(i1) y IC14(i1).

30 - Para el blanco, designando IC24, durante la fase de posicionamiento, la posición ejecutada por el blanco en respuesta a los mandos cinemáticos de transición corrientes para la iteración considerada:

□ si $IC14-P2 > 0$ (etapa F50): el eje de orientación del blanco es desplazado en cada iteración en el sentido antihorario (etapa F52), dicho de otro modo, la componente de orientación del mando cinemático de transición C23 facilitado por la unidad lógica 53 al blanco es tomada igual a:

$$IC23 = IC24 - \varepsilon_2$$

35 designando ε_2 un número real positivo de pequeño valor;

□ si $IC24-P2 < 0$ (etapa F50): el eje de orientación del blanco es desplazado en cada iteración en el sentido horario (etapa F54), dicho de otro modo, la componente de orientación del mando cinemático de transición C23 facilitada por la unidad lógica 53 al blanco es tomada igual a:

$$IC23 = IC24 + \varepsilon_2$$

40 Las otras componentes de posiciones angulares del mando cinemático de transición C23 son tomadas aquí iguales a las componentes correspondientes del mando cinemático corriente C21 procedente de la herramienta de simulación.

45 El posicionamiento es efectivo cuando se detecte que IC24 está en la consigna P2, con un umbral S4 tomado preferentemente próximo a 0 (etapa F56). Así, en cuanto se detecte que la posición ejecutada por el blanco es sensiblemente igual a la posición de consigna P2 (es decir igual a P2 salvo el umbral S4), se activa ($f2=1$) (etapa 58) un marcador f2 (segundo marcador en el sentido de la invención). Se designará por i2 la iteración en la cual se alcanza la posición P2 y el marcador f2 es activado. Se memorizan entonces los valores IC23(i2) y IC24(i2).

50 Deberá observarse que los marcadores f1 y f2 no son necesariamente activados en la misma iteración (es decir, i1 e i2 pueden ser distintos). Además, los posicionamientos del móvil y del blanco pueden ser realizados simultáneamente o en variante sucesivamente.

5 En cuanto la unidad lógica 53 detecte que los dos marcadores f1 y f2 están activados, se evalúa el valor absoluto de la diferencia entre la componente de desviación lateral IC11 corriente y la componente de orientación corriente IC21 y se compara con un umbral determinado a partir del valor absoluto de la diferencia entre las posiciones IC14(i1) y IC24(i2) (etapa F60). Este valor absoluto de la diferencia entre la componente de desviación lateral IC11 corriente y la componente de orientación corriente IC21 constituye una diferencia entre el mando cinemático corriente facilitado al simulador de movimientos y el mando cinemático facilitado al blanco por la herramienta de simulación en el sentido de la invención.

10 Se asegura, así, durante esta comparación, que la diferencia entre las posiciones angulares del simulador de movimientos y del blanco en el plano horizontal, que es definida aquí por el valor absoluto de la diferencia entre la componente de desviación lateral corriente IC11 y la componente de orientación corriente IC21, es inferior a un umbral determinado. Si este es el caso, se pone en marcha entonces una fase denominada de gobierno, descrita posteriormente.

Así, de modo más preciso, de acuerdo con las hipótesis descritas anteriormente para P1 y P2:

15 - Si el sentido de rotación del móvil determinado en la etapa F30 es horario: en tanto que se verifique (etapa F60) la condición (1) dada por $(IC21-IC11) > (IC24(i2)-IC14(i1))$, la unidad lógica 53 envía al simulador de movimientos y al blanco mandos IC13 y IC23 constantes, iguales a los últimos valores facilitados respectivamente al simulador de movimientos y al blanco que han permitido alcanzar las posiciones de consigna P1 y P2 (etapa F70). Dicho de otro modo, la unidad lógica 53 envía al simulador de movimientos y al blanco mandos congelados iguales respectivamente a los valores IC13(i1) y IC23(i2).

20 - Si el sentido de rotación del móvil determinado en la etapa F30 es antihorario: en tanto que se verifique (etapa F60) la condición (2) dada por $(IC11-IC21) > (IC14(i1)-IC24(i2))$, la unidad lógica 53 envía al simulador de movimientos y al blanco mandos IC13 y IC23 constantes, iguales a los últimos valores facilitados respectivamente al simulador de movimientos y al blanco que han permitido alcanzar las posiciones de consigna P1 y P2 (etapa F70). Dicho de otro modo, la unidad lógica 53 envía al simulador de movimientos y al blanco mandos congelados iguales respectivamente a los valores IC13(i1) y IC23(i2).

En una variante de realización, el valor absoluto de la diferencia entre las componentes de desviación lateral IC11 y de orientación IC21 corrientes se compara con el valor absoluto de la diferencia entre las posiciones P1 y P2 (umbral determinado en el sentido de la invención), de acuerdo con una aproximación similar a la descrita precedentemente para las posiciones IC14(i1) y IC24(i2).

30 Cuando la unidad lógica 53 detecte que no se verifica la condición (1) o la condición (2), según el sentido de rotación del móvil, se activa un marcador f3 y se pone en marcha una fase denominada de gobierno φ_2 (etapa F80). Se designará por i3 la iteración en la cual se pone en marcha la fase de gobierno.

35 Deberá observarse que los marcadores f1 y f2 deben ser activados preferentemente antes de que se verifique la condición (1) o (2) según el sentido de rotación del móvil, dicho de otro modo es preferible que haya un plazo de tiempo suficiente (incluso aunque fuera suficiente un plazo de tiempo próximo a cero) entre el instante en que los marcadores f1 y f2 son activados y el instante en que el marcador f3 es activado. A tal fin, se podrán elegir posiciones de consigna P1 y P2 que permiten cumplir esta condición, o en variante valores de ϵ_1 y/o de ϵ_2 apropiados (deberá observarse que cuanto mayores sean estos valores mayor será la velocidad de reunión de las consignas P1 y P2).

40 En el transcurso de la fase de gobierno φ_2 , la unidad lógica 53 aplica a los mandos cinemáticos C11 y C21 facilitados al móvil y al blanco, términos correctivos D2 y D3 ligados a las posiciones de consigna P1 y P2. Esto permite simular, con la ayuda del sistema de estimación 1, cualquier tipo de desplazamiento del móvil y del blanco, haciendo los términos D2 y D3 estos desplazamientos compatibles con los desplazamientos angulares del simulador de movimientos y del blanco.

45 Para evaluar estos términos correctivos, la unidad lógica 53 memoriza las componentes de desviación lateral IC11(i3) y de orientación IC21(i3) corrientes en la iteración i3 (etapa F90).

Ésta evalúa después los términos correctivos D2 y D3 según las ecuaciones siguientes:

$$D2 = IC14(i1)-IC11(i3) \text{ y } D3 = IC24(i2)-IC21(i3).$$

En variante, los términos correctivos D2 y D3 pueden ser evaluados según las ecuaciones siguientes:

50
$$D2 = P1-IC11(i3) \text{ y } D3 = P2-IC21(i3).$$

Así, en cada iteración de la fase de gobierno, hasta el final de la segunda parte, la unidad lógica 53 aplica a las componentes de desviación lateral IC11 y de orientación IC21, los desfases angulares D2 y D3 respectivamente, según las ecuaciones siguientes (etapa F100):

ES 2 396 622 T3

$$IC13 = IC11+D2, y$$

$$IC23 = IC21+D3$$

5 Las otras componentes del mando cinemático C13, respectivamente del mando cinemático C23, son tomadas aquí iguales a las componentes correspondientes del mando cinemático corriente C11, respectivamente del mando cinemático corriente C21, procedentes de la herramienta de simulación.

Los mandos cinemáticos C13 y C23 así modificados por la unidad lógica 53 son facilitados a continuación respectivamente al simulador de movimientos y al blanco para aplicación. En respuesta a estos mandos cinemáticos, el blanco facilita su posición corriente.

10 Al final de la segunda parte de la simulación (etapa F110), como por ejemplo el alcance o el rebasamiento del segundo objetivo, es examinada la trayectoria del móvil obtenida por el sistema de estimación 1.

Especialmente, se determina si el segundo objetivo es alcanzado, por ejemplo con la ayuda de la unidad lógica 51 y de la distancia d (etapa F120).

15 Si este es el caso, entonces se determina si el móvil 3 está adaptado para reatacar su objetivo una vez rebasado (etapa F130). Si no, el móvil es invalidado porque es considerado como incapaz de reatacar a un objetivo después de no haberle podido alcanzar (etapa F140).

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de estimación de una trayectoria de un móvil (3) en un entorno real de navegación que comprende, la facilitación (E20), por una herramienta de simulación numérica (M2) que modela el móvil en este entorno, mandos cinemáticos (C11, C12) a un simulador de movimientos (2) que embarca el móvil y a un blanco (4) representativo de un objetivo que hay que alcanzar por el móvil, siendo alimentada (E10) la citada herramienta de simulación por mandos de gobierno (P) facilitados por un calculador (33) del citado móvil y facilitando, en respuesta a estos mandos de gobierno, puntos (X) de la trayectoria, comprendiendo el citado procedimiento de estimación, además:
- en la detección (F10) de un acontecimiento representativo de un rebasamiento o de un cambio de un primer objetivo designado para este móvil, una fase de posicionamiento (ϕ_1) asociada a un segundo objetivo designado para este móvil, que comprende:
 - la comparación (F46) de posiciones ejecutadas por el simulador de movimientos, en respuesta a primeros mandos cinemáticos de transición, con una primera posición de consigna predeterminada, y la activación de un primer marcador (f1) cuando se detecte una posición sensiblemente igual a la primera posición de consigna;
 - la comparación (F56) de posiciones ejecutadas por el blanco, en respuesta a segundos mandos cinemáticos de transición, con una segunda posición de consigna predeterminada, y la activación de un segundo marcador (f2) cuando se detecte una posición sensiblemente igual a la segunda posición de consigna;
 - cuando los primero y segundo marcadores son activados, una etapa de evaluación de una diferencia entre el mando cinemático corriente facilitado al simulador de movimientos y el mando cinemático corriente facilitado al blanco por la herramienta de simulación numérica; y
 - si esta diferencia es inferior a un umbral determinado (F60), una fase de gobierno (ϕ_2) que comprende la aplicación (F100) de términos correctivos a los mandos cinemáticos procedentes de la herramienta de simulación antes de su facilitación al simulador de movimientos y al blanco, estando ligados estos términos correctivos a las posiciones de consigna.
2. Procedimiento de estimación de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual:
- los citados mandos cinemáticos facilitados por la herramienta de simulación al simulador de movimientos comprenden una componente de desviación lateral y los citados mandos cinemáticos facilitados por la herramienta de simulación al blanco comprenden una componente de orientación, y
 - en tanto que no haya sido detectado (F10) un acontecimiento representativo de un rebasamiento o de un cambio de un primer objetivo designado para este móvil, se aplican (E60) a las componentes de desviación lateral y a las componentes de orientación de los mandos cinemáticos, un término de compensación angular antes de su facilitación respectivamente al simulador de movimientos y al blanco.
3. Procedimiento de estimación de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el cual, cuando se requiere un cambio de dirección del móvil con miras a alcanzar al segundo objetivo con respecto a una dirección emprendida por el móvil para alcanzar al primer objetivo, la fase de posicionamiento comprende además una etapa (F30) de determinación del sentido de rotación adoptado por el citado móvil para cambiar de dirección, siendo elegidas las primera y segunda posiciones de consigna en función de este sentido de rotación.
4. Procedimiento de estimación de acuerdo con la reivindicación 3, en el cual durante la etapa de determinación, los mandos cinemáticos de transición facilitados al simulador de movimientos y al blanco son constantes.
5. Procedimiento de estimación de acuerdo con la reivindicación 4, en el cual: los mandos cinemáticos de transición constantes comprenden las posiciones ejecutadas por el simulador de movimientos y por el blanco en el momento de la detección del acontecimiento.
6. Procedimiento de estimación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el cual el umbral depende de las posiciones ejecutadas respectivamente por el simulador de movimientos y por el blanco durante la activación respectivamente del primer y del segundo marcador, y del sentido de rotación adoptado por el móvil para cambiar de dirección.
7. Procedimiento de estimación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual la fase de gobierno comprende además una etapa de evaluación (F90) de los términos correctivos, a partir:
- de las posiciones ejecutadas por el simulador de movimientos y por el blanco respectivamente en el momento de la activación del primero y del segundo marcadores; y
 - de los mandos cinemáticos facilitados por la herramienta de simulación en el momento en que se detecte que la diferencia sea inferior al umbral determinado.

8. Procedimiento de estimación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el cual, los mandos de gobierno son evaluados (E100) por el calculador del móvil a partir:
- de datos inerciales de medición (R) facilitados por una central inercial (31) del móvil embarcado en el simulador de movimientos;
- 5 - de datos inerciales de simulación (T2) representativos de datos inerciales supuestos como facilitados por la central inercial en el entorno real de navegación; y
- de datos inerciales teóricos (T1) representativos de los datos inerciales de medición facilitados por la central inercial, siendo evaluados estos datos inerciales teóricos a partir de mandos cinemáticos ejecutados por el simulador de movimientos.
- 10 9. Procedimiento de estimación de acuerdo con la reivindicación 8, en el cual los mandos de gobierno son calculados en función de datos inerciales I definidos por $I=T2+R-T1$ donde T2, R y T1 designan respectivamente los datos inerciales de simulación, los datos inerciales de medición y los datos inerciales teóricos.
10. Procedimiento de estimación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el cual el segundo objetivo corresponde al primer objetivo.
- 15 11. Procedimiento de estimación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 que comprende además una etapa de verificación (F120) que el segundo objetivo es alcanzado por el móvil.
12. Sistema de simulación híbrida (1) que permite la estimación de una trayectoria de un móvil (3) en un entorno real de navegación, comprendiendo el citado sistema:
- un simulador de movimientos (2) que embarca al móvil;
- 20 - un blanco (4) representativo de un objetivo que hay que alcanzar por el móvil; y
- una herramienta de simulación numérica (M2) que modela el móvil en el entorno real de navegación, y adaptada para facilitar mandos cinemáticos al simulador de movimientos y al blanco, siendo alimentada la citada herramienta de simulación por mandos de gobierno (P) facilitados por un calculador del móvil (33) y que, en respuesta a estos mandos de gobierno, facilita puntos (X) de la trayectoria;
- 25 comprendiendo el citado sistema, además:
- medios (51) para detectar un acontecimiento representativo de un rebasamiento o de un cambio de un primer objetivo designado para este móvil;
 - medios (53), activados en la detección de dicho acontecimiento y durante una fase de posicionamiento asociada a un segundo objetivo designado para el móvil:
- 30 - para comparar posiciones ejecutadas por el simulador de movimientos en respuesta a primeros mandos cinemáticos de transición con una primera posición de consigna predeterminada, y activar un primer marcador cuando se detecte una posición sensiblemente igual a la primera posición de consigna; y
- para comparar posiciones ejecutadas por el blanco en respuesta a segundos mandos cinemáticos de transición con una segunda posición de consigna predeterminada, y activar un segundo marcador cuando se detecte una
- 35 posición sensiblemente igual a la segunda posición de consigna;
- medios (53) para detectar cuando los primero y segundo marcadores están activados y para, llegado el caso, evaluar una diferencia entre el mando cinemático corriente facilitado al simulador de movimientos y el mando cinemático corriente facilitado al blanco por la herramienta de simulación;
 - medios (53) para comparar esta diferencia con un umbral determinado; y
- 40 - medios (53), activados cuando la diferencia es inferior al citado umbral, para aplicar, en el transcurso de una fase de gobierno, términos correctivos a los mandos cinemáticos procedentes de la herramienta de simulación antes de su facilitación al simulador de movimientos y al blanco, estando ligados estos términos correctivos a las posiciones de consigna.

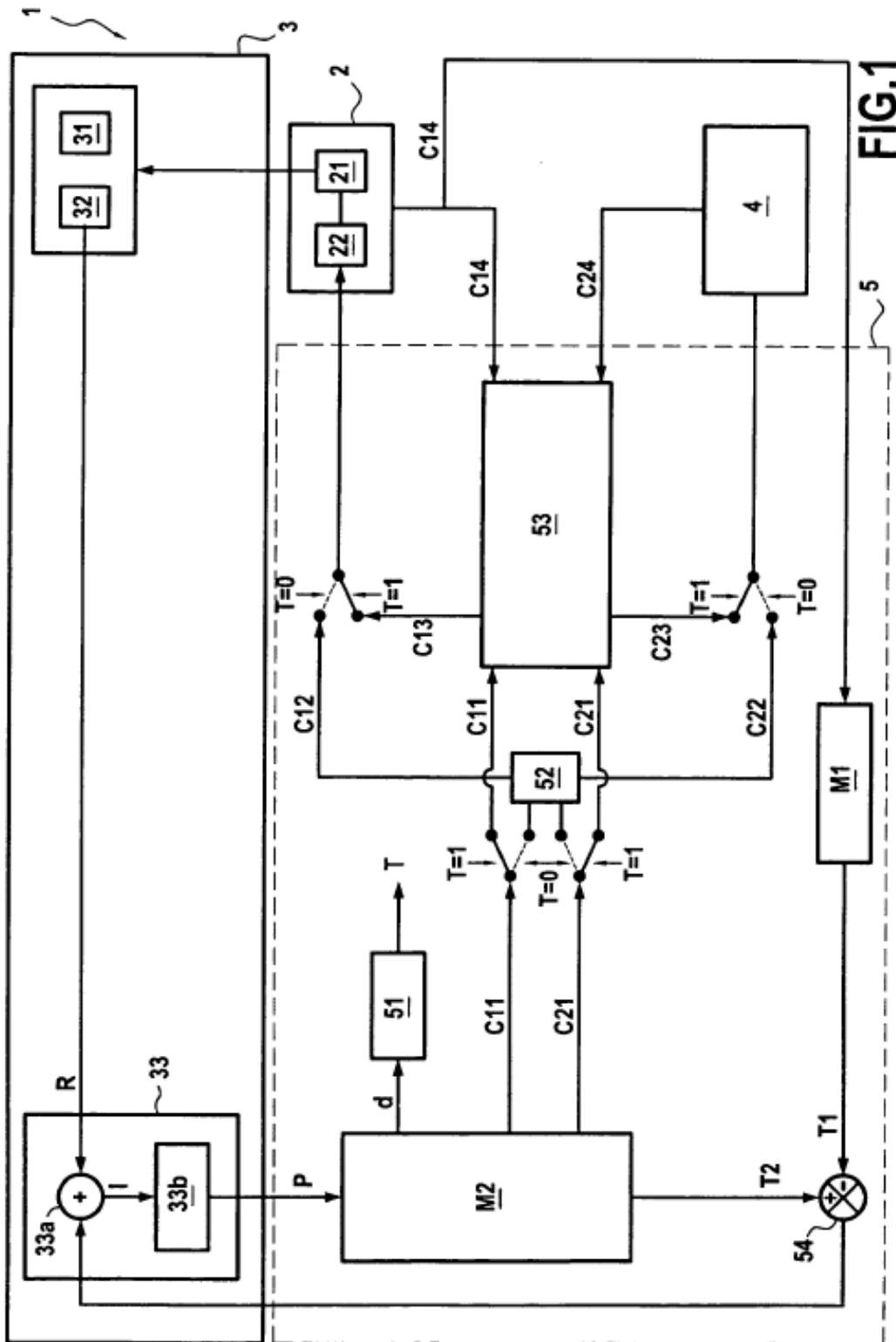


FIG. 1

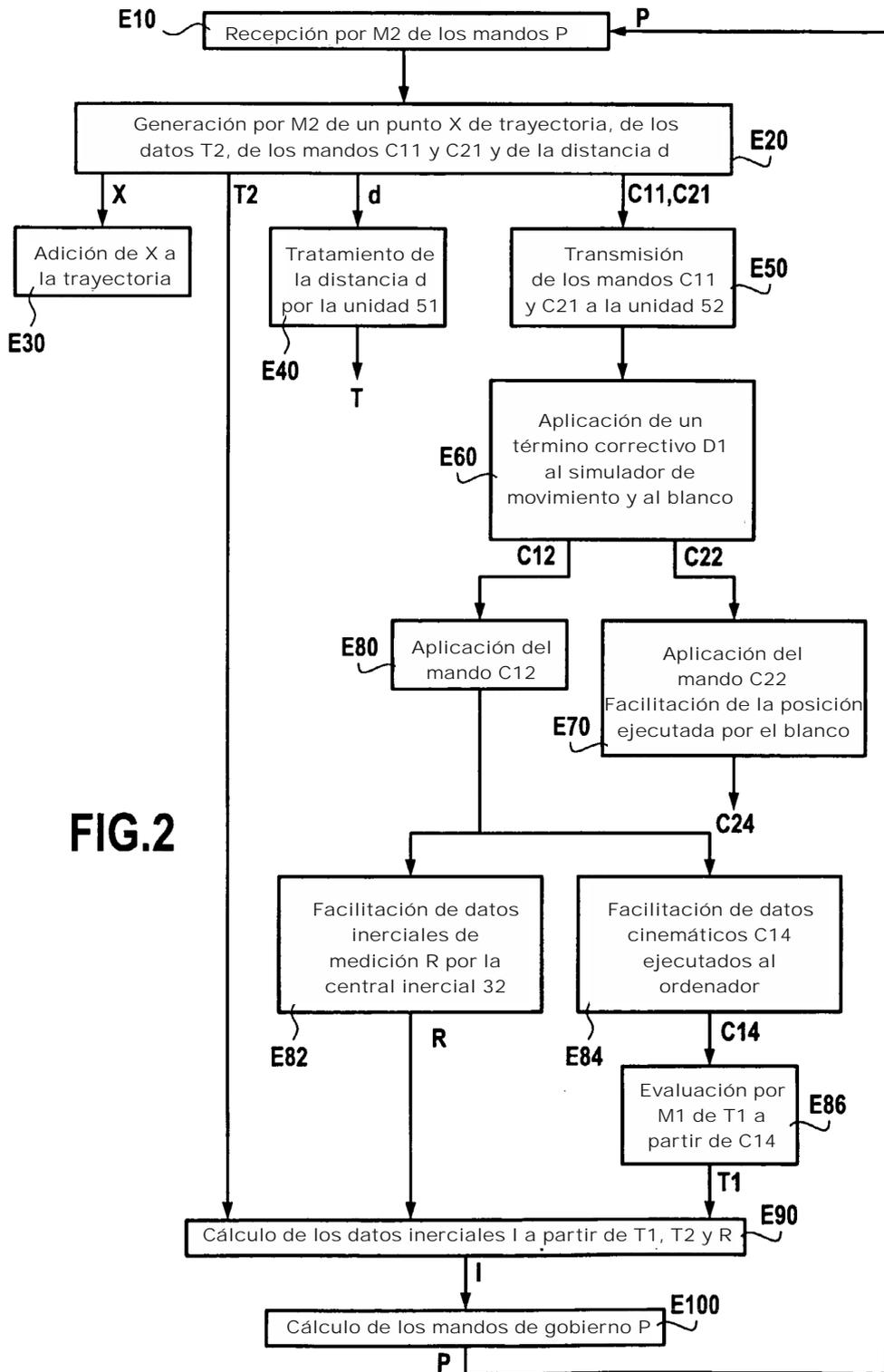


FIG. 2

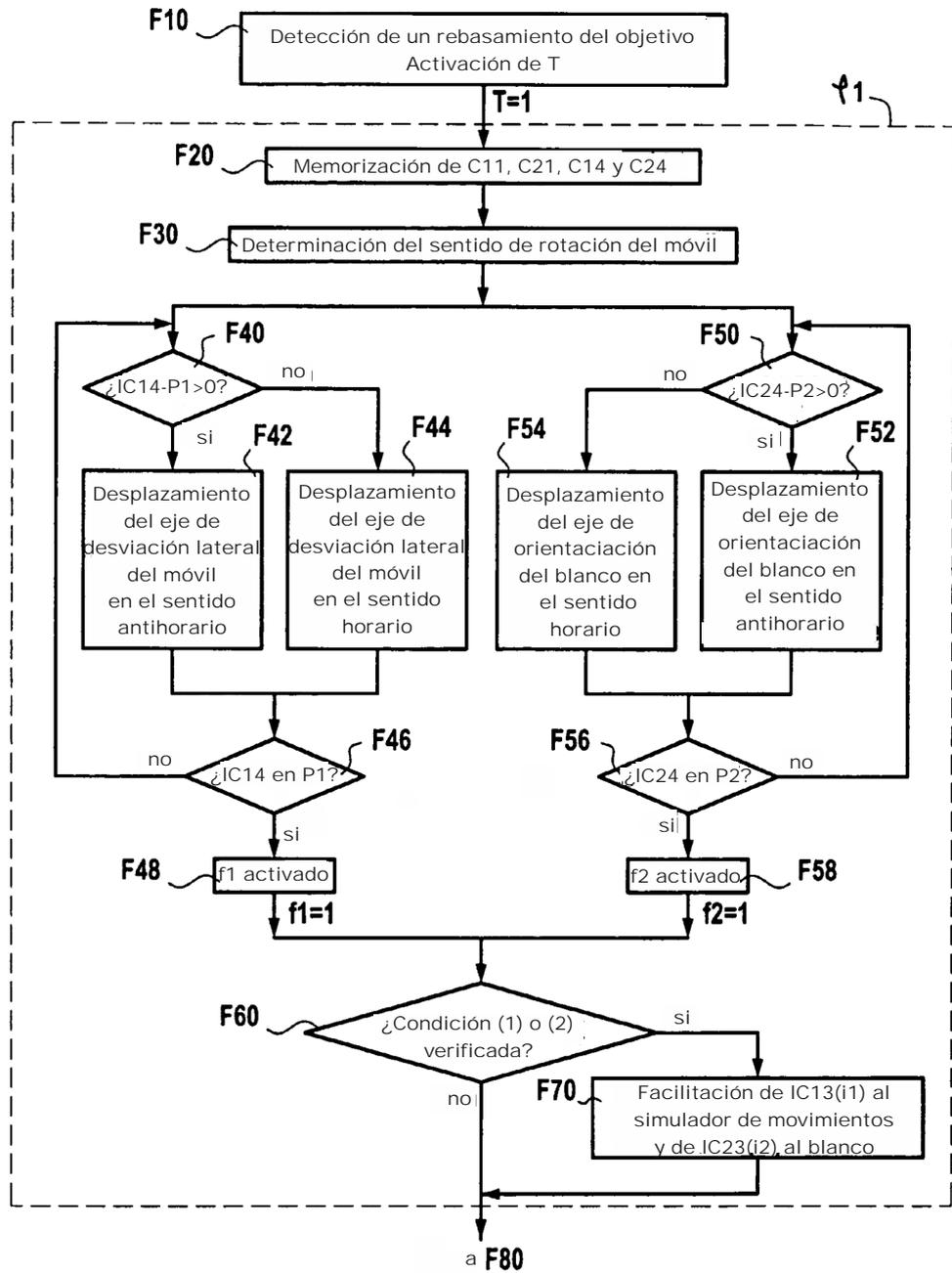


FIG.3A

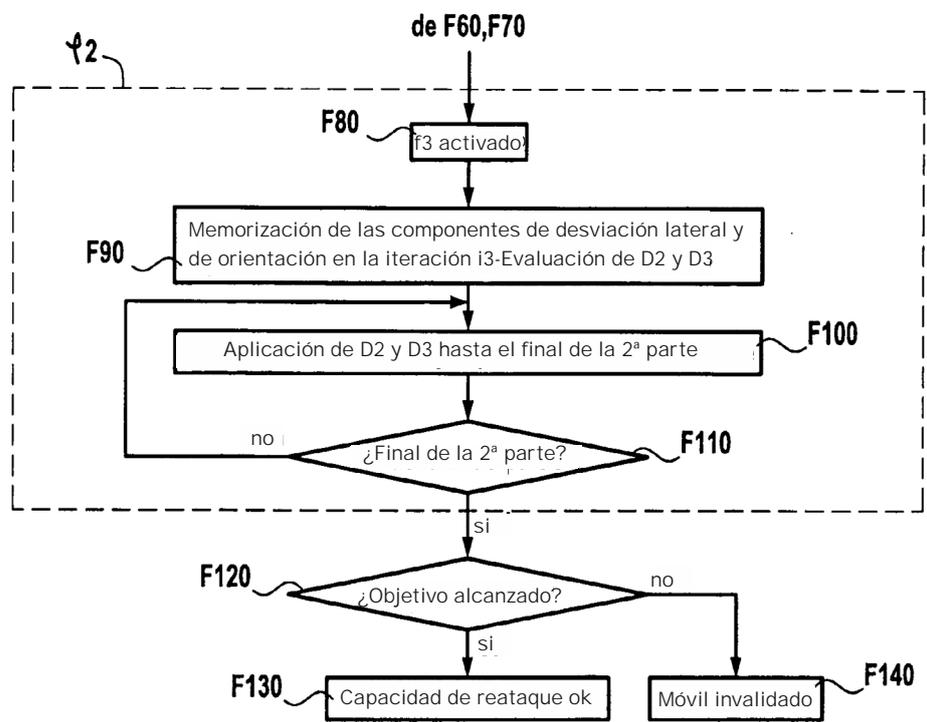


FIG.3B