

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 370 268**

51 Int. Cl.:
G01C 21/16 (2006.01)
G01C 19/00 (2006.01)
F41G 7/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07117650 .7**
96 Fecha de presentación: **01.10.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **1909067**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.04.2008**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE CONTROL FUNCIONAL DE UNA CENTRAL INERCIAL DE UN MÓVIL.**

30 Prioridad:
05.10.2006 FR 0654113

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
14.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
14.12.2011

73 Titular/es:
MBDA FRANCE
37, BOULEVARD DE MONTMORENCY
75016 PARIS, FR

72 Inventor/es:
Bourzier, Laurent

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 370 268 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de control funcional de una central inercial de un móvil

Ámbito de la invención

5 La presente invención se refiere al ámbito del control funcional de una central inercial de un móvil embarcada en un simulador de movimiento.

Técnica anterior

De manera general, un vehículo, como un avión, un cohete u otro tipo de móvil, está equipado con un sistema de navegación y de gobierno que comprende un calculador de a bordo, una central inercial y medios de gobierno para facilitar una posición espacial, un gobierno y un guiado del móvil.

10 De modo más particular, los medios de gobierno (por ejemplo timones aerodinámicos) dirigirán al móvil hacia un destino designado o según una trayectoria determinada gracias a los mandos recibidos del calculador de a bordo que a su vez recibe informaciones de naturaleza inercial de la central inercial. En efecto, a partir de estas informaciones inerciales, el calculador de a bordo realizará una estimación de la posición espacial del móvil, y en función de ésta, dará órdenes o mandos a los medios de gobierno para que el móvil siga su ruta hacia su destino.

15 Sin embargo, si la central inercial presenta un defecto, el calculador realizará sus estimaciones de la posición espacial del móvil a partir de las informaciones inerciales inexactas. El calculador de a bordo cometerá, por tanto, errores, en cada paso de cálculo, y enviará mandos erróneos a los medios de gobierno. Por consiguiente, la trayectoria verdadera del móvil será muy diferente de la trayectoria estimada por el calculador de a bordo. Así pues, si la central inercial presenta un defecto grave, las órdenes enviadas por el calculador embarcado serán tan inapropiadas que el
20 móvil correrá el riesgo de ser desestabilizado.

Así, con el fin de controlar la funcionalidad de las centrales inerciales, se recurre frecuentemente a simuladores de movimiento. De modo más particular, se utilizan simulaciones híbridas que ponen en práctica subconjuntos reales (por ejemplo, central inercial, simulador de movimiento, calculador embarcado del móvil, ciertos elementos del móvil, etc.) y modelos matemáticos para otros subconjuntos (por ejemplo, otros elementos del móvil, atmósfera, etc).

25 Actualmente, en las simulaciones híbridas poniendo en práctica centrales inerciales, pueden encontrarse dos casos relativos a las informaciones que provienen de los acelerómetros de la central inercial.

De acuerdo con el primer caso, las informaciones que provienen de los acelerómetros no son utilizadas y son reemplazadas por informaciones que provienen de un modelo matemático. Esto está ligado al hecho de que el simulador de movimiento no permite reproducir los movimientos de traslación. Así pues, las informaciones que provienen de los acelerómetros de la central inercial son incompletas y no comprenden ninguna información relativa al desplazamiento lineal del móvil. En consecuencia, el calculador embarcado del móvil no puede tener en cuenta informaciones que provienen de los acelerómetros de la central inercial para determinar la localización, el gobierno y el guiado del móvil. Por consiguiente, las anomalías potencialmente presentes en estas informaciones no son detectadas por la simulación híbrida. Dicho de otro modo, la contribución de los acelerómetros de la central inercial real está ausente,
30 lo que no permite detectar el menor defecto potencial en los acelerómetros.

De acuerdo con el segundo caso, las informaciones que provienen de los acelerómetros son completadas por informaciones representativas de los movimientos de traslación, calculadas por un modelo matemático. Sin embargo, las informaciones que provienen de los acelerómetros de la central inercial son medidas en un punto fijo correspondiente a las coordenadas del laboratorio de simulación. Así pues, estas informaciones no son totalmente representativas de las informaciones que estos acelerómetros facilitarían, para un mismo origen físico, en el transcurso del desarrollo de la trayectoria del móvil alrededor del globo terrestre. Por ejemplo, la gravedad que se ejerce en el punto fijo del laboratorio es invariable, mientras que la sentida por los acelerómetros de la central inercial embarcada en el móvil desplazándose alrededor del globo terrestre es variable en función de la altura y de la latitud. Así pues, esta diferencia falsea la trayectografía del móvil, obtenida poniendo en práctica la central inercial en el punto fijo del laboratorio,
40 y hace difícil la interpretación de los resultados. Debido a esto, este método solamente permite detectar un defecto grosero de uno o unos acelerómetros de la central inercial.

Por otra parte, las informaciones procedentes de los girómetros de la central inercial no son totalmente representativas de lo que son éstas en el transcurso del desplazamiento real del móvil alrededor del globo terrestre.

En efecto, la descomposición de la rotación sobre los ejes de los girómetros es diferente según que la central inercial esté situada en un punto de coordenadas fijas (caso de la simulación híbrida en laboratorio) o que ésta esté embarcada en un móvil desplazándose alrededor del globo terrestre. La incidencia de esta representatividad incompleta es tal que ella complica el análisis de los resultados obtenidos en simulación híbrida.
50

Además, el simulador de movimiento debe presentar prestaciones de dinámica angular superiores o iguales a las necesidades a todo lo largo del desarrollo de la trayectoria del móvil, lo que puede necesitar un simulador de movimiento muy sofisticado y muy costoso.

5 El control funcional de una central inercial embarcada en un simulador y que facilita datos inerciales de medición representativa de un movimiento que comprende una modelización y una simulación está descrito, por ejemplo, en los documentos:

WILSON Y OTROS: "Unsteady RANS method for ship motion with application to roll for a surface combatant" COMPUTERS AND FLUIDS, PERGAMON PRESS, NEW YORK, NY, GB, vol. 35 no 5, junio de 2006, páginas 501-524; y

10 LI D Y OTROS: "Modeling, simulation, and control of a hydraulic Stewart platform" ROBOTICS AND AUTOMATION, 1997. PROCEEDINGS., 1997 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALBUQUERQUE, NM, USA 20-25 de ABRIL de 1997, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, vol 4, 20 de abril de 1997, páginas 3360-3366.

Objeto y resumen de la invención

15 La presente invención tiene por objeto un procedimiento de control funcional de una central inercial de un móvil embarcada en un simulador de movimiento y que facilita en tiempo real, datos inerciales de medición representativos de un movimiento aplicado por el citado simulador de movimiento, comprendiendo el citado procedimiento:

20 - una modelización teórica de la central inercial embarcada en el simulador de movimiento, siendo alimentada la citada modelización teórica en tiempo real por datos cinemáticos realmente ejecutados por el simulador de movimiento, y que facilita en tiempo real datos inerciales teóricos representativos de los citados datos inerciales de medición que se supone son medidos por la central inercial embarcada en el simulador de movimiento,

25 - una modelización de simulación que comprende una modelización de la central inercial en un entorno real de navegación, siendo alimentada la modelización de simulación en tiempo real por mandos de gobierno, y que facilita, en tiempo real datos inerciales de simulación representativos de los datos de salidas de la central inercial en el citado entorno real de navegación, teniendo en cuenta la citada modelización de simulación los citados mandos de gobierno para desarrollar una trayectoria del móvil poniendo en práctica la central inercial,

- cálculo de los citados mandos de gobierno en función de los datos inerciales de medición, de los datos inerciales de simulación y de los datos inerciales teóricos, y

- validación de la central inercial, comparando la trayectoria del móvil obtenida poniendo en práctica la central inercial, con una trayectoria de referencia predeterminada.

30 El procedimiento de acuerdo con la invención permite elaborar una trayectografía del móvil muy próxima a la realidad no afectada con el problema ligado a las mediciones efectuadas en un punto fijo y permitiendo así verificar si la central inercial tiene características de acuerdo con las necesidades, implicando entonces una ganancia en la calidad y el coste.

35 Ventajosamente, los datos inerciales de medición comprenden informaciones acelerométricas procedentes de los acelerómetros de la citada central inercial, y los datos inerciales teóricos comprenden informaciones acelerométricas teóricas.

Así, se pueden detectar los eventuales defectos que provienen de los acelerómetros de la central inercial.

40 Ventajosamente todavía, los datos inerciales de medición comprenden, además, informaciones girométricas procedentes de los girómetros de la citada central inercial, los datos inerciales teóricos comprenden informaciones girométricas teóricas, y los datos inerciales de simulación comprenden informaciones girométricas de simulación e informaciones acelerométricas de simulación.

45 Así, las informaciones acelerométricas y girométricas utilizadas para calcular los mandos de gobierno son representativas de las facilitadas por la central inercial embarcada en el móvil durante el desarrollo de su trayectoria alrededor del globo terrestre. Esto es debido al hecho de que estas informaciones acelerométricas y girométricas comprenden informaciones acelerométricas y girométricas que provienen de la central inercial y un complemento calculado en tiempo real por las modelizaciones teórica y de simulación.

De acuerdo con un modo particular de la presente invención, los citados mandos de gobierno son calculados en función de los datos inerciales I definidos por una suma entre los datos inerciales de medición R y los datos inerciales de simulación $T2$ disminuida en los datos inerciales teóricos $T1$ (es decir, $I = T2 - T1 + R$).

50 De esta manera, se puede utilizar un simulador de movimiento antes mencionado para transitorios de gran dinámica de la trayectoria. En efecto, en virtud del principio $I = T2 - T1 + R$, como R y $T1$ dependen del cumplimiento efectuado

por el simulador de movimiento, estos se mantienen coherentes, incluso si este último no ejecuta correctamente el mando. Esto permite desarrollar una trayectoria precisa del móvil con un menor coste.

La central inercial puede ser considerada como válida cuando un diferencial entre los datos inerciales I y los datos inerciales de simulación T2 está limitado por un valor de umbral predeterminado (es decir, $|I-T2| \leq \epsilon$).

5 Así, puede asegurarse de la validez de la central inercial de manera eficaz y con una precisión muy grande.

El procedimiento de acuerdo con la invención, comprende, además, una modelización de avance de fase alimentada en tiempo real por mandos cinemáticos de entradas desde la modelización de simulación, y que facilita mandos cinemáticos de salida al simulador de movimiento para compensar un retardo de ejecución inherente al citado simulador de movimiento.

10 De esta manera, se pueden compensar los retardos de ejecución, lo que permite a todas las magnitudes mantenerse en fase para garantizar la representatividad de la puesta en práctica de la central inercial y de los otros eventuales sensores embarcados simultáneamente en el simulador de movimientos.

Ventajosamente, los citados mandos cinemáticos de entradas presentan un perfil sincrónico con el de los datos cinemáticos, y las amplitudes de los citados datos cinemáticos y de los citados mandos cinemáticos de entradas C1 son coherentes.

15 Así, los datos cinemáticos están en concordancia con los movimientos realmente ejecutados por el simulador de movimiento que permite obtener una simulación de la central inercial real, en fase con la cinemática del móvil. Esto garantiza la representatividad de la puesta en práctica de la central inercial y asegura el sincronismo con respecto a la cinemática del móvil, de otros sensores que pueden estar embarcados simultáneamente en la central inercial, en el simulador de movimientos.

20 Ventajosamente, el procedimiento de acuerdo con la invención comprende, además, una modelización de enmascaramiento aguas abajo de la modelización de simulación y aguas arriba de la modelización de avance de fase de modo que la modelización de enmascaramiento sea alimentada en tiempo real por los mandos cinemáticos de entradas, y que facilita mandos cinemáticos enmascarados a la modelización de avance de fase para enmascarar al menos una parte de las fases del movimiento.

25 Así, se puede realizar una trayectoria para la cual la oscilación angular del móvil es superior a la autorizada por el simulador de movimiento.

De acuerdo con una particularidad, al menos una parte de los mandos cinemáticos enmascarados depende de una ley interna a la modelización de enmascaramiento y que es independiente de los mandos cinemáticos de entradas.

30 Esto permite desarrollar una trayectoria en la que el móvil puede realizar varios bucles o circuitos con un simulador de movimiento que presenta una oscilación angular limitada.

La invención se refiere igualmente a un sistema de control funcional de una central inercial de un móvil embarcada en un simulador de movimiento y que facilita en tiempo real, datos inerciales de medición representativos de un movimiento aplicado por el citado simulador de movimiento, comprendiendo el citado sistema:

35 - un modelo teórico que comprende una modelización de la central inercial embarcada en el simulador de movimiento, siendo alimentado el modelo teórico en tiempo real por datos cinemáticos realmente ejecutados por el simulador de movimiento, y que facilita en tiempo real datos inerciales teóricos representativos de los citados datos inerciales de medición que se supone son medidos por la central inercial embarcada en el simulador de movimiento,

40 - un modelo de simulación que comprende una modelización de la central inercial en un entorno real de navegación, siendo alimentado el modelo de simulación en tiempo real por datos de gobierno, y que facilita en tiempo real datos inerciales de simulación representativos de los datos de salidas de la central inercial en el citado entorno de navegación, teniendo en cuenta el citado modelo de simulación los citados mandos de gobierno para desarrollar una trayectoria móvil poniendo en práctica la central inercial,

45 - medios de cálculo para calcular los citados mandos de gobierno en función de los datos inerciales de medición, de los datos inerciales de simulación y de los datos inerciales teóricos, y

- medios de validación para asegurarse de la validez de la central inercial, comparando la trayectoria del móvil obtenida poniendo en práctica la central inercial, con una trayectoria de referencia predeterminada.

50 Los medios de cálculo están destinados a determinar los citados mandos de gobierno en función de los datos inerciales I definidos por una suma entre los datos inerciales de medición R y los datos inerciales de simulación T2 disminuida en los datos inerciales teóricos T1.

Los medios de validación están destinados a considerar la central inercial como válida cuando un diferencial entre los datos inerciales y los datos inerciales de simulación está limitado por un valor de umbral predeterminado.

El sistema comprende, además, un modelo de avance de fase alimentado en tiempo real por mandos cinemáticos de entradas desde el modelo de simulación, y que facilita mandos cinemáticos de salida al simulador de movimiento para compensar un retardo de ejecución inherente al citado simulador de movimiento.

5 El sistema comprende, además, un modelo de enmascaramiento interpuesto entre el citado modelo de simulación y el citado modelo de avance de fase de modo que el modelo de enmascaramiento es alimentado en tiempo real por los mandos cinemáticos de entradas, y que facilita mandos cinemáticos enmascarados al modelo de avance de fase para enmascarar al menos una parte de las fases del movimiento.

10 La invención se refiere también a un programa de ordenador que comprende instrucciones de códigos para la ejecución de las etapas del procedimiento de control según al menos una de las características anteriores, cuando éste es ejecutado en un ordenador.

Breve descripción de los dibujos

Otras particularidades y ventajas del dispositivo y del procedimiento de acuerdo con la invención se deducirán mejor con la lectura de la descripción hecha seguidamente, a título indicativo pero no limitativo, refiriéndose a los dibujos anejos, en los cuales:

- 15 - la figura 1 ilustra de manera esquemática un sistema de control funcional de una central inercial de un móvil, de acuerdo con la invención;
- la figura 2 ilustra de manera muy esquemática un ejemplo de un sistema de control funcional de acuerdo con la figura 1;
- las figuras 3 a 5 ilustran diferentes modos de realización de acuerdo con la invención; y
- 20 - la figura 6 ilustra de manera esquemática, un ejemplo de un desarrollo de una trayectoria de un móvil.

Descripción detallada de modos de realización

25 La figura 1 ilustra de manera esquemática un sistema de control funcional 1 de una central inercial de un móvil. Este sistema 1 comprende un simulador de movimiento 3 unido a un dispositivo informático u ordenador 5 utilizado para la ejecución de los códigos de instrucciones de un programa informático concebido para poner en práctica el procedimiento de acuerdo con la invención.

30 El simulador de movimiento 3 puede realizar desplazamientos angulares alrededor de un eje de balanceo A1, de un eje de cabeceo A2 y de un eje de guiñada A3. Así, recibiendo una central inercial 7, el simulador de movimiento 3 puede aplicar movimientos angulares a esta última según los ejes de balanceo A1, de cabeceo A2 y de guiñada A3. Deberá observarse que la central inercial 7 puede estar embarcada sola en el simulador de movimiento 3 o ésta está comprendida en el móvil (no representado), o ésta está comprendida al menos en una parte del móvil.

El sistema de control funcional 1 comprende además un calculador 9 de a bordo del móvil que está unido a la central inercial 7 y al ordenador 5.

35 Deberá observarse que las diferentes uniones entre el ordenador 5, el simulador de movimiento 3, el calculador 9 de a bordo, y la central inercial 7 pueden ser realizadas a través de cables eléctricos u ópticos, por radio o por otros medios.

De acuerdo con la invención, la figura 2 ilustra de manera muy esquemática un ejemplo de un sistema de control funcional 1 de una central inercial 7 de un móvil (no representado). Deberá observarse que la figura 2 es igualmente una ilustración de las principales etapas del procedimiento de control de acuerdo con la invención.

40 Este procedimiento o sistema es puesto en práctica en una simulación híbrida real en bucle cerrado que utiliza subconjuntos reales (central inercial 7, simulador de movimiento 3, calculador 9 embarcado del móvil, y eventualmente al menos una parte del móvil) y modelos numéricos de otros subconjuntos (por ejemplo, propulsión del móvil) y del entorno (atmósfera). Las salidas procedentes de los subconjuntos reales son las entradas de los modelos numéricos, y las salidas de los modelos numéricos son entradas de los subconjuntos reales.

45 La central inercial 7 (sola o comprendida al menos en una parte del móvil) está embarcada en el simulador de movimiento 3 y facilita en tiempo real, datos inerciales de medición (es decir, datos inerciales reales) R representativos de un movimiento aplicado por el simulador de movimiento 3 y que reproduce los movimientos angulares del móvil en términos de oscilación, de velocidad y de aceleración. Estos datos inerciales de medición R son procedentes de girómetros (o giróscopos) y de acelerómetros (no representados) de la central inercial 7 y permiten en general al calculador 9 embarcado en el móvil realizar su localización, su gobierno y su guiado.

50 Este sistema de control 1 comprende, además, un modelo (o modelización) teórico M1, un modelo (o modelización) de simulación M2, medios de cálculo 11 y medios de validación 13. El modelo teórico M1 y el modelo de simulación

M2 pueden estar comprendidos en el dispositivo informático 5 de la figura 1. Por otra parte, los medios de cálculo 11 comprenden el calculador 9 de a bordo del móvil.

5 La simulación híbrida se desarrolla en tiempo real. Así, los cálculos y los intercambios de datos entre el calculador 9 de a bordo del móvil y el modelo teórico M1, el modelo de simulación M2 y la central inercial 7 son efectuados a la frecuencia real que da cadencia a las operaciones realizadas por el calculador 9 de a bordo del móvil, y ventajosamente con un retardo inferior al período correspondiente a esta frecuencia, y esto para cada bucle de cálculo.

10 El modelo teórico M1 modeliza la central inercial 7 embarcada en el simulador de movimiento 3. Este modelo teórico M1 es alimentado en tiempo real desde el simulador de movimiento 3 por datos cinemáticos D1 (posiciones, velocidades y aceleraciones angulares) realmente ejecutados por este simulador de movimiento 3. En consecuencia, el modelo teórico M1 facilita a los medios de cálculo 11, en tiempo real, datos inerciales teóricos T1 representativos de los datos inerciales de medición R que se supone son medidos por la central inercial 7 embarcada en el simulador de movimiento 3.

15 El modelo de simulación M2 comprende una modelización de la central inercial 7 en un entorno real de navegación. El modelo de simulación M2 es alimentado en tiempo real por datos o mandos de gobierno D2 desde los medios de cálculo 11. En retorno, el modelo de simulación M2 facilita, en tiempo real, datos inerciales de simulación T2 representativos de los datos de salidas de la central inercial 7 en un entorno real de navegación.

Así, el modelo de simulación M2 tiene en cuenta los medios de gobierno D2 para desarrollar una trayectoria del móvil poniendo en práctica la central inercial 7.

20 Los medios de cálculo 11 están destinados a calcular los medios de gobierno D2 en función de los datos reales de medición R, de los datos inerciales de simulación T2 y de los datos inerciales teóricos T1.

Entonces, los medios de validación 13 pueden asegurarse de la validez de la central inercial 7, comparando la trayectoria del móvil obtenida poniendo en práctica la central inercial 7 real, con una trayectoria de referencia predeterminada.

25 De manera conocida, la trayectoria de referencia predeterminada puede ser desarrollada a partir de una simulación totalmente numérica, por ejemplo por el modelo de simulación M2 solo que comprende una modelización de todos los equipos reales incluido el calculador de a bordo y la central inercial.

La trayectoria de referencia predeterminada es obtenida de manera conocida por un modelo de simulación totalmente numérico en el que todos los equipos reales incluido el calculador y la central inercial están numerizados.

30 Así, los medios de validación 13 comparan en tiempo diferido la trayectoria de referencia predeterminada elaborada de manera totalmente numérica, con la trayectoria del móvil, elaborada por el sistema de control funcional 1 poniendo en práctica en tiempo real la central inercial 7 real y el calculador 9 embarcado real. El examen comparativo de los resultados determina si la central inercial 7 es válida, es decir, si ésta tiene características de acuerdo con las necesidades o si la central inercial no es válida. En particular, si las dos trayectorias están superpuestas, la central inercial 7 puede ser considerada como perfecta.

35 Ventajosamente, los datos inerciales de medición R comprenden informaciones acelerométricas procedentes de los acelerómetros de la central inercial 7 además de las informaciones girométricas procedentes de los girómetros de la central inercial 7. Asimismo, los datos inerciales teóricos T1 comprenden informaciones acelerométricas teóricas e informaciones girométricas teóricas.

40 Las informaciones procedentes de los acelerómetros de la central inercial 7 real participan en la localización, en el gobierno y en el guiado del móvil, efectuados por el calculador 9 de a bordo. Así, las anomalías potencialmente presentes en estas informaciones pueden ser detectadas durante una comparación entre las informaciones acelerométricas procedentes de la central inercial 7 real y las procedentes del modelo teórico M1.

Además, los datos inerciales de simulación T2 comprenden informaciones girométricas de simulación e informaciones acelerométricas de simulación.

45 Así, las informaciones acelerométricas y girométricas utilizadas para calcular los mandos de gobierno son representativas de las facilitadas por la central inercial embarcada por el móvil durante el desarrollo de su trayectoria alrededor del globo terrestre. Esto es debido al hecho de que las informaciones acelerométricas y girométricas comprenden además de las que provienen de la central inercial situada en un punto de coordenadas fijas, un complemento de informaciones acelerométricas y girométricas calculado en tiempo real por los modelos teórico M1 y de simulación M2.

50 En efecto, las informaciones facilitadas por la central inercial 7 real son mediciones efectuadas en el punto fijo del laboratorio, y no son totalmente representativas de las que habría facilitado la central inercial embarcada en el móvil desplazándose alrededor del globo terrestre.

- De modo más particular, los datos inerciales teóricos T1 calculados por la modelización teórica M1 corresponden a la expresión teórica de las mediciones que se supone ha realizado la central inercial 7 real en el punto fijo del laboratorio, y esto de modo muy representativo, puesto que este cálculo utiliza los datos cinemáticos aplicados a la central inercial 7 real. Por otra parte, los datos inerciales de simulación T2 son representativos de las mediciones efectuadas por la central inercial 7 embarcada en el móvil desplazándose alrededor del globo terrestre.
- Teniendo en cuenta los datos inerciales de medición R y los datos teóricos T1 correspondientes, se elimina cualquier error debido a las mediciones efectuadas en el punto fijo. Por consiguiente, aportando la contribución de los datos inerciales de simulación T2 al par de datos inerciales de medición R y teóricos T1, se obtiene una trayectoria representativa de la realidad y no afectada con el problema ligado a las mediciones efectuadas en el punto fijo.
- La figura 3 ilustra de manera esquemática un modo de realización de un sistema de control funcional de acuerdo con la figura 2. De acuerdo con este modo de realización, los medios de cálculo 11 comprenden un primero y un segundo medios de operaciones aritméticas 11a y 11b que realizan operaciones aritméticas entre los datos inerciales de medición R, los datos inerciales de simulación T2 y los datos inerciales teóricos T1 para calcular datos inerciales I.
- Así, el primer medio de operaciones aritméticas 11a realiza la diferencia entre los datos inerciales de simulación T2 y los datos inerciales teóricos T1. El resultado de esta diferencia (T2-T1) es añadido a los datos inerciales de medición R por el segundo medio de operaciones aritméticas 11b para expresar los datos inerciales I según la fórmula $I = T2+R-T1$.
- Los mandos de gobierno D2 son calculados entonces en función de estos datos inerciales I definidos por la suma entre los datos inerciales de medición R y los datos inerciales de simulación T2 disminuida en los datos inerciales teóricos T1.
- Este modo de realización está basado en la utilización, en la simulación híbrida del sistema de control funcional 1, de un diferencial obtenido entre los datos inerciales de medición R facilitados por la central inercial 7 embarcada en el simulador de movimiento 3 y los datos inerciales teóricos T1 facilitados por el modelo teórico M1.
- En virtud de la fórmula $I = T2-T1+R$, como R y T1 dependen del cumplimiento efectuado por el simulador de movimiento 3, estos se mantienen coherentes, incluso si este último no ejecuta correctamente el mando. Esto permite desarrollar una trayectoria precisa del modelo con un simulador de movimiento 3 de menor coste.
- Por otra parte, cuando los medios de validación 13 comparan en tiempo diferido la trayectoria de referencia predefinida con la trayectoria del móvil, elaborada por el sistema de control funcional 1, la validez de la central inercial 7 es determinada en función del diferencial entre R y T1.
- Si $R=T1$, entonces $I=T2$ lo que corresponde al hecho de que las dos trayectorias están superpuestas y entonces, la central inercial 7 es perfecta. En este caso, la trayectoria del móvil obtenida con una central inercial 7 de este tipo es muy próxima a los resultados obtenidos con el único calculador 9 de a bordo real puesto en práctica en la simulación híbrida.
- Si R es próximo a T1, (por ejemplo $|R-T1| = \epsilon$, donde ϵ es un valor pequeño), entonces se percibe una diferencia entre las dos trayectorias, pero se mantienen dentro de límites aceptables y la trayectoria puede ser considerada conforme a lo esperado. En este caso, la central inercial 7 tiene características no nominales, pero se mantiene en el interior de los límites o tolerancias especificadas en su pliego de condiciones.
- Si R está alejado de T1, entonces las dos trayectorias son claramente diferentes, el móvil no consigue el objetivo (trayectoria verdadera), mientras que el calculador 9 embarcado cree haberlo conseguido (trayectoria estimada). En este caso, la central inercial 7 tiene defectos importantes.
- Dicho de otro modo, la central inercial 7 puede ser considerada como válida cuando un diferencial entre los datos inerciales I y los datos inerciales de simulación T2 está limitado por un valor de umbral ϵ predeterminado ($|I-T2| \leq \epsilon$).
- Por otra parte, calculando la expresión teórica T1 de las mediciones que se supone ha realizado la central inercial 7 real en el punto fijo, restando T1 de R, y añadiendo la contribución de los datos inerciales de simulación T2 (representativos de las mediciones efectuadas por la central inercial embarcada en el móvil desplazándose alrededor del globo terrestre), se obtiene una trayectografía representativa de la realidad. Deberá observarse que restando T1 de R, se elimina la contribución aportada por la central inercial real salvo un η ($\eta = |R-T1|$), donde el valor de η es tanto mayor cuanto que la central inercial 7 real sea imperfecta.
- De acuerdo con este ejemplo, se pueden desarrollar trayectorias con un modelo de simulación M2 que tenga en cuenta las diferentes tolerancias de la central inercial 7. Se puede desarrollar por ejemplo un número determinado N de trayectorias modulando las diferentes variables dentro de sus tolerancias para obtener una maraña de trayectorias. Si la trayectoria « verdadera » es decir la que es obtenida con la central inercial 7 real está incluida en la maraña obtenida gracias a la simulación numérica, entonces, la central inercial 7 puede ser considerada válida. En el caso contrario, es que ésta presenta un defecto.

- 5 La figura 4 muestra de manera esquemática que el sistema de control funcional 1 comprende además un modelo (o una modelización) de avance de fase M3. Este modelo de avance de fase M3 es alimentado en tiempo real por datos o mandos cinemáticos de entradas C1 desde el modelo de simulación M2, y facilita mandos cinemáticos de salida C2 al simulador de movimiento 3 para compensar un retardo de ejecución inherente al simulador de movimiento 3.
- 10 En efecto, de manera general, el sistema de navegación y gobierno de un móvil comprende una función denominada « piloto » que está destinada a elaborar órdenes de giro de los medios de gobierno compatibles con las características del móvil. Se trata de una función automática, que juzga en tiempo real, gracias a las informaciones o datos inerciales y eventualmente de otra naturaleza (caso de un sensor complementario distinto al inercial), el cumplimiento de la orden de mando precedente y que adapta a las necesidades el nivel de la orden de mando que ha de venir. Si los medios de gobierno no reaccionan bastante deprisa, el piloto se dará cuenta y dará órdenes más intensas para compensar este retardo de ejecución.
- 15 Ventajosamente, los mandos cinemáticos de entradas C1 presentan un perfil síncrono con el de los datos cinemáticos D1. Además, las amplitudes de los datos cinemáticos D1 y de los mandos cinemáticos de entradas C1 son coherentes. La simulación de la central inercial es entonces síncrona con la cinemática angular del móvil, garantizando la representatividad de la puesta en práctica de la central inercial y de los otros eventuales sensores embarcados en el simulador de movimientos.
- 20 La figura 5 muestra de manera esquemática que el sistema de control funcional de acuerdo con la figura 4 comprende además un modelo (o modelización) de enmascaramiento M4 que según este ejemplo está aguas abajo del modelo de simulación M2 y aguas arriba del modelo de avance de fase M3. Así, el modelo de enmascaramiento M4 es alimentado en tiempo real, desde el modelo de simulación M2, por los mandos cinemáticos de entradas C1, y facilita mandos cinemáticos enmascarados C3 al modelo de avance de fase M3 para enmascarar al menos una parte de las fases del movimiento del móvil.
- 25 El modelo de avance de fase M3 facilita entonces al simulador de movimiento 3, mandos cinemáticos de salida C4 que tienen en cuenta mandos cinemáticos enmascarados C3 para realizar una trayectoria en la cual la oscilación angular y/o la dinámica del modelo es superior a la autorizada por el simulador de movimiento 3.
- 30 Así, un desplazamiento angular del simulador de movimiento 3 o una parada de este desplazamiento, gobernado voluntariamente a partir del modelo de enmascaramiento M4, es tenido en cuenta por los datos inerciales de medición R y los datos inerciales teóricos T1 pero no afecta a los mandos de gobierno D2.
- 35 En efecto, de acuerdo con el ejemplo de la figura 3 y en virtud de la fórmula $l = T2 - T1 + R$, los datos inerciales l no están afectados por ningún desplazamiento angular o parada del simulador de movimiento 3 gobernado por el modelo de enmascaramiento M4.
- Por otra parte, una vigilancia implementada en el modelo de enmascaramiento M4 permite limitar el mando de oscilación angular antes de llegar a los toques materiales o de software del simulador de movimiento 3.
- 40 Deberá observarse que los modelos teórico M1, de simulación M2, de avance de fase M3, y/o de enmascaramiento M4 pueden estar comprendidos en el dispositivo informático 5 de la figura 1.
- La figura 6 muestra de manera esquemática, un ejemplo de un desarrollo de una trayectoria alrededor de un obstáculo.
- 45 A título de ejemplo, utilizando un simulador de movimiento 3 subdimensionado que tiene una capacidad de desplazamiento angular alrededor del eje de guiñada de +/- 100 grados, lo que corresponde a un recorrido angular de 200 grados, se puede desarrollar una trayectoria que presente un recorrido angular de 270 grados. Así, de acuerdo con este ejemplo, el móvil 21 puede recorrer una trayectoria 23 desde un punto de partida 25 hasta un punto de llegada 27 contorneando un obstáculo 29 según un recorrido angular de 270 grados.
- 50 En efecto, en el transcurso del desarrollo de la trayectoria 23, se puede modificar el posicionamiento angular de un eje del simulador de movimiento 3. Por ejemplo, se puede gobernar el eje de guiñada A3 del simulador de movimiento 3 de manera independiente de la guiñada del móvil 21.
- Ventajosamente, al menos una parte de los mandos cinemáticos enmascarados C3 puede depender de una ley interna al modelo de enmascaramiento M3. En particular, la ley interna es independiente de los mandos cinemáticos de entradas C1. Así, se puede inyectar en el simulador de movimiento 3, un mando de movimiento a partir del modelo de enmascaramiento M4, independiente de los mandos cinemáticos de entradas C1 desde el modelo de simulación M2. Esto permite desarrollar una trayectoria en la que el móvil puede realizar varios bucles con un simulador de movimiento 3 que presente una oscilación angular limitada.
- Por otra parte, la trayectoria puede presentar una dinámica superior a la autorizada por el simulador de movimiento 3.

5 A título de ejemplo, en el caso en que, en un suceso transitorio, los mandos cinemáticos de entradas C1 comprendan un mando de velocidad superior a lo que es capaz de generar el simulador de movimiento 3, las características de los datos cinemáticos D1 realmente ejecutados por el simulador de movimiento 3 son minoradas con respecto a los mandos cinemáticos de entradas C1. Así, este movimiento alterado es tenido en cuenta por los datos inerciales de medición R y los datos inerciales teóricos T1. Sin embargo, en virtud, por ejemplo, de la fórmula $I = T2 - T1 + R$, los datos inerciales I no resultan afectados por la alteración del movimiento. Así, la trayectoria no está afectada por el subdimensionamiento del simulador de movimiento 3.

10 La invención se refiere también a un programa de ordenador telecargable desde una red de comunicación que comprende instrucciones de códigos de programa para la ejecución de las etapas del procedimiento de control de acuerdo con la invención cuando éste es ejecutado en el ordenador 5. Este programa de ordenador puede ser almacenado en un soporte legible por ordenador y puede ser ejecutable por un microprocesador.

Este programa puede utilizar cualquier lenguaje de programación, y estar en forma de código fuente, código objeto, o código intermedio entre el código fuente y el código objeto, tal como en una forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma deseable.

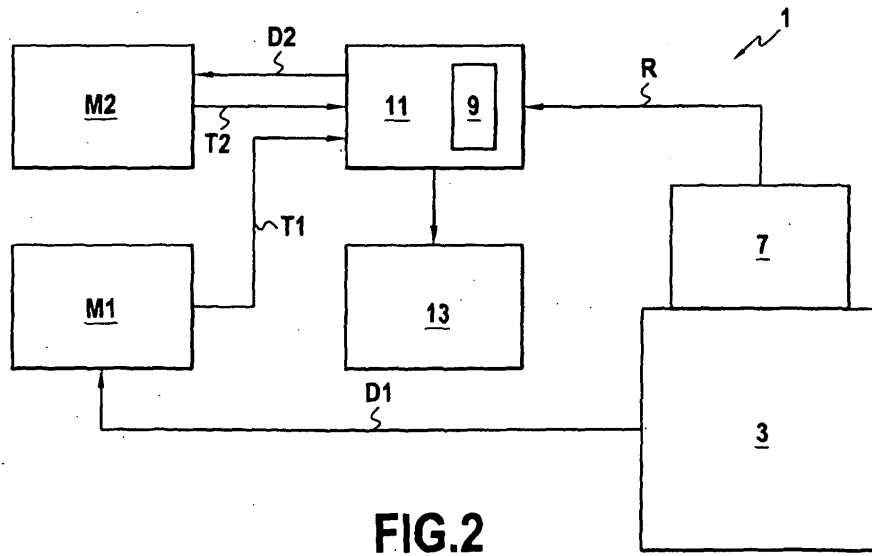
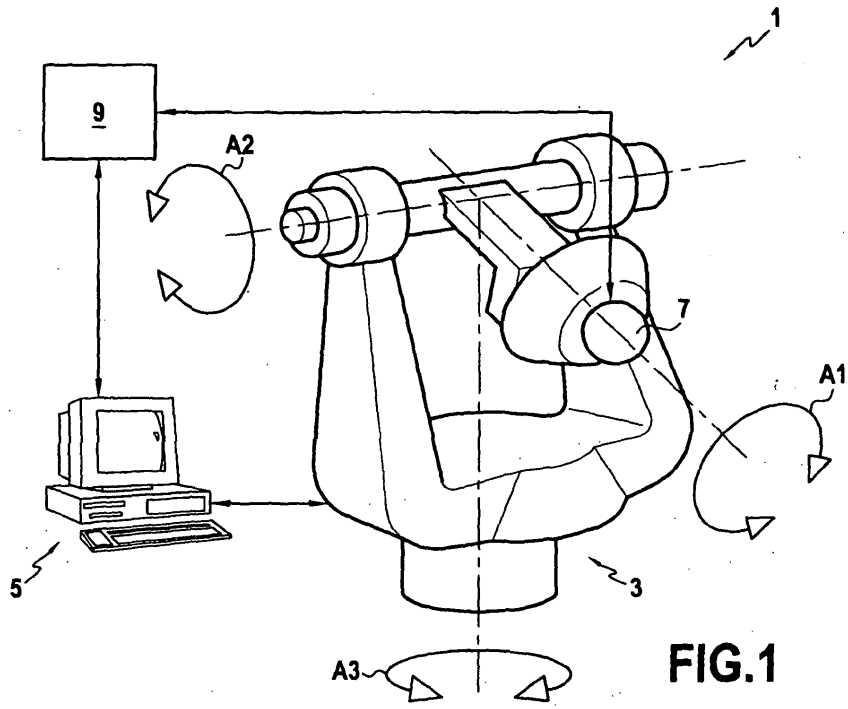
15 La invención se refiere también a un soporte de informaciones legible por un ordenador, y que comprende instrucciones de un programa de ordenador tal como se mencionó anteriormente.

20 El soporte de informaciones puede ser cualquier dispositivo capaz de almacenar el programa. Por ejemplo, el soporte puede comprender un medio de almacenamiento, tal como una ROM, por ejemplo un CD ROM o una ROM de circuito microelectrónico, o también un medio de registro magnético, por ejemplo un disquete (floppy disc) o un disco duro.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control funcional de una central inercial (7) de un móvil, embarcada en un simulador de movimiento (3) y que facilita, en tiempo real, datos inerciales de medición (R) representativos de un movimiento aplicado por el citado simulador de movimiento (3), caracterizado porque comprende:
- 5 - una modelización teórica (M1) de la central inercial (7) embarcada en el simulador de movimiento (3), siendo alimentada la citada modelización teórica en tiempo real por datos cinemáticos (D1) realmente ejecutados por el simulador de movimiento (3), y que facilita en tiempo real datos inerciales teóricos (T1) representativos de los citados datos inerciales de medición (R) que se supone son medidos por la central inercial (7) embarcada en el simulador de movimiento (3),
- 10 - una modelización de simulación (M2) que comprende una modelización de la central inercial en un entorno real de navegación, siendo alimentada la modelización de simulación en tiempo real por mandos de gobierno (D2), y que facilita, en tiempo real, datos inerciales de simulación (T2) representativos de los datos de salidas de la central inercial en el citado entorno real de navegación, teniendo en cuenta la citada modelización de simulación los citados mandos de gobierno (D2) para desarrollar una trayectoria del móvil poniendo en práctica la central inercial,
- 15 - cálculo de los citados mandos de gobierno (D2) en función de los datos inerciales de medición (R), de los datos inerciales de simulación (T2) y de los datos inerciales teóricos (T1), y
- validación de la central inercial (7), comparando la trayectoria del móvil obtenida poniendo en práctica la central inercial, con una trayectoria de referencia predeterminada.
- 20 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque los datos inerciales de medición (R) comprenden informaciones acelerométricas procedentes de los acelerómetros de la citada central inercial, y porque los datos inerciales teóricos (T1) comprenden informaciones acelerométricas teóricas.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque los datos inerciales de medición (R) comprenden además informaciones girométricas procedentes de los girómetros de la citada central inercial, porque los datos inerciales teóricos (T1) comprenden informaciones girométricas teóricas, y porque los datos inerciales de simulación (T2) comprenden informaciones girométricas de simulación e informaciones acelerométricas de simulación.
- 25 4. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque los citados mandos de gobierno (D2) son calculados en función de los datos inerciales (I) definidos por una suma entre los datos inerciales de medición (R) y los datos inerciales de simulación (T2) disminuida en los datos inerciales teóricos (T1).
- 30 5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque la central inercial (7) es considerada como válida cuando un diferencial entre los datos inerciales (I) y los datos inerciales de simulación (T2) está limitado por un valor de umbral predeterminado.
6. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque comprende, además, una modelización de avance de fase (M3) alimentada en tiempo real por mandos cinemáticos de entradas (C1) desde la modelización de simulación (M2), y que facilita mandos cinemáticos de salida (C2) al simulador de movimiento (3) para compensar un retardo de ejecución inherente al citado simulador de movimiento.
- 35 7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado porque los citados mandos cinemáticos de entradas (C1) presentan un perfil síncrono con el de los datos cinemáticos (D1) y porque las amplitudes de los citados datos cinemáticos (D1) y de los citados mandos cinemáticos de entradas (C1) son coherentes.
- 40 8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado porque comprende, además, una modelización de enmascaramiento (M4) aguas abajo de la modelización de simulación (M2) y aguas arriba de la modelización de avance de fase (M3) de modo que la modelización de enmascaramiento está alimentada en tiempo real por los mandos cinemáticos de entradas (C1), y que facilita mandos cinemáticos enmascarados (C3) a la modelización de avance de fase (M3) para enmascarar al menos una parte de las fases del movimiento.
- 45 9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque al menos una parte de los mandos cinemáticos enmascarados (C3) depende de una ley interna a la modelización de enmascaramiento (M4) y que es independiente de los mandos cinemáticos de entradas (C1).
10. Sistema de control funcional de una central inercial (7) de un móvil, embarcada en un simulador de movimiento (3), y que facilita, en tiempo real, datos inerciales de medición (R) representativos de un movimiento aplicado por el citado simulador de movimiento, caracterizado porque comprende:
- 50 - un modelo teórico (M1) que comprende una modelización de la central inercial (7) embarcada en el simulador de movimiento (3), siendo alimentado el modelo teórico en tiempo real por datos cinemáticos (D1) realmente ejecutados por el simulador de movimiento, y que facilita en tiempo real datos inerciales teóricos (T1) representativos de los

- citados datos inerciales de medición (R) que se supone son medidos por la central inercial embarcada en el simulador de movimiento,
- 5 - un modelo de simulación (M2) que comprende una modelización de la central inercial en un entorno real de navegación, siendo alimentado el modelo de simulación en tiempo real por mandos de gobierno (D2), y que facilita en tiempo real datos inerciales de simulación (T2) representativos de los datos de salidas de la central inercial en el citado entorno real de navegación, teniendo en cuenta el citado modelo de simulación (M2) los citados mandos de gobierno (D2) para desarrollar una trayectoria móvil poniendo en práctica la central inercial,
 - medios de cálculo (11) para calcular los citados mandos de gobierno (D2) en función de los datos inerciales de medición (R), de los datos inerciales de simulación (T2) y de los datos inerciales teóricos (T1), y
 - 10 - medios de validación (13) para asegurarse de la validez de la central inercial, comparando la trayectoria del móvil obtenida poniendo en práctica la central inercial, con una trayectoria de referencia predeterminada.
11. Sistema de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque los medios de cálculo (11) están destinados a determinar los citados mandos de gobierno (D2) en función de los datos inerciales (I) definidos por una suma entre los datos inerciales de medición (R) y los datos inerciales de simulación (T2) disminuida en los datos inerciales teóricos (T1).
- 15 12. Sistema de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado porque los medios de validación (13) están destinados a considerar la central inercial como válida cuando un diferencial entre los datos inerciales (I) y los datos inerciales de simulación (T2) está limitado por un valor de umbral predeterminado.
- 20 13. Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, caracterizado porque comprende, además, un modelo de avance de fase (M3) alimentado en tiempo real por mandos cinemáticos de entradas (C1) desde el modelo de simulación (M2), y que facilita mandos cinemáticos de salida (C2) al simulador de movimiento para compensar un retardo de ejecución inherente al citado simulador de movimiento.
- 25 14. Sistema de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado porque comprende, además, un modelo de enmascaramiento (M4) interpuesto entre el citado modelo de simulación (M2) y el citado modelo de avance de fase (M3) de modo que el modelo de enmascaramiento es alimentado en tiempo real por los mandos cinemáticos de entradas (C1), y que facilita mandos cinemáticos enmascarados (C3) al modelo de avance de fase (M3) para enmascarar al menos una parte de las fases del movimiento.
- 30 15. Programa de ordenador, caracterizado porque comprende instrucciones de códigos para la ejecución de las etapas del procedimiento de control de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 1 a 9, cuando éste es ejecutado en un ordenador.



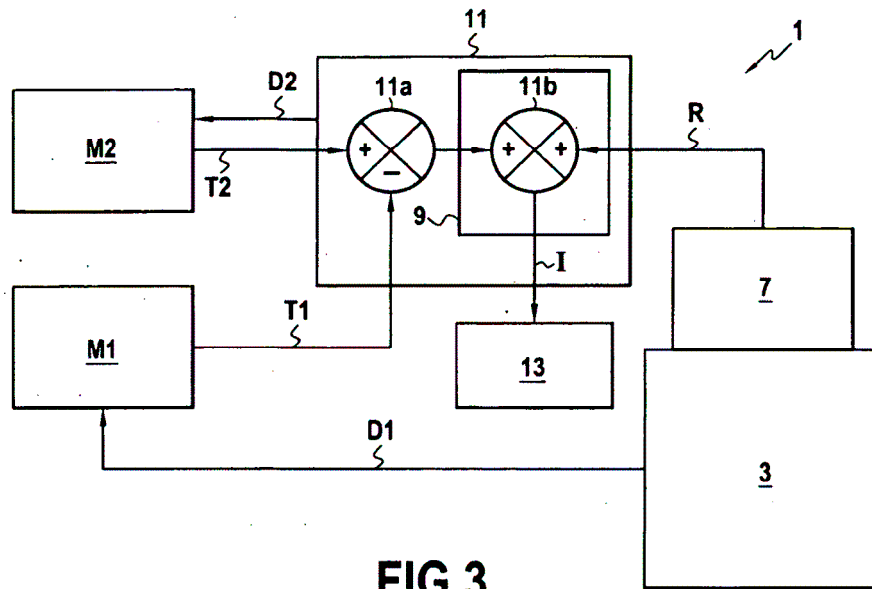


FIG.3

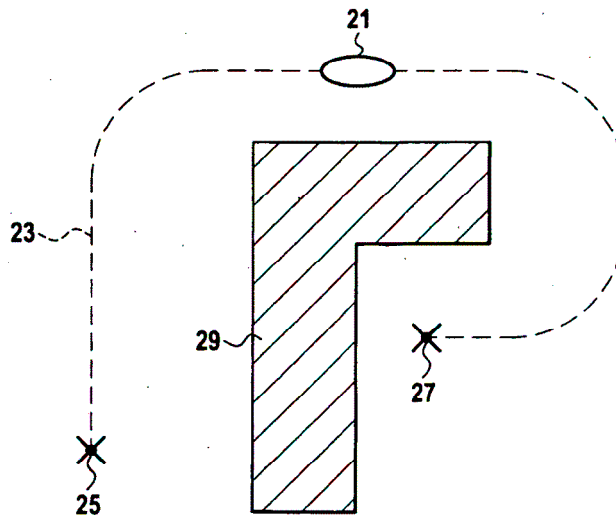


FIG.6

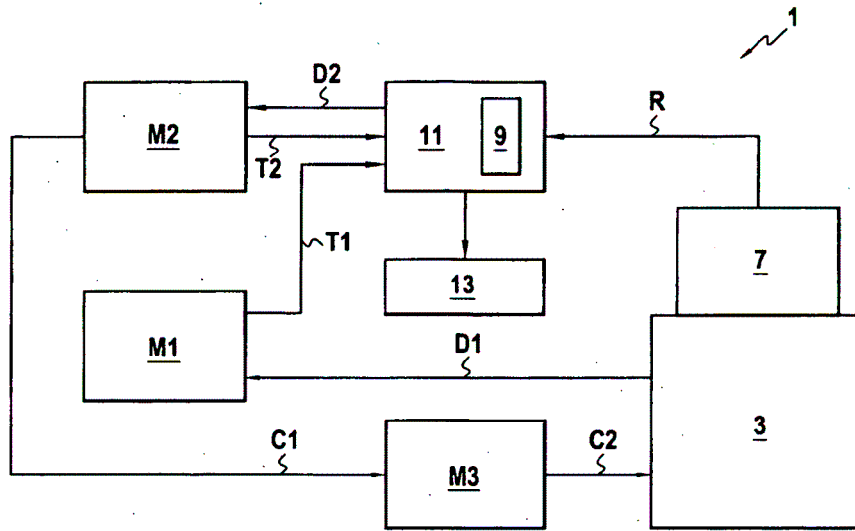


FIG. 4

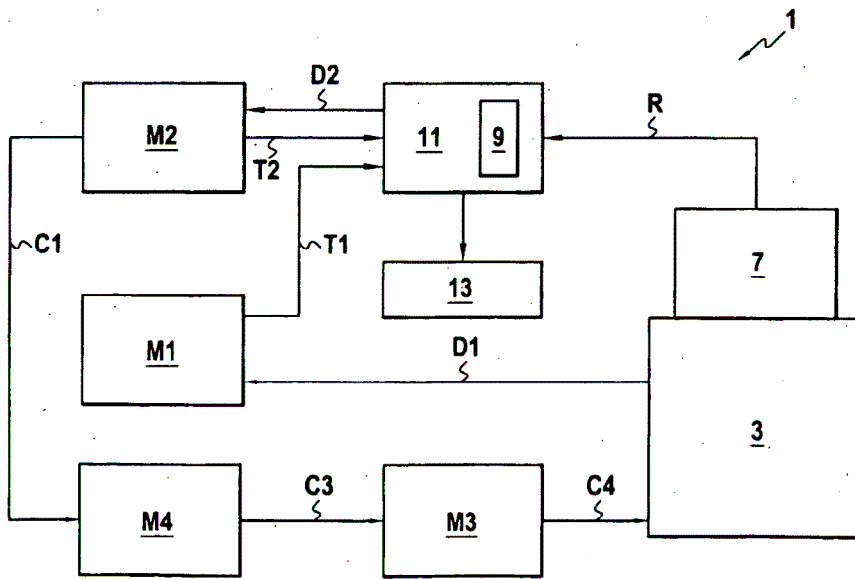


FIG. 5