

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 761 612**

51 Int. Cl.:

G01C 25/00 (2006.01)

F41G 3/22 (2006.01)

G02B 27/01 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.09.2016 PCT/GB2016/052791**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.03.2017 WO17042576**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.09.2016 E 16766060 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 3347679**

54 Título: **Corrección de datos del sensor inercial**

30 Prioridad:

11.09.2015 GB 201516122

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

20.05.2020

73 Titular/es:

**BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB**

72 Inventor/es:

**TRYTHALL, SIMON;
WILLIAMS, JOHN, RICHARD y
KNIGHT, PETER MICHAEL**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 761 612 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

Corrección de datos del sensor inercial

5 La presente invención se refiere a la determinación de errores en la emisión de datos por sensores inerciales cuando se usa para seguir la orientación cambiante de un objeto y, en particular, pero no exclusivamente, a la determinación de las correcciones que se aplicarán a tales datos para corregir los errores determinados. La presente invención encuentra una aplicación particular en la determinación y seguimiento de la orientación de un casco u otro dispositivo usado en el cuerpo utilizando sensores inerciales.

10 Se sabe que incluye un sistema de seguimiento de la cabeza o del casco en un sistema de visualización montado en la cabeza o un casco en el que la posición de los símbolos u otros artefactos en la pantalla se determinará según la orientación de la cabeza del usuario en relación con un marco de referencia móvil, por ejemplo, en relación con una cabina u otra región interior de una aeronave o la posición de un conductor u otra en un vehículo terrestre u otro tipo de vehículo.

15 Se conocen diversos tipos diferentes de sistemas de seguimiento, que utilizan una variedad de tecnologías de sensores diferentes. Por ejemplo, Proc. SPIE 8735, Head- and Helmet-Mounted Displays XVIII: Design and Applications, 873502 (16 de mayo de 2013) describe un sistema híbrido de seguimiento óptico/inercial del casco para usar con pantallas montadas en la cabeza y el casco. Un ejemplo de un seguimiento de casco que utiliza técnicas electromagnéticas está disponible en Polhemus® Inc, por ejemplo, como se describe en un Libro Blanco titulado 'Accuracy and Resolution in Electromagnetic 6 Degree-of-freedom (6DOF) Measurement Systems', APB 8500-001A, disponible en <http://www.polhemus.com>. Sin embargo, los sistemas de seguimiento conocidos generalmente no pueden anticipar algunas de las necesidades particulares de los sistemas de visualización digital montados en la cabeza o en el casco que dependen de un sistema de seguimiento asociado para suministrar datos de orientación que pueden usarse para generar y posicionar símbolos u otros artefactos estabilizados en el espacio en la pantalla, es decir, los símbolos que le parecen a un usuario de la pantalla fijados en una vista de campo lejano del espacio, alineados con un punto u objeto visible externamente, a pesar del movimiento de la cabeza.

20 El documento US4722601A se refiere a un aparato para determinar la dirección de una línea de visión. El aparato comprende una unidad de observación, tal como un casco que lleva un tubo de rayos catódicos y una pantalla semirreflectante que permite al usuario ver una pantalla superpuesta en una escena exterior. La unidad de observación lleva una unidad detectora que determina los movimientos del casco sin referencia a un aparato externo al casco, y que comprende preferentemente alguna forma de aparato giroscópico. El casco también lleva un detector de puntería
25 16 que forma parte de los medios de corrección operables para corregir automáticamente de vez en cuando los errores en la emisión de la unidad detectora.

30 El documento EP1203285A1 se refiere a un sistema de seguimiento de cabezales para determinar la orientación de la cabeza de un usuario en relación con un dato. El sistema de seguimiento de la cabeza comprende: un montaje de la cabeza, preferentemente un casco, para la fijación a la cabeza del usuario y un sistema de sensor para detectar la orientación del montaje de la cabeza en relación con el dato. Se proporciona una marca distinguible en un primer punto conocido fijo en relación con el montaje de la cabeza o en un segundo punto conocido fijo en relación con el dato. En el otro punto conocido, se monta un sensor óptico, preferentemente una cámara de video. El sistema comprende además medios de procesamiento para determinar el momento en que la marca está dentro del campo de visión del sensor óptico y la emisión de los medios de procesamiento se utiliza para corregir la deriva en el sistema del sensor o para proporcionar una verificación independiente de que el sistema está funcionando dentro tolerancias preseleccionadas

35 La presente invención se define, en sus diversos aspectos, en las reivindicaciones adjuntas. En particular, según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para corregir errores en los datos de velocidad emitidos por sensores inerciales indicativos de una velocidad de cambio de orientación en el espacio inercial de un objeto al que están unidos los sensores inerciales, teniendo el objeto también un sistema de seguimiento no inercial dispuesto para determinar la orientación del objeto referenciado a un marco de referencia de una plataforma móvil con la que está asociado el objeto, comprendiendo el método los pasos:

- 40 (i) recibir datos de velocidad emitidos por los sensores inerciales;
 (ii) recibir datos de orientación del sistema de seguimiento no inercial;
 (iii) recibir datos de orientación indicativos de la orientación de la plataforma móvil en el espacio inercial;
 (iv) derivar datos de velocidad de una combinación sincronizada de datos de orientación recibidos en los pasos (ii) y (iii) para proporcionar una medida de la velocidad de cambio en la orientación del objeto en el espacio inercial;
 (v) determinar, a partir de una combinación sincronizada de datos de velocidad recibidos en el paso (i) y datos de velocidad derivados en el paso (iv), una corrección de errores en los datos de velocidad emitidos por los sensores inerciales debido a una desalineación, incluida la no ortogonalidad de los ejes de los sensores inerciales o una diferencia en la alineación de uno o más ejes de los sensores inerciales y los ejes correspondientes en un marco de referencia del sistema de seguimiento no inercial; y
 (vi) aplicar la corrección determinada en el paso (v) para calificar la emisión de datos por los sensores inerciales,

5 en el que, en el paso (v), la corrección se define mediante un mapeo entre vectores que unen puntos en un espacio de velocidad de sensor inercial representado por un conjunto de muestra de datos de velocidad recibidos en el paso (i) y vectores que unen puntos en un espacio de velocidad de orientación de objeto derivado representado por un conjunto de muestra sincronizada correspondiente de datos de velocidad derivados en el paso (iv).

10 Ventajosamente, mediante este método, los errores debidos al sesgo del sensor inercial pueden identificarse por separado de los errores debidos a una desalineación, en una realización de ejemplo de la presente invención, mediante:

10 (vii) recibir datos de velocidad emitidos por los sensores inerciales y, sincronizados con ellos, datos de velocidad derivados en el paso (iv);

15 (viii) aplicar a los datos de velocidad emitidos por los sensores inerciales recibidos en el paso (vi) la corrección debido a la desalineación determinada en el paso (v);

20 (ix) determinar una traslación vectorial entre un punto en el espacio de velocidad de orientación de objeto derivado representado por los datos de velocidad corregidos y un punto en el espacio de velocidad de orientación de objeto derivado representado por los datos de velocidad derivada sincronizados recibidos en el paso (vi), la traslación del vector determinado que representa una corrección por sesgo en los datos de velocidad emitidos por los sensores inerciales; y

(x) agregar la corrección por sesgo determinada en el paso (ix) a los datos de velocidad corregidos en el paso (vi).

25 En una realización de ejemplo, el paso (v) comprende:

(a) seleccionar un conjunto de muestra de cuatro medidas de datos de velocidad recibidos en el paso (i) que representa una disposición sustancialmente tetraédrica de puntos en el espacio de velocidad del sensor inercial;

30 (b) seleccionar cuatro medidas sincronizadas respectivamente de datos de velocidad derivados en el paso (iv) que representan puntos correspondientes en el espacio de velocidad de orientación de objeto derivado;

35 (c) definir tres vectores que unen un punto seleccionado a los otros tres puntos en el espacio de velocidad del sensor inercial y definir tres vectores correspondientes que unen los puntos correspondientes respectivos en el espacio de velocidad de orientación del objeto derivado;

40 (d) determinar un mapeo entre los tres vectores de enlace en el espacio de velocidad del sensor inercial y los tres vectores de enlace correspondientes en el espacio de velocidad de orientación del objeto derivado, representando el mapeo la corrección.

Para actualizar las correcciones determinadas, en una realización ejemplar, el método comprende además el paso:

45 (xi) probar cada medida de datos de velocidad recibida posteriormente de los sensores inerciales hasta que se identifique una nueva medida que defina un nuevo punto en el espacio de velocidad del sensor inercial formando una disposición de puntos sustancialmente tetraédrica con los puntos definidos por las tres medidas recibidas más recientemente de datos de velocidad en el conjunto de muestra emitidos por los sensores inerciales, reemplazando la nueva medida así la medida recibida más antigua de datos de velocidad en el conjunto de muestra emitido por los sensores inerciales, y seleccionar el vector de velocidad correspondiente derivado en el paso (iv) para reemplazar el más antiguo con respecto al espacio de velocidad de orientación del objeto derivado, desencadenando así la determinación de una nueva corrección por los pasos (c) y (d).

55 Se pueden aplicar diversas técnicas de filtrado a los datos destinados a ser utilizados para determinar correcciones. En un ejemplo, el paso (i) comprende además aplicar un primer tipo de filtrado a una muestra de datos de velocidad recibida de los sensores inerciales para definir datos de velocidad promedio representativos de la muestra para su uso en pasos posteriores del método. Además, el paso (i) comprende además aplicar un segundo tipo de filtrado a los datos de velocidad promedio que resulta de una aplicación del primer tipo de filtrado y el paso (iv) comprende además aplicar el segundo tipo de filtrado a los datos de velocidad derivados, para así suprimir ruido en los datos de velocidad. El segundo tipo de filtrado puede comprender aplicar un filtro de respuesta de impulso finito o un filtro de respuesta de impulso infinito.

60 En una operación ejemplar del método, los pasos (i) a (v) y los pasos (vii) a (ix) se pueden operar en un proceso cíclico que representa un ciclo de actualización de correcciones y los pasos (vi) y (x) en un proceso cíclico que representa un ciclo de seguimiento, en el que el período del ciclo de actualización de correcciones es un múltiplo entero predeterminado del período del ciclo de seguimiento.

65 En una realización ejemplar, el paso (v) comprende además operar un proceso de control de estabilización, activado para operar sobre una secuencia de ciclos de actualización de correcciones.

Un proceso de control de estabilización de este tipo ayuda a reducir el impacto de correcciones potencialmente grandes sobre los usuarios de los datos de la disposición del sensor inercial durante un período durante el cual el conjunto de muestras evoluciona y se estabiliza en un conjunto de muestras representativo de una base real para determinar los errores de desalineación y las correcciones correspondientes.

En una realización ejemplar adicional, el paso (vi) comprende además operar un proceso de amortiguación sobre una secuencia de ciclos de seguimiento para suavizar la aplicación de la corrección que se aplicará con respecto al ciclo de actualización de correcciones más reciente. Además, el paso (x) comprende además operar un proceso de amortiguación sobre una secuencia de ciclos de seguimiento para suavizar la aplicación de la corrección de sesgo que se aplicará sobre la secuencia de ciclos de seguimiento.

Un proceso de amortiguación de este tipo limita aún más el impacto sobre los usuarios de los datos de correcciones potencialmente grandes al introducir cada corrección de desalineación y/o corrección de sesgo recién calculada gradualmente a lo largo de varios ciclos de seguimiento.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de seguimiento para determinar la orientación de un objeto, que comprende:

una disposición de sensor inercial asociada con el objeto, dispuesta para emitir datos de velocidad que proporcionan indicaciones cíclicas de una velocidad de cambio en la orientación del objeto en el espacio inercial;

un sistema de seguimiento no inercial asociado con el objeto, dispuesto para emitir determinaciones cíclicas de orientación del objeto, referenciado a un marco de referencia de una plataforma móvil asociada con el objeto;

una fuente de datos de orientación que proporciona indicaciones cíclicas de orientación de la plataforma móvil en el espacio inercial;

un generador de datos de velocidad para convertir determinaciones sucesivas de orientación del objeto por el sistema de seguimiento no inercial combinado con medidas de orientación sincronizadas respectivas de la plataforma móvil en medidas respectivas de datos de velocidad indicativos de una velocidad de cambio en la orientación del objeto en espacio inercial;

un componente de corrector dispuesto para determinar y aplicar correcciones a los datos de velocidad emitidos por la disposición del sensor inercial con respecto a un ciclo dado por el método definido según el primer aspecto de la presente invención; y un componente integrador para recibir datos de velocidad corregidos del componente de corrector y calcular a partir del mismo una orientación del objeto referenciado al espacio inercial.

En realizaciones ejemplares de este segundo aspecto, el sistema de seguimiento no inercial es un sistema de seguimiento óptico, un sistema de seguimiento acústico o un sistema de seguimiento magnético.

En otra realización ejemplar, el objeto puede ser una cabeza o casco u otro artículo usado en el cuerpo al que está unida la disposición del sensor inercial y el sistema de seguimiento no inercial está dispuesto para determinar y emitir datos indicativos de la orientación de la cabeza o casco u otro artículo usado en el cuerpo.

Según un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un producto de programa informático que comprende un soporte de datos que tiene almacenados medios de código de software, o medios para acceder a los mismos, que cuando se instalan y ejecutan en un procesador digital están dispuestos para implementar los pasos del método definido según el primer aspecto de la presente invención mencionado anteriormente.

Según un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un procesador digital programado para implementar los pasos del método definidos según el primer aspecto de la presente invención mencionado anteriormente.

Las realizaciones ejemplares de la presente invención se describirán ahora con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos, de los cuales:

La figura 1 representa una arquitectura funcional para un sistema de seguimiento de casco que puede incorporar realizaciones ejemplares de la presente invención;

La figura 2 muestra un tiempo ejemplar para un proceso de seguimiento cíclico que puede usarse para determinar el tiempo de disponibilidad de datos y el funcionamiento de realizaciones ejemplares de la presente invención;

La figura 3 representa una arquitectura funcional mejorada para un sistema de seguimiento de casco que puede incorporar realizaciones ejemplares de la presente invención; y

La figura 4 representa una representación de un casco con componentes adecuados para implementar y

beneficiarse de la funcionalidad según realizaciones ejemplares de la presente invención.

Las realizaciones del método de corrección de datos del sensor inercial según la presente invención pueden incorporarse, con el propósito de describir realizaciones ejemplares, en un sistema de seguimiento para rastrear cambios en la orientación de un objeto en relación con un marco de referencia inercial, o en relación con una plataforma fija, móvil o movable con la cual el objeto puede estar asociado o puede desplazarse. El objeto puede considerarse asociado con la plataforma móvil si la magnitud de la velocidad relativa del objeto y la plataforma móvil es sustancialmente cero en el momento de determinar la orientación del objeto con respecto a la plataforma. Las realizaciones de la presente invención se describirán a continuación en el contexto ejemplar de un sistema de seguimiento de casco destinado a usarse con el casco de un piloto de una aeronave. Más particularmente, las realizaciones de la presente invención se describirán en el contexto de tal sistema de seguimiento de casco cuando se use en asociación con un sistema de visualización montado en casco. Sin embargo, la presente invención puede aplicarse en el seguimiento de la orientación de otros tipos de objetos asociados con una plataforma móvil.

La descripción que sigue es de una arquitectura de sistema lógico diseñada para explicar los principios que subyacen al funcionamiento de las técnicas de corrección de datos de la presente invención. Para una persona experta noacional estará claro que los métodos descritos pueden implementarse utilizando una arquitectura de procesamiento de datos orientada a objetos en la que los componentes funcionales del sistema pueden combinarse y distribuirse de manera diferente a la de una arquitectura secuencial lógica que se describirá a continuación. Sin embargo, es probable que los principios de funcionamiento permanezcan sustancialmente sin cambios y la descripción que sigue puede al menos servir como una especificación de requisitos detallados para las funciones que se implementarán en cualquier arquitectura de procesamiento de datos elegida.

A los fines de la descripción que sigue, se asumirán las siguientes convenciones y terminología para el etiquetado de ejes y rotaciones. Los ejes se etiquetarán como 'x', 'y' y 'z' y los ángulos de rotación se etiquetarán como ψ , θ y φ . Donde los ángulos de rotación definidos como ángulos de Euler: ψ es un ángulo acimutal; θ es un ángulo de elevación; y φ es un ángulo de balanceo. Cuando los ejes y las rotaciones se definen con respecto a los ejes de aviónica, se aplicarán las siguientes convenciones:

los ejes se definen con respecto a un origen O de un objeto móvil (por ejemplo, casco o aeronave), el origen O y definiéndose típicamente la dirección de los ejes según criterios mecánicos;

+x es una dirección hacia delante;

+y está a la derecha;

+z es hacia abajo;

+ ψ es una rotación en el sentido de las agujas del reloj ("guiñada") sobre la dirección +z;

+ θ es una rotación en el sentido de las agujas del reloj ("cabeceo") sobre la dirección +y;

+ φ es una rotación en el sentido de las agujas del reloj ("balanceo") sobre la dirección +x.

Por conveniencia, la orientación de un objeto o casco seguido y la orientación de una plataforma o aeronave móvil, en relación con un marco de referencia dado, se definirán utilizando cuaterniones.

En un sistema de visualización típico montado en la cabeza o en el casco, se proporciona una pantalla de guía de ondas o una disposición de pantalla de proyección de visera; generando imágenes visibles para uno o ambos ojos de un usuario. Las imágenes están típicamente en forma de símbolos u otros artefactos de visualización, mostrados para aparecer superpuestos en una escena externa visible a través de la guía de onda o visera transparente, actuando la guía de onda o visera como un combinador. Los símbolos u otros artefactos de visualización pueden incluir desde símbolos monocromos en un conjunto de símbolos predeterminado, datos u otra información de texto hasta imágenes de video a todo color o una vista proporcionada por una cámara de visión nocturna de la escena externa durante el uso nocturno.

Hay dos situaciones particulares en las que se debe tener en cuenta la orientación del casco cuando se posicionan símbolos dentro de una pantalla montada en el casco: visualización de símbolos de una pantalla frontal virtual, alineada geométricamente a una línea central de la aeronave; y la visualización de símbolos de modo que aparezcan en alineación fija con un objeto terrestre u otro objeto en una posición fija con respecto a la Tierra, visible fuera de la aeronave. En cada caso, la orientación de uno o ambos del casco con respecto a la aeronave y la aeronave con respecto a la Tierra puede estar cambiando, el primero potencialmente rápido.

Se conocen diversos sistemas diferentes de seguimiento de cabeza o casco basados en tecnologías de sensores inerciales, tecnologías de sensores no inerciales o una mezcla de tecnologías de sensores inerciales y no inerciales. Por ejemplo, en un sistema de seguimiento de casco para usar en una aeronave u otro tipo de espacio cerrado, se puede usar un sistema de seguimiento óptico que comprende una disposición fija de diodos emisores de luz (LED)

infrarrojos montados en el casco y una serie de cámaras montadas en posiciones conocidas en una cabina del piloto o cabina circundante. La orientación del casco puede rastrearse activando los LED en patrones controlados en un ciclo de pulso regular y procesando las imágenes de la cámara de los LED del casco. Cada ciclo de pulso brinda una oportunidad independiente para determinar la orientación del casco.

5 También se sabe usar una disposición de seguimiento electromagnético o una disposición de seguimiento acústico en tales espacios confinados que comprenden una combinación de sensores y transmisores, con los transmisores montados en el casco y los sensores en posiciones fijas dentro del espacio, o viceversa.

10 Una desventaja de los sistemas de seguimiento ópticos o equivalentes no inerciales cuando se usan con sistemas de visualización es una latencia inherente para determinar las actualizaciones de la orientación del casco. Esta latencia puede agravarse con cualquier latencia inherente en el ajuste de las posiciones de los símbolos en un sistema de visualización asociado, de modo que la respuesta general del sistema a los cambios determinados en la orientación del casco puede causar náuseas al piloto. Esto ocurre cuando los movimientos de la cabeza no resultan en movimientos sustancialmente simultáneos y correspondientes en los símbolos mostrados destinados a aparecer fijos en algún punto de referencia externo. Los intentos de minimizar la latencia en tales aplicaciones han llevado al uso de sensores inerciales en miniatura, ya sean acelerómetros, sensores de inclinación o sensores giroscópicos en miniatura, lo suficientemente pequeños como para ser montados en el casco con dos o tres sensores alineados con los ejes ortogonales ('ejes giroscópicos') respectivos. Los sensores inerciales son capaces de producir datos indicativos de una velocidad de cambio de orientación más rápidamente que los sensores ópticos, magnéticos o acústicos, por ejemplo, son capaces de indicar un cambio de orientación. Sin embargo, los sensores inerciales en miniatura de un tipo adecuado para el montaje del casco pueden emitir datos de velocidad de orientación que sean propensos a errores de sesgo, ruido u otros tipos de errores de 'instalación' o 'desalineación', por ejemplo, surgidos de un montaje impreciso en el casco y la no ortogonalidad de los ejes giroscópicos desde la fabricación.

25 Se sabe combinar sensores inerciales en el casco con un sistema de sensor de orientación de casco no inercial y combinar datos de las dos fuentes en un proceso para calcular y aplicar correcciones a los datos de velocidad del sensor inercial. Esto ayuda a evitar la acumulación de errores al calcular la orientación del casco a partir de las mediciones del sensor inercial.

30 En la presente invención, se ha ideado un método para hacer uso de datos de un sistema de seguimiento no inercial para determinar los errores que normalmente surgirían en tales instalaciones y, por lo tanto, para determinar las correcciones requeridas. Se proporcionan varios componentes de procesamiento para procesar la emisión de datos de esas fuentes de una manera novedosa e inventiva para determinar cualquier error en la emisión de datos de velocidad de los sensores inerciales e implementar correcciones a los datos de velocidad de los sensores inerciales para proporcionar una entrada más confiable a la determinación de la orientación del casco en cualquier momento dado. El método de la presente invención ofrece ventajas sobre enfoques alternativos conocidos para la corrección de errores típicos en instalaciones que usan tales sensores inerciales en miniatura.

40 En la descripción que sigue, las variables de datos se nombrarán según la estructura de nomenclatura <Tratamiento> <Marco de seguimiento> <Tipo de datos> <Fuente de datos> <Marco de referencia> en la que:

45 <Tratamiento> define cualquier procesamiento previo aplicado a los datos, en particular
'f' - indica que los datos se filtran, utilizando una técnica de filtrado conocida o especificada;

<Marco de seguimiento> comprende una letra mayúscula que designa el marco de los ejes que se están rastreando y con los que se relacionan los datos, incluyendo

- 50 'H' - Casquete (ejes con referencia de casco),
- 'G'- Giroscopios montados en el casco (ejes giroscópicos), y
- 'A' - Aeronaves (ejes referenciados por aeronaves);

55 <Tipo de datos> se utiliza para designar datos que definen una 'Velocidad' de cambio, según corresponda;

<Fuente de datos> es una letra minúscula, como subíndice, que define el origen más reciente de los datos, es decir, el sistema del sensor o el paso de procesamiento desde donde se generaron los datos, incluyendo

- 60 'o'- Casco de seguimiento óptico,
- 'g'- Giroscopios montados en casco, y
- 65 'c' - Corrector de datos giroscópicos; y

<Marco de referencia> define el marco de referencia con respecto al cual los datos definen la orientación del *Marco de seguimiento*, incluyendo

'W' - ejes del marco de referencia inercial, también conocidos como 'Ejes mundiales' o 'espacio inercial', y

'A' - ejes fijos a la Aeronave.

Descripción general de los componentes principales

Los componentes centrales y la funcionalidad de una realización ejemplar de un sistema de seguimiento de casco híbrido que puede incorporar de manera beneficiosa la presente invención se describirán ahora con un esquema con referencia a la figura 1. Por conveniencia, la orientación de una entidad de seguimiento con respecto a ejes definidos se expresará como un cuaternión, a menos que se especifique lo contrario.

Con referencia a la figura 1, una arquitectura lógica representa, desde una perspectiva funcional, un conjunto de componentes centrales del sistema de seguimiento de casco híbrido 1 para determinar la orientación del casco en relación con un marco de referencia inercial o en relación con una aeronave anfitrión, según sea necesario. En tal aplicación, el sistema de seguimiento de casco híbrido 1 utiliza datos de sensores de tres fuentes.

- Una disposición de sensores inerciales montados en el casco - Giroscopios montados en el casco 5 - que comprende tres giroscopios en miniatura (giroscopios), por ejemplo, giroscopios de sistemas microelectromecánicos (MEMS), asociado cada uno con uno de los tres ejes giroscópicos nominalmente ortogonales respectivos. Cada giroscopio puede detectar una velocidad de cambio en la orientación del sistema de Giroscopios montados en el casco 5 en el espacio inercial, resuelto a lo largo de su eje giroscópico respectivo. El sistema 5 genera vectores de velocidad $G_{Velocidad}$ a una frecuencia de varios kilohercios, cuyos componentes definen la velocidad de cambio en la orientación del sistema giroscópico 5 detectado por los giroscopios individuales sobre sus ejes giroscópicos respectivos.
- Un sistema de Seguimiento del casco 10 óptico que incluye componentes montados en el casco y en la cabina del piloto de una aeronave para determinar la orientación del H_{oA} del casco, es decir, la orientación de un conjunto de ejes referenciados con el casco en relación con los ejes de la aeronave, y para emitir datos indicativos de una orientación del casco determinado, típicamente a una frecuencia de 180Hz.
- Un Sistema de navegación de aeronaves 15, aunque no suele ser un componente del sistema de seguimiento de casco híbrido 1, basado generalmente en un sistema de sensor inercial que utiliza giroscopios láser. El Sistema de navegación de aeronaves 15 emite datos, de vez en cuando (generalmente una vez cada 20 ms a 90 ms), definiendo la orientación de la aeronave, específicamente de un conjunto de ejes referenciados por la aeronave, en relación con un marco de referencia de navegación, típicamente un marco de referencia que apunta al 'nivel local norte'. El sistema de seguimiento de casco híbrido 1 puede recibir los datos de orientación de la aeronave emitidos por el Sistema de navegación de aeronaves 15 y utilizarlos como una medida de la orientación de la aeronave AW en relación con el marco de referencia inercial. Las variaciones en la alineación del marco de navegación y el marco de referencia inercial debido a la rotación de la Tierra y el movimiento de la aeronave sobre el suelo pueden ignorarse válidamente durante los períodos de tiempo durante los cuales se utilizan estos datos en la presente invención, como quedará claro a partir de la descripción que sigue.

Un sistema de navegación de aeronaves 15 típico tiene una interfaz y emite datos a través de un bus de datos estándar, siendo un ejemplo MIL-STD-1553B, provisto dentro de la aeronave. El Sistema de navegación de aeronaves 15 emite una medida actualizada de la orientación de la aeronave AW sobre el bus de datos para que pueda ser recibida por cualquiera de los sistemas de aeronaves instalados que lo requiera. El sistema de seguimiento de casco híbrido 1, en particular, puede estar vinculado al bus de datos estándar para que también pueda recibir datos actualizados de orientación de la aeronave del Sistema de navegación de aeronaves 15. Sin embargo, como una fuente alternativa de datos que define la orientación de la aeronave en relación con el marco de referencia inercial, una disposición de sensor inercial u otro tipo capaz de determinar la orientación de la aeronave en el espacio inercial se puede montar dentro de la aeronave para su uso por el sistema de seguimiento híbrido 1.

En implementaciones ejemplares de la presente invención, la orientación del casco se determina de forma cíclica, lo que corresponde a la necesidad de reposicionar ciertos tipos de símbolos según el cambio de orientación del casco que se visualiza en una pantalla digital asociada montada en el casco. Durante cada ciclo, que se denominará 'ciclo de seguimiento', la orientación del casco se determina a partir de los datos suministrados por los Giroscopios montados en el casco 5, estando cualquier error en los datos del sensor inercial corregido en primer lugar con referencia a los datos capturados desde los Giroscopios montados en el casco 5 combinados con los datos suministrados por el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico y los datos de orientación de la aeronave recibidos a través del bus de datos. Convenientemente, la duración de un ciclo de seguimiento se puede organizar para que coincida con el período entre actualizaciones de imagen sucesivas en la pantalla digital asociada, aunque esto no es esencial.

En realizaciones de la presente invención, cuando se calculan correcciones a datos de sensores inerciales, por ejemplo, se ha encontrado conveniente trabajar con datos que definen la orientación de un casco tal como lo detectan los diferentes sistemas de sensores asociados (5, 10) referenciados a un marco común de referencia - al marco de

referencia inercial, también denominado en el presente documento "espacio inercial" o "Ejes mundiales". Los datos emitidos por los Giroscopios montados en el casco 5 se relacionan con el movimiento de los giroscopios en el espacio inercial, mientras que los datos emitidos por el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico definen el movimiento del casco en relación con un marco de referencia fijado a la aeronave. Por lo tanto, es deseable relacionar los datos de referencia de la aeronave del Sistema de seguimiento del casco 10 óptico con el espacio inercial. Con este objetivo en mente, se proporciona un Componente de transformación 20 para recibir una medida de la orientación del casco H_{oA} con respecto a la aeronave desde el Sistema de seguimiento del casco 10 óptico expresado como un cuaternión y para transformarlo mediante la multiplicación del cuaternión en una orientación derivada del casco

$$H_{oW} = AW \times H_{oA} \dots\dots\dots(1)$$

en relación con el marco de referencia inercial utilizando la orientación de la aeronave AW recibida sobre el bus estándar del Sistema de navegación de aeronaves 15. Si el Sistema de seguimiento del casco 10 óptico utiliza una convención diferente para definir la orientación utilizada por el Sistema de navegación de aeronaves 15 o por el sistema de Giroscopios montados en el casco 5, luego el Componente de transformación 20 también está dispuesto para convertir la emisión del Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico para expresar la orientación del casco usando la misma convención utilizada por los otros dos sistemas de sensores 5, 15.

En otras aplicaciones de la presente invención, el sistema de seguimiento no inercial asociado con un objeto puede incluir medios adicionales para determinar la orientación de los ejes del sistema de seguimiento no inercial en relación con el marco de referencia inercial en cualquier momento dado para que la transformación en la ecuación (1) pueda llevarse a cabo.

Si es necesario, se pueden aplicar técnicas conocidas para sincronizar los datos que se emiten desde las diversas fuentes de datos, de modo que los datos del Sistema de seguimiento del casco 10 óptico que se utilizan para determinar errores en los datos de velocidad de los Giroscopios montados en el casco 5 se relacionan con los mismos movimientos del casco en el mismo tiempo y de modo que cualquier dato de orientación (por ejemplo, AW) relacionado con una plataforma móvil asociada se sincroniza con la determinación de la orientación del casco por el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico al implementar la ecuación (1).

Como conveniencia adicional, para el procesamiento de datos posterior que combina datos de velocidad de cambio de Giroscopios montados en el casco 5 con datos del Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico, se proporciona un Componente de velocidad de cálculo 25 para 'diferenciar' las mediciones de orientación ópticamente detectadas H_{oW} para proporcionar una velocidad de cambio del vector de orientación $H_{V\text{velocidad}_o}$, durante un intervalo de tiempo predeterminado, que representa un punto en un "espacio de velocidad de orientación derivado del casco". Es decir, los componentes de un vector de velocidad $H_{V\text{velocidad}_o}$ definen las velocidades de cambio derivadas con detección óptica en la orientación del casco en el espacio inercial resuelto a lo largo de los ejes referenciados con el casco.

En una disposición ideal, los ejes de los Giroscopios montados en el casco 3 están sustancialmente alineados con los ejes referenciados con el casco. Sin embargo, en la práctica, es probable que haya diferencias en la alineación u otros errores de fabricación o relacionados con la instalación. La presente invención es capaz de detectar los efectos de tales errores en los datos de velocidad emitidos por los Giroscopios montados en el casco 5 y así determinar las correcciones requeridas para compensar tales errores con un nivel de autoridad configurable. Es decir, diversos procesos configurables operan, como se describirá a continuación, para determinar cuándo y en qué medida se pueden aplicar correcciones determinadas a los datos de velocidad que emiten los Giroscopios montados en el casco 5.

Además de los errores que surgen durante la instalación o la fabricación, los datos de velocidad emitidos por giroscopios en miniatura de un tipo adecuado para el montaje del casco pueden estar sujetos a 'ruido', caracterizado por la distribución en mediciones de velocidad emitidos sobre una serie de vectores de velocidad $G_{V\text{velocidad}_g}$ para un movimiento de casco dado, o incluso cuando los giroscopios son estacionarios. Más significativamente, es probable que la emisión de datos de velocidad de giroscopios individuales también incluya errores de sesgo, típicamente del orden de 0,1 °/min o más, que también pueden cambiar, por ejemplo, con temperaturas variables de los giroscopios, causando errores acumulados en la orientación determinada del casco si no se corrige.

Por estas razones, también se sabe que incluye una disposición de sensor no inercial (en aplicaciones ejemplares de la presente invención, el Sistema de seguimiento del casco 10 óptico proporciona tal disposición de sensor no inercial) para proporcionar datos a partir de los cuales se pueden calcular las correcciones a los datos de la velocidad del giroscopio mediante una técnica innovadora, que se describirá en detalle a continuación. Mediante esta técnica, el cálculo de las correcciones por errores que surgen durante la instalación o la fabricación puede realizarse por separado, y potencialmente solo una vez, a partir del cálculo de las correcciones por sesgo.

Para garantizar que los datos utilizados para calcular las correcciones de datos del giroscopio estén relativamente libres de ruido, reconociendo que una velocidad de cambio de orientación derivada de las mediciones realizadas por el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico también puede estar sujeta a efectos de ruido, los inventores han proporcionado componentes adicionales de filtrado de datos, como se analizará con más detalle a continuación, para

reducir los efectos del ruido en la emisión de datos de velocidad, o derivados de la emisión de los dos sistemas de sensores de orientación del casco 5, 10. En particular, para ayudar a contrarrestar los efectos del ruido en la emisión de datos de velocidad de los Giroscopios montados en el casco 5, se reciben múltiples lecturas de los datos de velocidad de $GVelocidad_g$ de los Giroscopios montados en el casco 5 durante un período de muestreo predeterminado durante cada ciclo de seguimiento y se calcula un vector de velocidad promedio $GVelocidad$, representativo de la muestra.

Se proporciona un componente de procesamiento (Cálculo de correcciones giroscópicas 30) para recibir los vectores de velocidad $HVelocidad_o$ filtrados y los vectores de velocidad giroscópica $GVelocidad$ correspondientes del Giroscopios montados en el casco 5 y para determinar cualquier error relacionado con la instalación o la fabricación en los datos de velocidad giroscópica. Específicamente, tales errores pueden incluir: errores en la alineación de los ejes giroscópicos con los ejes referenciados con casco durante la instalación del sistema de Giroscopio montado en el casco 5 sobre un casco; errores debidos a la no ortogonalidad de los ejes giroscópicos; y errores debido a la escala relativa de las mediciones de velocidad a lo largo de los ejes giroscópicos. El componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 puede calcular una corrección para compensar tales errores de desalineación, de no ortogonalidad o a escala y, por lo tanto, relacionar el movimiento detectado por el sistema de giroscopios 5 con mayor precisión con el movimiento real del casco.

La corrección determinada se aplica luego para ese ciclo de seguimiento mediante un componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35 al vector de velocidad $GVelocidad$ derivado de una muestra respectiva de emisión de vectores de velocidad $GVelocidad_g$ desde los Giroscopios montados en el casco 5.

Si se decide que es poco probable que los errores que surjan de la instalación o fabricación cambien con el tiempo, entonces la corrección que aplicará el componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35 se puede determinar de una vez, por ejemplo, durante un paso inicial de configuración del sistema de visualización del casco, y no actualizarlo después. La corrección determinada puede almacenarse en o en asociación con el casco particular y su sistema de visualización asociado, para ser recuperado y aplicado por el componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35 durante la operación posterior del sistema de visualización del casco 1.

Para corregir el sesgo giroscópico, la corrección determinada también se aplica mediante el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 a un vector $GVelocidad$ filtrado (potencialmente más reciente) que luego se pasa a otro componente de procesamiento, Cálculo de sesgo giroscópico 40, junto con un vector de velocidad sincronizado y filtrado adecuadamente $HVelocidad_o$ aplicable al mismo período de movimiento del casco, para el cálculo de una corrección de sesgo giroscópico. Alternativamente, la corrección calculada por el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 (o de otro modo) puede pasarse al componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40 junto con el vector $GVelocidad$ filtrado para que se aplique la corrección, por ejemplo si el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 ha sido deshabilitado durante el funcionamiento normal.

La corrección de sesgo calculada se agrega mediante un componente sumador 45 a la emisión del vector $GVelocidad$ corregida por el componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35 para dar como resultado una medida completamente corregida de la velocidad de cambio en la orientación del casco tal como lo detectan los Giroscopios montados en el casco 5, expresado como un vector $HVelocidad_c$. El vector de velocidad completamente corregido $HVelocidad_c$ representa un punto en el 'espacio de velocidad de orientación del casco derivado', es decir, un vector cuyos componentes definen una velocidad de cambio de orientación del casco en el espacio inercial, resuelto a lo largo de los ejes referenciados por el casco.

Al corregir completamente los datos de velocidad recibidos de los Giroscopios montados en el casco 5, el beneficio de una mayor velocidad esperada de disponibilidad de datos de Giroscopios montados en el casco 5 puede explotarse con una pérdida mínima de precisión en comparación con la velocidad de disponibilidad de datos típicamente más lenta de ciertos tipos de sistemas de seguimiento no inerciales, como el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico.

Después de aplicar (35, 45) las correcciones a los últimos datos del sensor inercial para dar como resultado el vector de velocidad completamente corregido $HVelocidad_c$, una medida de la orientación del casco HW en relación con el marco de referencia inercial, o ejes Mundiales, se determina mediante la integración en un componente Integrador 50.

Se puede proporcionar un Componente de transformación 60 para transformar la orientación HW relativa a los ejes Mundiales en una orientación de casco HA relativa a los ejes referenciados por la aeronave utilizando la última medida de orientación AW de la aeronave suministrada por el bus de datos de la aeronave estándar por el Sistema de navegación de aeronaves 15.

El período del ciclo de seguimiento del sistema de seguimiento de casco híbrido 1 se selecciona, convenientemente, para satisfacer las necesidades del sistema de visualización asociado u otro usuario de los datos de orientación de casco determinados. En el ejemplo particular de un sistema de visualización digital montado en el casco, es deseable poder actualizar la posición de los símbolos en la visualización dentro de un período de tiempo de no más de 20 ms, pero en la práctica es deseable un período más corto, lo que permite no solo una actualización más rápida de la información mostrada pero también de una reducción correspondiente en el período de Tiempo de predicción T_p .

Como una conveniencia adicional, el período del ciclo de seguimiento puede seleccionarse para corresponder al período entre mediciones sucesivas de orientación del casco por el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico, 5,555 ms en el ejemplo mencionado anteriormente, siendo generalmente menos sensible al movimiento del casco que los Giroscopios montados en el casco 5. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, el período del ciclo de seguimiento no necesita estar relacionado necesariamente con el rendimiento del Sistema de seguimiento del casco 10 óptico. En una disposición alternativa, la velocidad a la que se muestrea la salida de datos de los Giroscopios montados en el casco 5 puede estar configurada para ser un múltiplo de la velocidad a la que los datos están disponibles desde el Sistema de seguimiento del casco 10 óptico, permitiendo una reducción correspondiente en el período del ciclo de seguimiento.

En una realización particular, la salida de datos de los Giroscopios montados en el casco 5 puede muestrearse a 180 Hz, por ejemplo, y el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico puede funcionar a una velocidad más lenta, por ejemplo a 60 Hz, un período de 16,667 ms entre mediciones sucesivas.

Para cualquier ciclo de seguimiento dado, una muestra de datos de velocidad del Giroscopios montados en el casco 5 proporciona una medida *GVelocidad* de datos de velocidad que luego se corrige por completo (35, 45) utilizando las últimas correcciones calculadas para errores. El Integrador 50 utiliza los datos de velocidad corregida *HVelocidad* para determinar las medidas *HW* y *HA* de la orientación del casco para ese ciclo de seguimiento. Sin embargo, los procesos para actualizar las correcciones por errores, calculados por el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 y el componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40, pueden funcionar en un ciclo diferente, un 'ciclo de actualización de correcciones', por conveniencia, correspondiente a la velocidad a la que funciona el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico y, por lo tanto, la velocidad a la que los nuevos datos están disponibles para tales cálculos.

Al describir un ejemplo de realización de la presente invención, se supondrá que el tema de seguimiento del casco 10 óptico se opera a la velocidad del ciclo de seguimiento y que los datos de los sensores de orientación del casco 5, 10 están disponibles para los componentes de cálculo de corrección 30, 40 en la velocidad de ciclo de seguimiento. A continuación, a medida que surjan, se analizarán las variaciones en la operación de diversos componentes del sistema de seguimiento de casco híbrido 1 para permitir que el Sistema de seguimiento del casco 10 óptico funcione a una velocidad diferente a la velocidad del ciclo de seguimiento.

Durante cada 'ciclo de actualización de correcciones', el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30, en particular, recibe uno o más vectores *GVelocidad* generados más recientemente y determina su idoneidad para su uso en un nuevo cálculo de error de 'desalineación' y de su corrección, como se analizará con más detalle a continuación. Cada vez que se dispone de datos *GVelocidad* adecuados, se activa un nuevo cálculo de la corrección, pero el período de tiempo entre las llegadas sucesivas de datos adecuados puede, en principio, extenderse a cualquier número variable de ciclos de actualización de correcciones y, por lo tanto, de ciclos de seguimiento. Durante tales períodos, el componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35 puede necesitar aplicar la misma corrección para cada uno de esos ciclos de seguimiento en espera del cálculo de una actualización. Sin embargo, una alerta puede activarse opcionalmente cuando esta duración alcance un límite de tiempo configurable para evitar la visualización de información engañosa.

También es posible que, de vez en cuando, la salida del Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico no esté disponible temporalmente, por ejemplo, cuando las señales de luz que pasan entre los LED montados en el casco y los sensores montados en la cabina del piloto se bloquean temporalmente por el movimiento de la mano del piloto o de otra manera. En tal situación, la operación del proceso de seguimiento del casco puede entrar en el llamado período de 'inercia' durante el cual se suspende la operación del componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 y el componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40, no habiendo datos nuevos del Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico en los cuales basar los cálculos de corrección. También en esta situación, la corrección que se aplica a los datos *GVelocidad* por el componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35 y la corrección por sesgo giroscópico que aplica el componente sumador 45 sobre los ciclos de seguimiento afectados permanecen sin cambios hasta que los datos del Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico estén disponibles y el ciclo de actualización de correcciones pueda reiniciarse. Un período de inercia puede durar uno o más ciclos de seguimiento, limitado por un período de inercia máximo configurable para garantizar que los errores, en particular los debidos al sesgo giroscópico, no se acumulen a niveles inutilizables.

Sincronización y Filtrado

Como se ha mencionado anteriormente, es conveniente, aunque no esencial, operar un ciclo de actualización de correcciones a la misma velocidad que la velocidad del ciclo de seguimiento. También es conveniente, aunque no esencial, operar el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico a la velocidad del ciclo de seguimiento, estando la velocidad del ciclo de seguimiento limitada a una frecuencia de 180 Hz, en este ejemplo. La velocidad a la que el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico es capaz de medir los cambios en la orientación del casco se consideraría lo suficientemente rápida como para satisfacer las necesidades de una pantalla asociada montada en el casco al reposicionar símbolos en la pantalla y, por lo tanto, con el fin de explicar los principios, la siguiente sección de descripción asumirá estas opciones convenientes para igualar el ciclo de corrección, el ciclo de seguimiento y las

velocidades del sistema de seguimiento del casco óptico. Estas opciones se ilustran en la figura 2, que proporciona una vista de una línea de tiempo del ciclo de actualización de correcciones para el cálculo de las correcciones a los datos de la velocidad giroscópica por el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 y el componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40.

5 Con referencia a la figura 1 y, adicionalmente, a la figura 2, los puntos de tiempo principales se muestran relevantes para el cálculo de las correcciones por errores relacionados con la instalación o la fabricación por el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 y para el cálculo de las correcciones de sesgo giroscópico, y las actualizaciones a los mismos, por el componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40 durante dos ciclos de
10 actualización de correcciones $m-1$ y m , teniendo en este ejemplo el mismo período, 5,555 ms, como el período del ciclo de seguimiento elegido. Para calcular y actualizar las correcciones por el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 y/o por el componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40, los requisitos de sincronización son ligeramente diferentes a los del componente Integrador 50 que funciona para rastrear ciclos usando datos de velocidad giroscópica corregidos sincronizados hasta el final de cada ciclo de seguimiento respectivo.

15 En particular, los cálculos de las correcciones de error giroscópico por los componentes 30, 40 requieren, como entrada, datos de velocidad de orientación filtrada $HVelocidad_o$, derivados (25) utilizando medidas H_oW sucesivas de la salida de datos de orientación por el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico, sustancialmente sincronizado con datos filtrados $GVelocidad$ capturados desde el Giroscopios montados en el casco 5, asegurando que las dos
20 medidas de entrada se relacionen con el mismo período de movimiento del casco. Aquellos datos que forman una entrada a los componentes de cálculo de corrección 30, 40 no se relacionan necesariamente con el ciclo de seguimiento 'actual' durante el cual se generará un vector de velocidad completamente corregido $HVelocidad_c$, pero deben sincronizarse entre sí. Además, los datos de orientación de la aeronave AW emitidos por el Sistema de navegación de aeronaves 15 y utilizados para derivar la orientación del casco H_oW también deben ser válidos en el
25 momento de validez de los datos de orientación del casco H_oA emitidos por el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico, es decir, en los puntos de tiempo $H_oA(m-1)$, $H_oA(m)$, etc. respectivos.

Los datos de velocidad de cambio $HVelocidad_o$ derivados del componente de velocidad de cálculo 25 se basan en el cambio en la orientación del casco H_oW en el espacio inercial derivado de pares de medidas sincronizadas sucesivas
30 de H_oA y AW , válido en los puntos de tiempo $H_oA(m-1)$, $H_oA(m)$ por ejemplo. La velocidad derivada $HVelocidad_o$ se supone válida en un punto de tiempo $HVelocidad_o(m-1)$ a medio camino entre los puntos de tiempo $H_oA(m-1)$, $H_oA(m)$ del par respectivo; $HVelocidad_o(m)$ es el tiempo de validez del vector de frecuencia $HVelocidad_o$ derivado durante el siguiente ciclo de actualización de correcciones.

35 Como se ha mencionado anteriormente, se aplica un primer tipo simple de filtrado (mediante la determinación de un promedio) a cada muestra de los datos básicos de la velocidad giroscópica $GVelocidad_g$ capturados durante un período de muestra 85 respectivo. Se supone que el vector de velocidad giroscópica promedio $GVelocidad$ es válido, para los fines de cálculo de correcciones de error, en un punto de tiempo $GVelocidad(m-1)$, $GVelocidad(m)$, etc. a mitad del período de muestra 85 respectivo. Como se puede ver en la figura 2, los puntos de validez $GVelocidad(m-1)$ y
40 $HVelocidad_o(m-1)$, $GVelocidad(m)$ y $HVelocidad_o(m)$ no están exactamente alineados, pero se consideran suficientemente cercanos en el tiempo dentro de sus ciclos respectivos para sincronizarse.

Para lograr estos diversos requisitos de correlación y sincronización, se pueden incorporar componentes funcionales
45 adicionales en la arquitectura lógica de la figura 1, como se describirá ahora con referencia a la figura 3 en otro ejemplo de realización de la presente invención.

Con referencia a la figura 2 y adicionalmente a la figura 3, una arquitectura lógica representa, desde una perspectiva funcional, el conjunto de componentes centrales del sistema de seguimiento de casco híbrido 1 como se muestra en
50 la figura 1 usando los mismos números de referencia, junto con componentes funcionales adicionales para procesamiento previo, filtrado y sincronización de datos, asegurando que las fuentes de datos con reducción de ruido y las funciones de seguimiento estén sincronizadas según los principios descritos anteriormente.

Como se ha mencionado anteriormente, se aplica un primer tipo simple de filtrado a la muestra de vectores de velocidad $GVelocidad_g$ para reducir el ruido. Por lo tanto, se proporciona un componente de filtro 100 en la salida de
55 los Giroscopios montados en el casco 5 para capturar una muestra de datos de velocidad $GVelocidad_g$ durante el intervalo de tiempo 85 predeterminado y para calcular un vector de velocidad promedio $GVelocidad$ respectivo para la muestra.

Al derivar una velocidad de cambio en el vector de orientación del casco $HVelocidad_o$ aplicable a un ciclo de
60 actualización de correcciones m retrasadas, el componente de Velocidad de cálculo 25 usa las dos salidas anteriores de orientación del casco H_oW en relación con los ejes Mundiales del componente de Transformación 20 que, con respecto al ciclo de actualización de correcciones m retrasadas, son aquellas sincronizadas al final de los ciclos de actualización de correcciones $m-1$ y $m-2$.

Se puede aplicar un tipo adicional de filtrado tanto a los vectores $GVelocidad$ como a los vectores de velocidad de
65 cambio de orientación $HVelocidad_o$ derivados por el Componente de velocidad de cálculo 25 para reducir el ruido en

los datos de velocidad respectivos. Se proporciona un componente de filtro 115 para recibir los vectores *HVelocidad*_o del Componente de velocidad de cálculo 25 e implementar un filtro convencional de Respuesta de impulso finito (FIR) con ponderación de media onda sinusoidal, por ejemplo, manteniendo un historial de vectores *HVelocidad*_o calculado sobre ciclos de actualización de correcciones recientes y aplicando la ponderación de media onda sinusoidal a la contribución relativa de un vector de velocidad *HVelocidad*_o calculado actualmente y los vectores históricos para dar como resultado un vector de velocidad filtrada *fHVelocidad*_o. La velocidad filtrada *fHVelocidad*_o se pone a disposición del componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 y del componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40. Se proporciona un componente de filtro equivalente 120 para llevar a cabo sustancialmente el mismo procesamiento que el componente de filtro 115 una vez que los vectores *GVelocidad* salen de la primera etapa de Componente de filtro 100. El vector de velocidad de filtrado resultante *fGVelocidad* se pasa al componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30. Como alternativa a un filtro FIR, cada uno de los Componentes de filtro 115, 120 puede implementar un filtro de Respuesta de impulso infinito (IIR) con el beneficio de la reducción de los requisitos de procesamiento de datos.

Se puede aplicar una etapa final de filtrado a la orientación del casco *HA* con respecto a los ejes de la aeronave emitidos por el integrador 50 en un Componente de filtro 125. Esta etapa final de filtrado se puede lograr en un filtro de paso bajo con latencia ajustable, por ejemplo un Filtro FIR Hanning.

Cálculo de correcciones de datos de velocidad giroscópica

En una instalación ideal de los Giroscopios montados en el casco 5 sobre un casco, los ejes de los giroscopios deben ser perfectamente ortogonales y alineados con los ejes referenciados por el casco utilizados por el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico. Sin embargo, en la práctica esa instalación ideal no se ha alcanzado. El componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 opera durante varios ciclos de actualización de correcciones que, como se ha analizado anteriormente, pueden tener la misma duración que el período del ciclo de seguimiento o algún múltiplo predeterminado del mismo, para recopilar datos de los sensores de orientación del casco 5, 10 y para calcular las correcciones que pueden aplicarse (35) a los últimos datos *GVelocidad* en un ciclo de seguimiento actual y simular la instalación giroscópica ideal.

El componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40 usa la corrección calculada por el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 en un método para calcular un ajuste para el último sesgo giroscópico que se agregará (45) al vector *GVelocidad* corregido en el ciclo de seguimiento actual.

Se describirá ahora un método de la invención ejemplar para determinar las correcciones a aplicarse según una realización ejemplar de la presente invención. Mientras que el método que se describirá se aplica en el contexto de un sistema de seguimiento de casco que opera en una plataforma móvil, será evidente para una persona con habilidades ordinarias en el campo de la tecnología de seguimiento que el método cíclico de corrección giroscópica que se describirá a continuación puede aplicarse a la determinación de correcciones a la salida de datos por parte de cualquier sistema de sensor inercial con respecto a un objeto, haciendo uso de la velocidad de orientación de los datos de cambio derivables de otro sistema sensor asociado con el objeto, ya sea inercial o no inercial, capaz de proporcionar una indicación cíclica correspondiente de la velocidad de cambio en la orientación del objeto en el espacio inercial.

El método implementado por el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 se basa en el ensamblaje y el mantenimiento, a lo largo de varios ciclos de actualización de correcciones de un conjunto de muestras de datos de velocidad giroscópica *fGVelocidad* filtrada (120), satisfaciendo criterios de selección predeterminados, a partir de los cuales una evaluación precisa se puede determinar la extensión de la no ortogonalidad de los ejes giroscópicos y su desalineación con respecto a los ejes referenciados por casco del Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico. El cálculo de una corrección, o una actualización de una corrección, se desencadena por el ensamblaje o una actualización del conjunto de muestras.

La corrección calculada comprende un mapeo de vectores que unen puntos de disposición en el espacio de velocidad giroscópica representado por el conjunto ensamblado de vectores de velocidad giroscópica *fGVelocidad* sobre un conjunto correspondiente de vectores que unen una disposición correspondiente de puntos representados por vectores de velocidad *fHVelocidad*_o en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado. Un beneficio clave en este enfoque es la capacidad, en un único mapeo, de compensar los efectos de una desalineación rotacional de los ejes giroscópicos, cualquier no ortogonalidad de los ejes giroscópicos y el escalado relativo de los ejes giroscópicos. Además, mediante este método, el cálculo de las correcciones para tal instalación o defectos relacionados con la fabricación se puede determinar por separado de las correcciones por sesgo, y potencialmente solo una vez para un sistema de seguimiento de casco híbrido 1 dado.

Esta capacidad de corregir dinámicamente un error de desalineación potencialmente cambiante es de particular beneficio en una gama más amplia de aplicaciones en las que se utilizan giroscopios en miniatura en condiciones en las que la alineación giroscópica puede cambiar durante el uso con respecto a una alineación de referencia, por ejemplo debido a un impacto o montaje insuficientemente rígido de los giroscopios en relación con un marco de referencia del objeto. En tal caso, el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 puede funcionar continuamente.

El conjunto de muestra se ensambla a partir de datos seleccionados de cuatro ciclos diferentes. Es decir, un conjunto de cuatro vectores de *fGVelocidad* filtrados que satisfacen los criterios de selección y generados durante cuatro ciclos de seguimiento diferentes se combinan con cuatro vectores de orientación de velocidad de cambio filtrados *fHVelocidad*, derivados de las mediciones *H_oA* del Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico, sincronizados con los cuatro Vectores *fGVelocidad* seleccionados por las técnicas descritas anteriormente. Los cuatro vectores *fGVelocidad* seleccionados definen cada uno puntos en el "espacio de velocidad giroscópica". Es decir, los componentes de un vector de velocidad de *fGVelocidad* definen las velocidades de cambio en la orientación del sistema de sensor de Giroscopio montado en el casco 5 en el espacio inercial resuelto a lo largo de los tres ejes giroscópicos.

Los criterios de selección para la aceptación de un vector *fGVelocidad* en el conjunto de muestras se relacionan con las posiciones relativas de los cuatro puntos que definen en el espacio de velocidad giroscópica, la distancia entre ellos y las magnitudes de los propios vectores *fGVelocidad*. Para que un nuevo vector *fGVelocidad* califique para su inclusión en el conjunto y reemplace el más antiguo de los cuatro vectores existentes, el vector que une el punto representado por el nuevo vector *fGVelocidad* con uno de los tres puntos más recientes del conjunto (un punto de 'referencia' designado) se requiere que sea razonablemente ortogonal al plano de los otros tres puntos y que exceda una magnitud mínima predeterminada. También se requiere que cada vector *fGVelocidad* seleccionado satisfaga la condición de que su magnitud individual se encuentre dentro de un rango predeterminado. Los vectores que vinculan el punto de 'referencia' seleccionado con los otros tres puntos en un conjunto seleccionado por estos criterios definen tres bordes de una forma tetraédrica, los cuatro puntos mismos forman los vértices de tal forma. Cuando se selecciona un vector *fGVelocidad*, el vector de velocidad *fHVelocidad*, que tiene el mismo punto de validez temporal que el vector *fGVelocidad* seleccionado también se selecciona para el conjunto. El vector *fHVelocidad*, que tiene el mismo punto de validez temporal que el del vector *fGVelocidad* que forma el punto de 'referencia' en el espacio de velocidad giroscópica se considera el punto de 'referencia' en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado.

Los inventores de la presente invención se han dado cuenta de que al trabajar con vectores que unen puntos en el espacio de velocidad, en lugar de los propios vectores de velocidad, es posible aislar errores debido a desalineación y escalado, relacionados con la instalación o fabricación de los Giroscopios montados en el casco 5, por errores debidos al sesgo giroscópico. El error y, por lo tanto, la corrección requerida, debido a la instalación o fabricación de los Giroscopios montados en el casco 5, pueden representarse mediante una matriz de corrección según sea necesario para alinear la disposición substancialmente tetraédrica de tres vectores de enlace en el espacio de velocidad giroscópica a los tres vectores de enlace sincronizados en el tiempo en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado.

La matriz de corrección se aplica mediante el componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35 al vector *GVelocidad* recibido con respecto al último ciclo de seguimiento. La matriz de corrección también es utilizada por el componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40 para determinar el error de sesgo y, por lo tanto, la corrección de sesgo que debe agregar el componente de suma 45 a la salida del componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35.

Para determinar el error de sesgo, se aplica una corrección basada en la matriz de corrección más reciente al vector *fGVelocidad* filtrado (120) disponible más recientemente para el cual está disponible un vector *fHVelocidad*, sincronizado y filtrado (115) correspondientemente, dando un punto en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado. El error de sesgo se representa entonces mediante la corrección del vector residual requerida para mapear ese punto en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado al punto representado por el vector *fHVelocidad*, sincronizado correspondientemente.

Para ensamblar y mantener tal conjunto de vectores *fGVelocidad* y *fHVelocidad*, el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 está dispuesto, durante cada ciclo de actualización de correcciones, para probar cada vector *fGVelocidad* recién recibido del Filtro 120 con respecto a los vectores *fGVelocidad* generados previamente según los criterios de selección anteriores. Por ejemplo, suponiendo que se debe ensamblar un nuevo conjunto de muestras desde el inicio o el reinicio del sistema, el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 está dispuesto para implementar el siguiente procedimiento:

(1) Si la magnitud de un último vector *fGVelocidad* recibido está por debajo de un máximo predefinido, se envía para su inclusión en el conjunto de puntos de muestra en el espacio de velocidad giroscópica. En la primera vez, por ejemplo, después del encendido o reinicio del sistema, el vector *fGVelocidad* recibido y el último vector *fHVelocidad*, recibido correspondiente se seleccionan como los puntos de 'referencia' en el conjunto de muestras en sus respectivos espacios de velocidad.

(2) Al recibir otro vector *fGVelocidad*, definiendo un nuevo punto en el espacio de velocidad giroscópica, si la magnitud del vector que une el nuevo punto al punto de referencia en el espacio de velocidad giroscópica excede un mínimo predefinido, el nuevo punto se convierte entonces en el punto de referencia y su desplazamiento del vector desde el punto de referencia anterior es el primer vector de enlace en el espacio de velocidad giroscópica. El vector *fHVelocidad*, correspondiente también se selecciona y se convierte en el nuevo punto de referencia en

el espacio de velocidad de orientación del casco derivado, el desplazamiento del vector del nuevo al punto de referencia anterior se convierte en el primer vector de enlace en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado.

5 (3) Probar cada vector $fGVelocidad$ recibido posteriormente hasta que se encuentre uno para el cual la magnitud de un vector que une el nuevo punto al punto de referencia en el espacio de velocidad giroscópica exceda el mínimo predefinido y el nuevo vector sea razonablemente ortogonal al primer vector de enlace. El último punto que
 10 satisface estos criterios se convierte en el nuevo punto de referencia, dando dos vectores de enlace razonablemente ortogonales en el espacio de velocidad giroscópica. El vector $fHVelocidad_0$ correspondiente también se selecciona y se convierte en el nuevo punto de referencia en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado.

15 (4) Probar cada vector $fGVelocidad$ recibido posteriormente hasta que se encuentre uno para el cual la magnitud del vector que une el nuevo punto con el punto de referencia en el espacio de velocidad giroscópica exceda el mínimo predefinido y el nuevo vector sea razonablemente ortogonal al plano de los dos primeros vectores de enlace. El último punto se convierte entonces en el nuevo punto de referencia en el espacio de velocidad giroscópica. El vector $fHVelocidad_0$ correspondiente también se selecciona y se convierte en el nuevo punto de
 20 referencia en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado. Esto da como resultado un conjunto de cuatro puntos en el espacio de velocidad giroscópica y un conjunto correspondiente de cuatro puntos en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado, definiendo cada conjunto de cuatro puntos tres vectores de enlace que se extienden desde el punto de referencia a los otros tres puntos en el espacio de velocidad respectivo.

25 Los parámetros que definen la magnitud 'mínima' y 'razonablemente ortogonal' se definen durante un proceso de configuración del sistema, siendo el objetivo de garantizar que los vectores resultantes que unen los cuatro puntos en el espacio de velocidad giroscópica tengan una configuración tetraédrica 'razonablemente', es decir, cada punto se encuentra en al menos una distancia mínima lejos del plano de los otros tres puntos.

30 Durante cualquier ciclo de actualización de correcciones, puede haber más de un nuevo vector $fGVelocidad$ disponible, por ejemplo, donde el período del ciclo de seguimiento (que coincide con el período entre muestras sucesivas de datos de velocidad de los Giroscopios montados en el casco 5) es una fracción predeterminada del período de actualización del ciclo de correcciones (que coincide con el período entre mediciones sucesivas de orientación del casco por el Sistema de Seguimiento del casco 10 óptico). Opcionalmente, todos los vectores $fGVelocidad$ disponibles durante cualquier ciclo de actualización de correcciones pueden ser probados para su aceptación en el conjunto de muestras hasta que se acepte al menos uno según los criterios de selección, o solo se puede seleccionar un vector $fGVelocidad$ para probar durante cada ciclo de actualización de correcciones.

35 Cuando se ha adquirido un conjunto de cuatro puntos en el espacio de velocidad giroscópica (vectores $fGVelocidad$) y cuatro puntos correspondientes en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado (vectores $fHVelocidad_0$) que satisfacen los criterios de selección, se activa el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 para comenzar un nuevo cálculo de la corrección por desalineación.

Las actualizaciones de un conjunto de muestras ya ensamblado se realizan según el siguiente paso:

40 (5) Probar cada vector $fGVelocidad$ recibido posteriormente de la misma manera para determinar si el nuevo vector es adecuado. Es decir:

- 45 • La magnitud de un vector que une el nuevo punto al punto de referencia en el espacio de velocidad excede el mínimo predefinido;
- La dirección del vector que une el punto de referencia y el nuevo punto es razonablemente ortogonal al plano de los dos vectores de enlace anteriores en el espacio de velocidad giroscópica, es decir, los vectores formados por los tres puntos aceptados más recientemente.
- 50 • Si se acepta, el último vector $fGVelocidad$ define el punto de referencia y su separación de vectores del punto de referencia anterior reemplaza al más antiguo de los tres vectores de enlace en el espacio de velocidad giroscópica. El vector $fHVelocidad_0$ correspondiente también se selecciona y se convierte en el punto de referencia en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado, reemplazando el punto más antiguo en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado.

55 El número de ciclos de actualización de correcciones necesarios para ensamblar un conjunto de cuatro vectores $fGVelocidad$ adecuados depende del tipo de movimiento del casco que tenga lugar en ese momento y, por lo tanto, puede variar. El número necesario de ciclos de actualización de correcciones puede reducirse si hay más de un nuevo vector $fGVelocidad$ disponible durante cada ciclo de actualización de correcciones, por ejemplo, si han transcurrido
 60 múltiples ciclos de seguimiento dentro del período de un ciclo de actualización de correcciones, y si el movimiento del casco en ese momento da como resultado la variación requerida entre muestras sucesivas de vectores $GVelocidad_g$.

65 La aceptación de un nuevo vector $fGVelocidad$ en un conjunto de muestra existente de cuatro puntos desencadena un nuevo cálculo por parte del componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 durante el cual se calcula una matriz de corrección 3×3 M , que representa una transformación para alinear el conjunto de tres vectores de enlace en el espacio de velocidad giroscópica a los tres vectores de enlace correspondientes en el espacio de velocidad de

orientación del casco derivado.

Se pueden aplicar diversas técnicas para controlar la introducción de una actualización a una matriz de corrección M por el componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35 para un ciclo de seguimiento dado. Se puede aplicar una combinación de control de estabilización y técnicas de amortiguación, por ejemplo, dentro del componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35, con el objetivo de reducir el impacto de oscilaciones correctivas potencialmente grandes en el reposicionamiento de símbolos en una visualización asociada de símbolos seguidos mientras los datos $fGVelocidad$ se están recopilando y se está refinando la calidad del conjunto de muestras ensamblado y, por lo tanto, de las correcciones calculadas. Según la técnica de control de estabilización aplicada, una proporción decreciente de una corrección determinada durante un ciclo de actualización de correcciones actual se mezcla con una proporción correspondientemente creciente de la corrección determinada durante el ciclo de actualización de correcciones inmediatamente anterior. Esto proporciona una corrección relativamente grande en el primer ciclo de corrección y correcciones sucesivamente más pequeñas en los ciclos de corrección posteriores, momento en el cual se puede esperar que el sistema se haya estabilizado. Mientras tanto, en el nivel del ciclo de seguimiento, un proceso de amortiguación aplica gradualmente una corrección recién determinada en varios ciclos de seguimiento para que no solo la altura de cada nuevo paso correctivo disminuya en varios ciclos de actualización de correcciones, por el proceso de control de estabilización, sino cada paso correctivo también se introduce gradualmente en varios de los ciclos de seguimiento que intervienen, evitando de este modo que se aplique una corrección abrupta a los datos de velocidad giroscópica (y, por lo tanto, al reposicionamiento de símbolos en la pantalla) mientras se estabiliza la corrección.

El cálculo de correcciones y la aplicación de técnicas de estabilización y amortiguación según la presente invención se describirán ahora con más detalle.

Habiendo desencadenado un nuevo cálculo de correcciones mediante una actualización aceptable del conjunto de muestras, el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 primero calcula una nueva matriz de desalineación *Desalineación* según:

$$Desalineación = DHR \cdot DGr-1 \dots\dots\dots (2)$$

donde

- DGr es una matriz de 3x3 cuyas columnas comprenden los tres vectores de enlace en el espacio de velocidad giroscópica expresados como vectores de columna; y
- DHR es una matriz de 3x3 cuyas columnas comprenden los tres vectores de enlace correspondientes en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado expresado como vectores de columna.

En una instalación de seguimiento de casco típica, es probable que la matriz de desalineación *Desalineación* permanezca sustancialmente sin cambios de un ciclo de corrección al siguiente, habiéndose estabilizado. Sin embargo, hasta que se logre la estabilización, a medida que se recopilen más datos, la matriz de desalineación calculada *Desalineación* se actualizará, posiblemente esporádicamente, pero gradualmente se estabilizará en una matriz que representa la corrección de desalineación giroscópica 'verdadera'. El tiempo requerido para lograr la estabilización depende del tipo de movimiento del casco que tenga lugar. Durante ese tiempo, mediante la técnica de control de estabilización mencionada anteriormente y que se describirá a continuación, se puede aplicar algún control para reducir los efectos potenciales en un sistema de visualización asociado, por ejemplo, de las correcciones esporádicas en evolución. Una vez que se logra la estabilización, es probable que la matriz de desalineación *Desalineación* solo cambie significativamente si hay un impacto u otra causa de un cambio en la alineación de los Giroscopios montados en el casco 5 en el casco si no se fija firmemente. Sin embargo, en otras aplicaciones de la presente invención, por ejemplo, a un sistema de seguimiento montado en la cabeza destinado a usarse con pantallas montadas en la cabeza para juegos de ordenador, es posible que sea necesario realizar ajustes frecuentes en las correcciones de desalineación que se calcularán y aplicarán. La presente invención proporciona los medios para realizar esos ajustes automáticamente, cuando sea necesario, siempre que el marco de referencia del casco y, por lo tanto, el marco de referencia del sistema de seguimiento no inercial (10) asociado permanezca fijo.

Después de calcular una matriz de desalineación *Desalineación* del último conjunto de muestras de vectores de velocidad, se calcula una nueva matriz de corrección M , aplicando la técnica de control de estabilización, según la ecuación:

$$M = dM \cdot Desalineación + (1 - dM) \cdot GDesalineación \dots\dots\dots (3)$$

donde M es la nueva matriz de corrección, $GDesalineación$ es la matriz de desalineación del ciclo de actualización de correcciones inmediatamente anterior y dM define una proporción de la contribución a la matriz de corrección M por la nueva matriz de desalineación calculada *Desalineación* versus la contribución de una corrección de desalineación $GDesalineación$ inmediatamente anterior. El parámetro dM comienza en un valor relativamente alto (cercano a 1), lo que permite un efecto correctivo relativamente grande en el primer ciclo de actualización de correcciones por una matriz de desalineación recién calculada *Desalineación*, pero la contribución de las actualizaciones calculadas

sucesivamente a la matriz *Desalineación* se reduce en etapas a un valor mínimo predefinido en comparación con el efecto correctivo proporcionado por la actualización inmediatamente anterior a la matriz *Desalineación*, a medida que evoluciona la corrección. Esto tiene el efecto de reducir la "amplitud" máxima de las correcciones posteriores definidas por las actualizaciones de la matriz *M*.

5 Entre las actualizaciones de la matriz de corrección *M*, el proceso de amortiguación mencionado anteriormente se aplica mediante el componente de Cálculo de correcciones giroscópicas 30 para introducir cada nueva corrección representada por la matriz *M* gradualmente durante varios ciclos de seguimiento. Mediante este proceso, la corrección real *GDesalineación'* que debe aplicar el componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35 a los datos *GVelocidad* para el último ciclo de seguimiento se calcula según la ecuación:

$$GDesalineación' = (1 - k_M) \cdot GDesalineación + k_M \cdot M \dots\dots\dots(4)$$

15 donde *GDesalineación'* es la matriz de corrección que se utilizará con respecto al último ciclo de seguimiento, *GDesalineación* es la matriz de corrección del ciclo de seguimiento anterior, *k_M* es una constante de integración configurada previamente fija para la corrección de desalineación y *M* es la matriz de corrección determinada por la ecuación (3) para el ciclo actual de actualización de correcciones. El proceso de amortiguación es un proceso iterativo en el que la matriz de corrección *GDesalineación'* reemplaza a *GDesalineación* en la ecuación (4) al determinar la corrección que se aplicará para el siguiente ciclo de seguimiento, de modo que la corrección representada por *GDesalineación* converja gradualmente a la corrección representada por *M* sobre un número de ciclos de seguimiento, o hasta que se active un nuevo cálculo de correcciones y se vuelva a calcular la matriz de corrección *M*.

20 Para cada nuevo ciclo de seguimiento para el que está disponible un nuevo vector de velocidad filtrada *fHVelocidad_o* desde el componente de filtro 115, sincronizado con el vector de velocidad giroscópica filtrado *fGVelocidad* de ese nuevo ciclo de seguimiento, la última matriz de corrección *GDesalineación'*, calculada según la ecuación (4), se aplica mediante el componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40 al vector de velocidad giroscópica filtrado *fGVelocidad* para dar un punto en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado. El componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40 calcula un nuevo vector de corrección de sesgo *B* como la traslación del vector *B* en el espacio de velocidad de orientación del casco derivado entre el punto representado por el vector *fGVelocidad* corregido y el punto representado por el vector de velocidad sincronizada *fHVelocidad_o* correspondientemente según la ecuación:

$$B = fHVelocidad_o - GDesalineación' \cdot fGVelocidad \dots\dots\dots(5)$$

35 El sesgo giroscópico tiende a estar relacionado con la temperatura y, por lo tanto, cambia relativamente lentamente, pero la corrección de sesgo se calcula en cada ciclo de seguimiento para el cual un nuevo par sincronizado de vectores de velocidad filtrada *fHVelocidad_o* y *fGVelocidad* está disponible para el componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40. El componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40 puede aplicar un proceso de amortiguación iterativo, similar al aplicado a la matriz de corrección *M* según la ecuación (4) a la aplicación de cada nueva corrección de sesgo *B* para suavizar la aplicación de una nueva corrección de sesgo durante varios ciclos de seguimiento. Mediante este proceso, la salida del vector de corrección de sesgo real por el componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40, que se aplicará mediante el componente sumador 45 a la salida del vector *GVelocidad* corregido por el componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35, se calcula según la ecuación:

$$GSesgo' = (1 - k_B) \cdot GSesgo + k_B \cdot B \dots\dots\dots(6)$$

45 donde *GSesgo'* es el vector de corrección de sesgo que se aplicará con respecto al último ciclo de seguimiento completo, *k_B* es una constante de integración configurada previamente para la corrección de sesgo, *GSesgo* es el vector de corrección de sesgo del ciclo de seguimiento completo inmediatamente anterior y *B* es el nuevo vector de corrección de sesgo determinado por la ecuación (5). Como este proceso de amortiguación es un proceso iterativo, *GSesgo'* reemplaza a *GSesgo* en la ecuación (6) al determinar el vector de corrección de sesgo que se aplicará para el siguiente ciclo de seguimiento, de modo que la corrección representada por *GSesgo* converja gradualmente a la corrección de sesgo requerida en un número de ciclos de seguimiento. La constante *k_B* se elige para garantizar que las correcciones de sesgo aplicadas se mantengan al ritmo de la deriva de sesgo pero supriman el ruido. Sin embargo, la precisión de la corrección de sesgo aplicada depende de la precisión de la matriz de corrección de desalineación *M*. La precisión de eso mejora con la captura de más datos y, por lo tanto, lo mismo ocurre con las correcciones de sesgo.

60 Como alternativa al uso de un valor fijo para el parámetro *k_B* en la ecuación (6), que puede dar lugar a una gran cantidad de ciclos para que el vector de sesgo converja a un estado válido después de la inicialización de los componentes de cálculo de corrección 30, 40, el parámetro *k_B* puede reemplazarse en la ecuación (6) por el valor *1/n*, donde *n* es el número de cálculos de sesgo completados por el componente 40 para el cual *1/n > k_B*. Como resultado, las primeras *n* iteraciones de la ecuación (6) devolverán el vector de sesgo promedio acumulativo. Para iteraciones posteriores, la ecuación (6) puede aplicarse usando el valor constante *k_B* para dar una transición suave al filtrado exponencial. Por lo tanto, el vector de sesgo estará cerca de su valor calculado desde el principio y puede usarse sin esperar a que converja el proceso de suavizado.

Cuando el componente sumador 45 agrega el vector de corrección de sesgo $GSesgo'$ a la salida del componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35, el resultado es, cuando se estabiliza, una velocidad de cambio completamente corregida en el vector de orientación del casco

$$5 \quad HVelocidad_c = GDesalineación' \cdot GVelocidad + GSesgo' \dots\dots\dots(7)$$

para el último ciclo de seguimiento.

10 La matriz de corrección M se puede inicializar, para fines de encendido o reinicio del sistema, a un estado nominal en el momento de la configuración del sistema, lo que representa una mejor estimación de la desalineación entre los ejes giroscópicos y los ejes referenciados con casco obtenido de datos de calibración o diseño fuera de la aeronave. El vector de corrección de sesgo B puede inicializarse tras el inicio del sistema o restablecerse para representar un desplazamiento cero.

15 Como se ha mencionado anteriormente, como alternativa a operar un proceso dinámico de cálculo de desalineación giroscópica o errores de escala, si es improbable que tales errores varíen durante la operación en una aplicación particular, la matriz de corrección M puede determinarse mediante pruebas anteriores a la operación del sistema de seguimiento y almacenarse para su posterior recuperación y aplicación en el supuesto de que no será necesario cambiarlo. El componente de Correcciones giroscópicas de aplicación 35 puede aplicar entonces la matriz de
 20 corrección de desalineación M predeterminada a los datos de velocidad giroscópica $GVelocidad$ recibidos en cada ciclo de seguimiento. El componente de Cálculo de sesgo giroscópico 40 puede operar en cada ciclo de seguimiento para compensar la deriva de sesgo, pero utilizando la matriz de corrección de desalineación M predeterminada en el cálculo de cualquier actualización del vector de corrección de sesgo B . La aplicación de las técnicas de estabilización y amortiguación descritas anteriormente con respecto a la matriz de corrección M también puede suspenderse durante
 25 la operación en estado estacionario.

El componente integrador 50 recibe la velocidad de cambio completamente corregida en el vector de orientación del casco $HVelocidad_c$ con respecto al último ciclo completo de seguimiento y lo inserta en un proceso de integración para
 30 determinar una orientación del casco en relación con los ejes Mundiales expresados como un cuaternión HW . Esto se puede convertir en una orientación HA relativa a un marco de referencia de la aeronave u otra plataforma asociada, ya sea fija o en movimiento, utilizando datos de orientación AW emitidos por el Sistema de navegación de aeronaves 15 u otro sistema de sensores, según sea necesario. La representación de orientación del cuaternión resultante también se puede convertir en una representación de orientación de eje angular, según se requiera.

35 A continuación se describirá una implementación típica de un sistema de seguimiento de casco que incorpora la funcionalidad de corrección del sensor inercial de la presente invención con referencia a la figura 4.

Con referencia a la figura 4, se muestra un sistema de seguimiento de casco integrado con un casco 150. El sistema de seguimiento de casco comprende un componente de Giroscopios montados en el casco 5, típicamente un único
 40 módulo de sensor inercial que contiene tres elementos giroscópicos, montados en la carcasa externa del casco 150, y un Sistema de seguimiento del casco óptico. El Sistema de seguimiento del casco óptico comprende una disposición de LED 155 integrados dentro o montados sobre la carcasa externa del casco 150 y una disposición de una o más cámaras 160, estando cada una montada en una posición fija, por ejemplo dentro de la cabina de piloto de una aeronave, de modo que tengan una vista de línea de visión de al menos algunos de los LED 155 en cualquier
 45 orientación probable del casco 150.

Un controlador de seguimiento de casco 165 óptico está conectado a cada una de las cámaras 160 para recibir datos de imagen resultantes de la detección de luz emitida por los LED 155 dentro de la línea de visión de la cámara. El controlador 165 también está conectado a los LED 155 en el casco 150 por medio de un cable 170 adecuado de modo
 50 que pueda controlar la iluminación de los LED 155. El controlador 165 está dispuesto, por ejemplo, para activar una iluminación cíclica de los LED 155 en patrones predeterminados, para recibir los datos de imagen resultantes de las Cámaras 160. El Controlador 165 incluye un procesador digital programado para implementar un algoritmo de Seguimiento de casco óptico apropiado, o una combinación de funcionalidad implementada por hardware y software, dispuesta para iluminar los LED 155 e interpretar los datos de imagen resultantes de las cámaras 160 para determinar
 55 la orientación del casco en relación con un marco de referencia asociado con la aeronave, en este ejemplo.

Se proporciona un Módulo de procesamiento 175 adicional para implementar la funcionalidad del sistema general de seguimiento de casco como se ha descrito anteriormente con referencia a las figuras 1 a 3. El Módulo de procesamiento 175 se conecta al casco 150 por medio de un Cable 180 apropiado, principalmente para recibir la salida
 60 de datos de velocidad $GVelocidad_g$ desde los Giroscopios montados en el casco 5, pero también para transmitir datos de imagen recibidos de un sistema de generación de imágenes instalado en la aeronave (no mostrado en la figura 5), a través de una interfaz 190, a una pantalla montada en el casco integrada dentro del casco 150 (no mostrada explícitamente en la figura 4). El sistema de visualización montado en el casco puede ser un sistema de visualización de proyección de visera, o una pantalla basada en una guía de ondas, dispuesta en cualquier caso para presentar
 65 imágenes al piloto de modo que aparezcan superpuestas a la vista del piloto a través de una visera 200 de una escena externa. El Módulo de procesamiento 175 está dispuesto para emitir medidas de orientación del casco HA y HW al

sistema de generación de imágenes instalado en la aeronave a través de la interfaz 190 para usarse en el cálculo de la posición de ciertos tipos de símbolos y datos destinados a visualizarse en la pantalla montada en el casco, según sea apropiado.

5 En una instalación de aeronave típica de un sistema de visualización montado en el casco, que incorpora el sistema de seguimiento de casco híbrido de la presente invención, es probable que uno o más módulos adicionales (no mostrados en la figura 4) se instalen dentro de la aeronave con el fin de generar imágenes para su visualización por cualquier sistema de visualización instalado o en uso en la aeronave. Tales sistemas de visualización pueden incluir una pantalla de visualización frontal (HUD) y/o una pantalla de visualización vertical (HDD) además de la visualización
10 montada en el casco de relevancia para aplicaciones de la presente invención. Es probable que tales módulos adicionales estén vinculados a un bus de datos estándar de la aeronave y, por lo tanto, tengan acceso a los datos de orientación de la aeronave AW emitidos por un Sistema de navegación de aeronaves y a datos de otros sistemas con la necesidad de mostrar información al piloto. Los datos de imagen que incluyen símbolos y datos para visualizar en la pantalla montada en el casco, junto con las actualizaciones a la orientación de la aeronave AW recibidas por el bus de datos de la aeronave por tales módulos adicionales, pueden pasarse al Módulo de procesamiento 175 por medio
15 de la interfaz 190.

Se han descrito realizaciones ejemplares de la presente invención en el contexto de determinar la orientación de un casco que lleva una pantalla montada en el casco. Este es un ejemplo de una aplicación de un sistema de seguimiento mejorado mediante la inclusión de la funcionalidad de corrección de datos del sensor inercial según la presente invención en la que un generador de imagen asociado requiere la orientación determinada para poder posicionar
20 símbolos estabilizados en el espacio en una imagen que se visualizará. Sin embargo, será claro para una persona de habilidad ordinaria en un campo relevante que las técnicas descritas en el presente documento pueden aplicarse a la determinación de la orientación de cualquier objeto con referencia a una plataforma móvil asociada con el objeto, por ejemplo, una plataforma sobre o en la que el objeto está desplazándose en el momento en que se determinará su orientación.

También será claro para el experto notional que se pueden aplicar características particulares independientemente de otras para proporcionar un sistema de seguimiento según la presente invención que tenga diferentes
30 combinaciones de las características descritas. Por ejemplo, las técnicas descritas para determinar las correcciones que se aplicarán a los datos del sensor inercial pueden usarse independientemente de otras que no sean esenciales para la determinación de tales correcciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para corregir errores en los datos de velocidad emitidos por sensores inerciales (5) indicativos de una velocidad de cambio en la orientación en el espacio inercial de un objeto (150) al que están unidos los sensores inerciales, teniendo el objeto también un sistema de seguimiento no inercial (10) dispuesto para determinar la orientación del objeto referenciado a un marco de referencia de una plataforma móvil con la que está asociado el objeto, comprendiendo el método los pasos:
- (i) recibir datos de velocidad emitidos por los sensores inerciales;
 - (ii) recibir datos de orientación del sistema de seguimiento no inercial;
 - (iii) recibir datos de orientación indicativos de la orientación de la plataforma móvil en el espacio inercial;
 - (iv) derivar datos de velocidad de una combinación sincronizada de datos de orientación recibidos en los pasos (ii) y (iii) para proporcionar una medida de la velocidad de cambio en la orientación del objeto en el espacio inercial;
 - (v) determinar, a partir de una combinación sincronizada de datos de velocidad recibidos en el paso (i) y datos de velocidad derivados en el paso (iv), una corrección de errores en los datos de velocidad emitidos por los sensores inerciales debido a una desalineación, incluida la no ortogonalidad de los ejes de los sensores inerciales o una diferencia en la alineación de uno o más ejes de los sensores inerciales y los ejes correspondientes en un marco de referencia del sistema de seguimiento no inercial; y
 - (vi) aplicar la corrección determinada en el paso (v) para calificar la emisión de datos por los sensores inerciales, en el que, en el paso (v), la corrección se define mediante un mapeo entre vectores que unen puntos en un espacio de velocidad de sensor inercial representado por un conjunto de muestra de datos de velocidad recibidos en el paso (i) y vectores que unen puntos en un espacio de velocidad de orientación de objeto derivado representado por un conjunto de muestra sincronizada correspondiente de datos de velocidad derivados en el paso (iv).
2. El método según la reivindicación 1, que comprende además los pasos:
- (vii) recibir datos de velocidad emitidos por los sensores inerciales y, sincronizados con ellos, datos de velocidad derivados en el paso (iv);
 - (viii) aplicar a los datos de velocidad emitidos por los sensores inerciales recibidos en el paso (vi) la corrección debido a la desalineación determinada en el paso (v);
 - (ix) determinar una traslación vectorial entre un punto en el espacio de velocidad de orientación de objeto derivado representado por los datos de velocidad corregidos y un punto en el espacio de velocidad de orientación de objeto derivado representado por los datos de velocidad derivada sincronizados recibidos en el paso (vi), la traslación del vector determinado que representa una corrección por sesgo en los datos de velocidad emitidos por los sensores inerciales; y
 - (x) agregar la corrección por sesgo determinada en el paso (ix) a los datos de velocidad corregidos en el paso (vi).
3. El método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el paso (v) comprende:
- (a) seleccionar un conjunto de muestra de cuatro medidas de datos de velocidad recibidos en el paso (i) que representa una disposición sustancialmente tetraédrica de puntos en el espacio de velocidad del sensor inercial;
 - (b) seleccionar cuatro medidas sincronizadas respectivamente de datos de velocidad derivados en el paso (iv) que representan puntos correspondientes en el espacio de velocidad de orientación de objeto derivado;
 - (c) definir tres vectores que unen un punto seleccionado a los otros tres puntos en el espacio de velocidad del sensor inercial y definir tres vectores correspondientes que unen los puntos correspondientes respectivos en el espacio de velocidad de orientación del objeto derivado;
 - (d) determinar un mapeo entre los tres vectores de enlace en el espacio de velocidad del sensor inercial y los tres vectores de enlace correspondientes en el espacio de velocidad de orientación del objeto derivado, representando el mapeo la corrección.
4. El método según la reivindicación 3, que comprende además el paso:
- (xi) probar cada medida de datos de velocidad recibida posteriormente de los sensores inerciales hasta que se identifique una nueva medida que defina un nuevo punto en el espacio de velocidad del sensor inercial formando una disposición de puntos sustancialmente tetraédrica con los puntos definidos por las tres medidas recibidas más recientemente de datos de velocidad en el conjunto de muestra emitidos por los sensores inerciales, reemplazando la nueva medida así la medida recibida más antigua de datos de velocidad en el conjunto de muestra emitido por los sensores inerciales, y seleccionar el vector de velocidad correspondiente derivado en el paso (iv) para reemplazar el más antiguo con respecto al espacio de velocidad de orientación del objeto derivado, desencadenando así la determinación de una nueva corrección por los pasos (c) y (d).
5. El método según la reivindicación 3 o la reivindicación 4, en el que el paso (i) comprende además aplicar un primer tipo de filtrado a una muestra de datos de velocidad recibidos de los sensores inerciales para definir datos de velocidad promedio representativos de la muestra para su uso en pasos posteriores del método.
6. El método según la reivindicación 5, en el que el paso (i) comprende además aplicar un segundo tipo de filtrado a

los datos de velocidad promedio resultantes de una aplicación del primer tipo de filtrado y en el que el paso (iv) comprende además aplicar el segundo tipo de filtrado a los datos de velocidad derivados, para suprimir de este modo el ruido en los datos de velocidad.

- 5 7. El método según la reivindicación 2, que comprende los pasos operativos (i) a (v) y los pasos (vii) a (ix) en un proceso cíclico que representa un ciclo de actualización de correcciones y los pasos operativos (vi) y (x) en un proceso cíclico que representa un ciclo de seguimiento, en el que el período del ciclo de actualización de correcciones es un múltiplo entero predeterminado del período del ciclo de seguimiento.
- 10 8. El método según la reivindicación 7, en el que el paso (v) comprende además operar un proceso de control de estabilización, activado para operar sobre una secuencia de ciclos de actualización de correcciones.
9. El método según la reivindicación 8, en el que el paso (vi) comprende además operar un proceso de amortiguación sobre una secuencia de ciclos de seguimiento para suavizar la aplicación de la corrección a aplicar con respecto al ciclo de actualización de correcciones más reciente.
- 15 10. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que el paso (x) comprende además operar un proceso de amortiguación sobre una secuencia de ciclos de seguimiento para suavizar la aplicación de la corrección de sesgo a aplicar sobre la secuencia de ciclos de seguimiento.
- 20 11. Un sistema de seguimiento (1) para determinar la orientación de un objeto (150), que comprende:
- una disposición de sensor inercial (5) asociada con el objeto, dispuesta para emitir datos de velocidad que proporcionan indicaciones cíclicas de una velocidad de cambio en la orientación del objeto en el espacio inercial;
- 25 un sistema de seguimiento no inercial (10) asociado con el objeto, dispuesto para emitir determinaciones cíclicas de orientación del objeto, referenciado a un marco de referencia de una plataforma móvil asociada con el objeto;
- una fuente de datos de orientación (15) que proporciona indicaciones cíclicas de orientación de la plataforma móvil en el espacio inercial;
- un generador de datos de velocidad (25) para convertir determinaciones sucesivas de orientación del objeto por el sistema de seguimiento no inercial combinado con medidas de orientación sincronizadas respectivas de la plataforma móvil en medidas respectivas de datos de velocidad indicativos de una velocidad de cambio en la orientación del objeto en espacio inercial;
- 30 un componente de corrector (30, 35) dispuesto para determinar y aplicar correcciones a los datos de velocidad emitidos por la disposición del sensor inercial con respecto a un ciclo dado por el método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10; y
- 35 un integrador (50) para recibir datos de velocidad corregidos del componente de corrector y calcular a partir del mismo una orientación del objeto referenciado al espacio inercial.
12. El sistema de seguimiento según la reivindicación 11, en el que el sistema de seguimiento no inercial es un sistema de seguimiento óptico (5), un sistema de seguimiento acústico o un sistema de seguimiento magnético.
- 40 13. El sistema de seguimiento según la reivindicación 11 o la reivindicación 12, en el que el objeto es una cabeza o casco (150) u otro artículo usado en el cuerpo al que está unida la disposición del sensor inercial y en la que la disposición del sensor inercial está dispuesta para determinar y emitir datos de velocidad indicativos de una velocidad de cambio en la orientación de la cabeza o el casco u otro artículo usado en el cuerpo en el espacio inercial.
- 45 14. Un producto de programa informático que comprende un soporte de datos que tiene almacenados en el mismo medio de código de software, o medios de acceso al mismo, que cuando se instalan y ejecutan en un procesador digital están dispuestos para implementar los pasos del método mencionados en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
- 50 15. Un procesador digital programado para implementar los pasos del método mencionados en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

Fig. 1

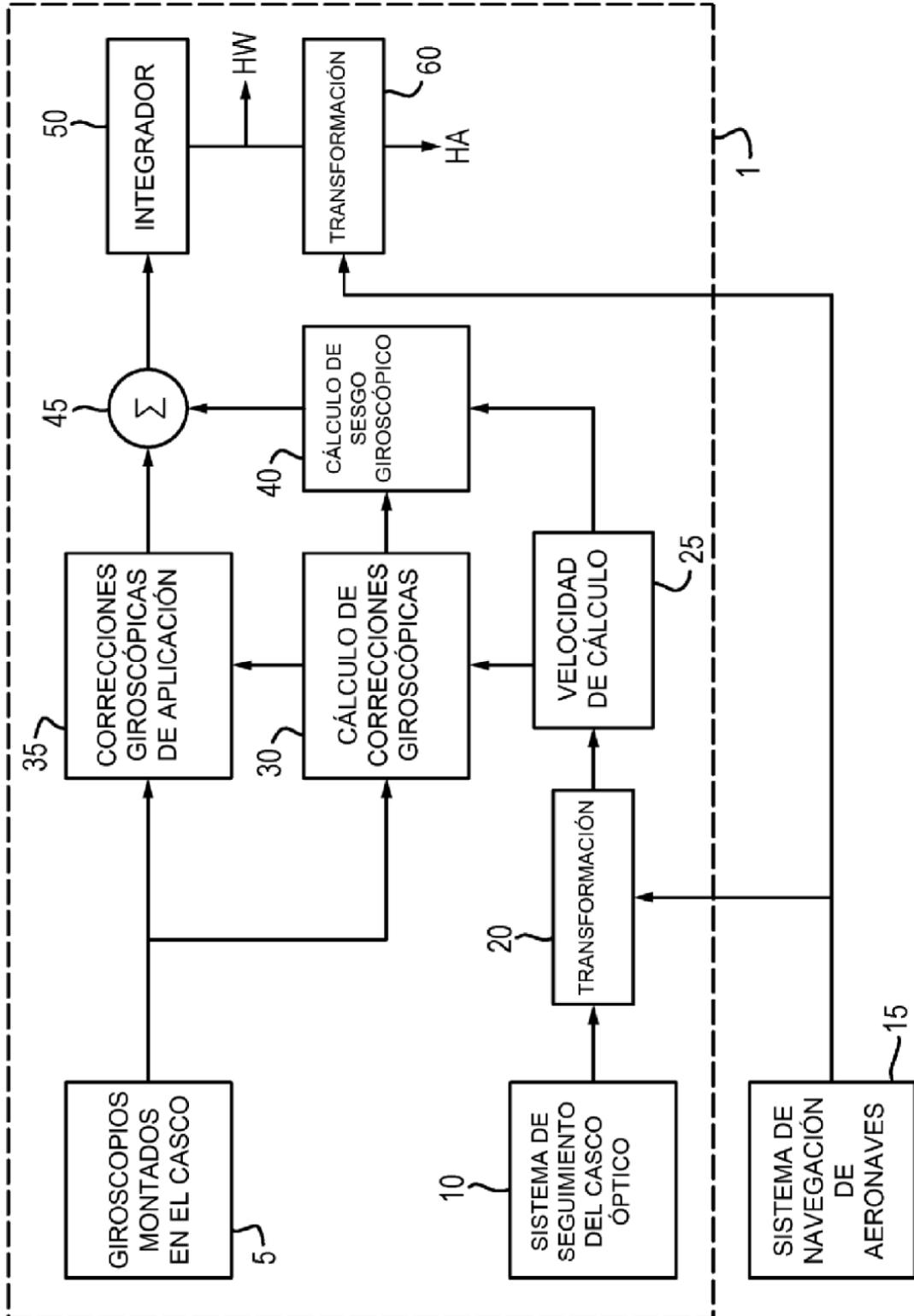


Fig. 2

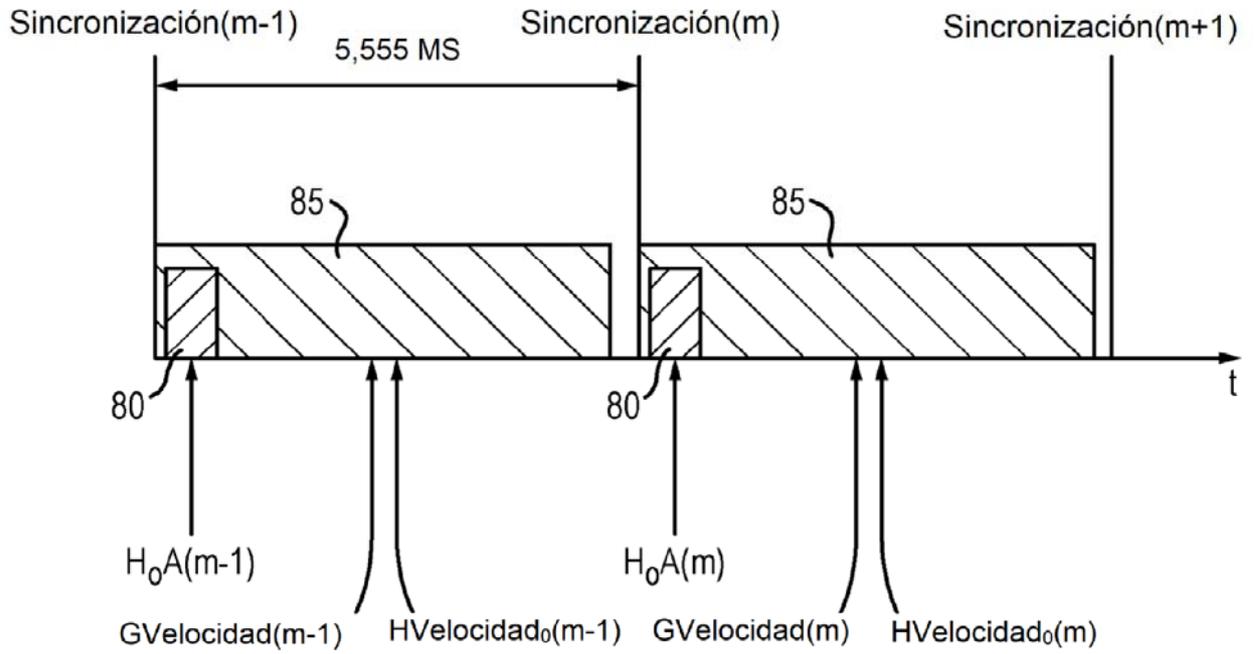


Fig. 3

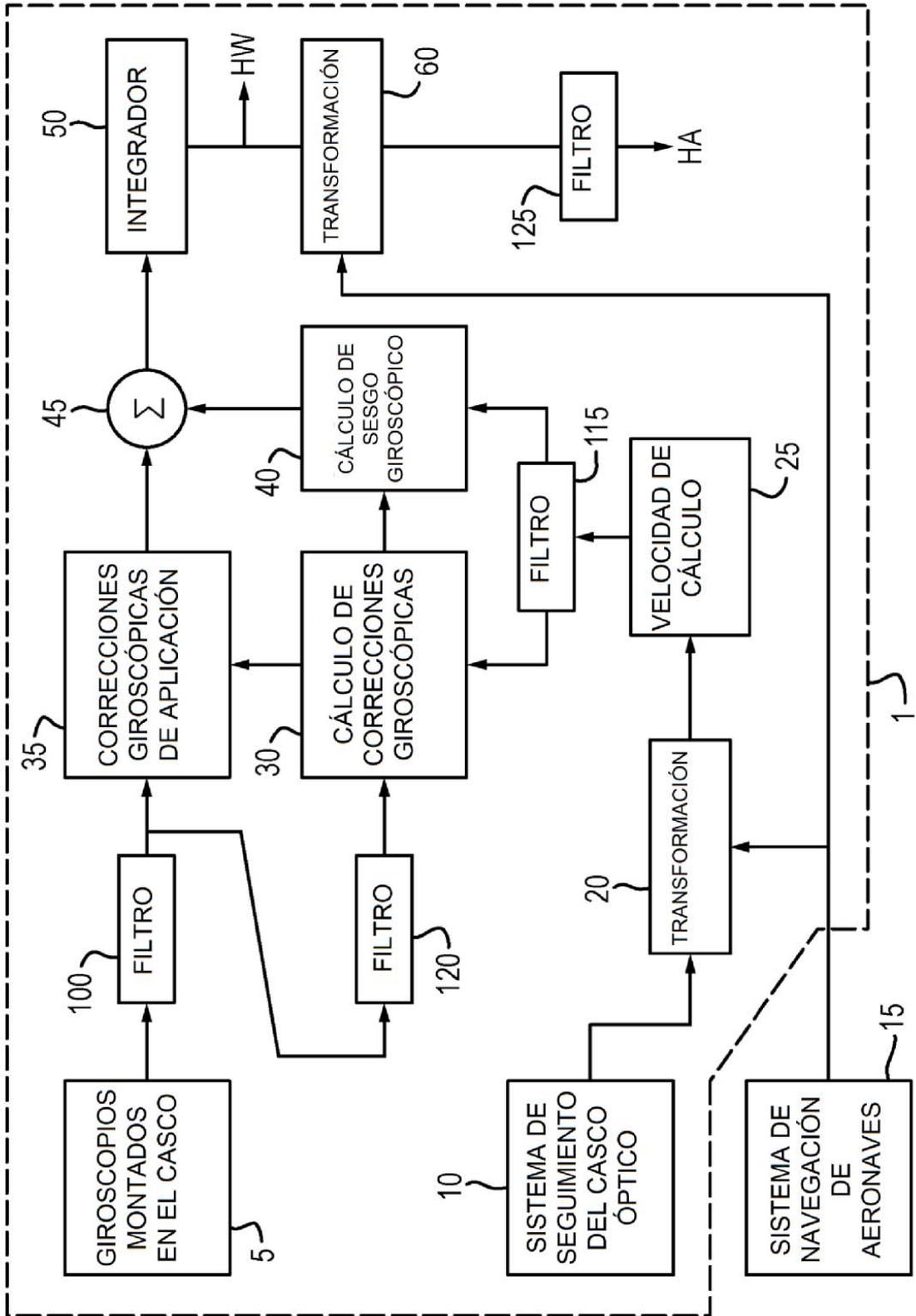


Fig. 4

