

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 677**

51 Int. Cl.:

**G01C 21/16** (2006.01)

**G05D 1/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2016** **E 16382318 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019** **EP 3267152**

54 Título: **Ayudas de navegación para sistemas aéreos no tripulados en un entorno sin GPS**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**18.06.2020**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)**  
**100 North Riverside Plaza**  
**Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**HARDT, MICHAEL W.;**  
**GALLO, EDUARDO;**  
**NAVARRO, FRANCISCO A. y**  
**BUSHNELL, GLENN SCOTT**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 767 677 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**

Ayudas de navegación para sistemas aéreos no tripulados en un entorno sin GPS

**Campo de la divulgación**

5 Esta divulgación se refiere de manera general a ayudas de navegación y, más particularmente, a ayudas de navegación para sistemas aéreos no tripulados en un entorno sin GPS.

**Antecedentes**

10 Los sistemas aéreos no tripulados (UAS) emplean un sistema de navegación para determinar una posición o trayectoria de una aeronave, tal como un vehículo aéreo no tripulado (UAV). El sistema de navegación, tal como el dado a conocer en el documento de patente GB2504376-A, usa un modelo de navegación que combina medidas a partir de un sistema de navegación inercial (INS) del UAV e información de referencia absoluta a partir de un sistema de posicionamiento global (GPS) para monitorizar la trayectoria del UAV.

15 En el documento de patente US2009/322598-A1 se describe un método y un aparato para calcular correcciones en una solución de navegación basándose en datos de GPS diferenciales que incluye recibir efemérides de GPS a partir de al menos tres satélites de GPS. Se resuelve una solución de PVT (posición, velocidad y tiempo) a partir de las efemérides de GPS. La solución de PVT incluye un error circular probable (CEP). Se reciben datos de GPS diferenciales para calcular las correcciones a la solución de PVT. Entonces una solución de PVT corregida se basa en los datos de GPS diferenciales. Se compara la solución de PVT corregida con una zona definida por el CEP. Cuando la solución de PVT corregida no está dentro de la zona, se rechaza la solución PVT corregida a favor de la solución de PVT para determinar una solución de navegación precisa.

20 El documento “New Algorithms for Aircraft Intent Inference and Trajectory Prediction”, Javier Lovera Yepes *et al.*, Journal of Guidance and Control and Dynam, AIAA, Reston, VA, US, vol. 30, n.º 2, 1 de marzo de 20017, páginas 370-382, se refiere al seguimiento de aeronaves, interferencia de intención y predicciones de trayectoria. En este artículo, los autores proponen un algoritmo que usa un algoritmo de estimación híbrido para estimar el estado de la aeronave y modo de vuelo. Estas estimaciones se combinan con conocimiento sobre reglamentos de control de tráfico aéreo, el plan de vuelo de la aeronave y el entorno para deducir la intención del piloto. Se calculan predicciones de trayectoria en función del movimiento de la aeronave (estimaciones de estado y modo) y la intención deducida. El resultado es un algoritmo que proporciona, en tiempo real, predicciones de trayectoria e intención para la aeronave.

25 Sin embargo, en algunos casos, no están disponibles señales de GPS o son insuficientes para obtener datos fiables. En un caso de este tipo, el sistema de navegación vuelve a usar una técnica de navegación de rumbo estimado, que se basa únicamente en las medidas a partir del INS. Sin embargo, las medidas a partir de los sensores del INS con frecuencia tienen ruido e introducen error en el modelo de navegación. Este error se propaga rápidamente y provoca que la trayectoria real del UAV diverja de la trayectoria estimada.

**Sumario**

35 En el presente documento se dan a conocer ayudas de navegación de ejemplo. Según la invención, se proporciona un método tal como se expone en la reivindicación independiente 1. Adicionalmente, se proporciona una aeronave que comprende un sistema de navegación tal como se expone en la reivindicación independiente 11.

40 Un medio de almacenamiento legible por ordenador tangible de ejemplo incluye instrucciones que, cuando se ejecutan, hacen que una máquina al menos identifique una instrucción de AIDL como asociada con una actividad dinámica alta, determine un estado de aeronave que va a verse afectado por la instrucción de AIDL, cambie un esquema de ponderación para una medida del estado de aeronave obtenido mediante un sistema de navegación inercial (INS) de la aeronave, y estime una trayectoria de la aeronave basándose en el esquema de ponderación y la medida.

**Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 ilustra un vehículo aéreo no tripulado (UAV) de ejemplo en el que pueden implementarse los sistemas y métodos de ejemplo dados a conocer en el presente documento.

45 La figura 2 es un sistema de navegación de ejemplo para el UAV de ejemplo de la figura 1 construido según las enseñanzas de esta divulgación.

La figura 3 ilustra una ayuda de lenguaje de descripción de intención de aeronave (AIDL) de ejemplo y filtro de navegación de ejemplo implementados por el sistema de navegación de ejemplo de la figura 2.

50 La figura 4 es un diagrama de flujo representativo de un método de ejemplo para estimar o predecir una posición o trayectoria de un UAV en un entorno sin GPS e implementado por el sistema de navegación de ejemplo de la figura 2.

La figura 5 es un diagrama de bloques de un sistema de procesador de ejemplo estructurado para ejecutar instrucciones legibles por máquina para implementar el método de la figura 4 y el sistema de navegación de ejemplo de la figura 2.

Determinados ejemplos se muestran en las figuras anteriormente identificadas y se describen en detalle a continuación. Al describir estos ejemplos, se usan números de referencia iguales o idénticos para identificar elementos iguales o similares. Las figuras no están necesariamente a escala y determinadas características y determinadas vistas de las figuras pueden mostrarse exageradas a escala o de manera esquemática por motivos de claridad y/o brevedad. Adicionalmente, a lo largo de la totalidad de esta memoria descriptiva se han descrito varios ejemplos. Cualquier característica de cualquier ejemplo puede incluirse con, ser una sustitución para, o combinarse de otro modo con otras características de otros ejemplos.

### Descripción detallada

En el presente documento se dan a conocer métodos, aparatos/sistemas y artículos de fabricación de ejemplo para aumentar la precisión de un sistema de navegación de UAS en un entorno sin GPS. Tal como se usan en el presente documento, los términos GPS y sistema de satélites de navegación global (GNSS) pueden usarse de manera intercambiable e incluyen cualquier sistema de satélites o combinación de los mismos para determinar la posición (por ejemplo, NAVSTAR, Galileo, Baidou, sistema Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya (GLONASS), etc.). En general, los sistemas de navegación de ejemplo dados a conocer en el presente documento emplean una ayuda de lenguaje de descripción de intención de aeronave (AIDL) para identificar estados de aeronave en los que se espera una variabilidad o ruido relativamente superior debido a las señales obtenidas mediante los sensores del INS y las maniobras que están realizándose. Esta información se usa por un filtro de navegación para modificar un esquema de ponderación en un modelo de procedimiento del filtro de navegación. Como resultado, se introduce menos error en el modelo de procedimiento, aumentando así la precisión de la estimación de posición o trayectoria de aeronave cuando no está disponible ninguna referencia de posición o velocidad absoluta (por ejemplo, señal de GPS).

Antes de pasar a los aspectos detallados de las ayudas de navegación dadas a conocer, se proporciona una breve descripción de técnicas de navegación convencionales. En general, los UAV pueden funcionar de manera autónoma, es decir, sin comunicación directa con un operario basado en tierra. El UAV sigue un conjunto de instrucciones previamente cargado destinado a ejecutar una misión y volver a la base sin intervención externa. Las capacidades de navegación de estos UAV son fundamentales para su éxito y capacidad de supervivencia. Cuando funcionan de una manera semiautónoma o autónoma, el UAV por sí mismo debe combinar de manera óptima la información de sensor de la que dispone para lograr la mejor estimación de su posición y configuración actuales (por ejemplo, cabeceo, guiñada, etc.).

En general, la mayoría de las técnicas de navegación se basan en dos métodos fundamentales: fijación de posición y rumbo estimado. Los UAV utilizan con frecuencia una combinación de ambas. La fijación de posición se basa en dispositivos que miden propiedades físicas externas a la aeronave, tales como la distancia hasta puntos dados (o satélites) (por ejemplo, el sistema de satélites de navegación global (GNSS)), la posición del Sol o las estrellas, el campo magnético de la Tierra, propiedades atmosféricas, la orientación y velocidad del aire incidente, la ubicación del horizonte, la altura sobre el terreno, etc. El rumbo estimado es el procedimiento de calcular una posición actual usando una posición previamente determinada, o fija, y hacer avanzar esa posición basándose en aceleraciones y/o velocidades conocidas o estimadas a lo largo de un tiempo transcurrido y rumbo. Dicho de otro modo, una solución de posición de rumbo estimado es la suma de una serie de medidas de posición relativa. Las técnicas de rumbo estimado son autónomas en el sentido de que miden procedimientos físicos intrínsecos a la aeronave, tales como aceleraciones y velocidades angulares. En particular, un sistema de navegación inercial (INS) de la aeronave usa velocidades y aceleraciones lineales y angulares (a partir del/de los sensor(es)) para estimar la posición, orientación y/o velocidad del UAV. El INS puede utilizar uno o más sensores, tales como acelerómetros de estado sólido, giroscopios, magnetómetro, sensores de presión estática/dinámica y/o cualquier otra unidad de medida inercial (IMU) que tienen en consideración relaciones geométricas y cinemáticas. Dado que cada uno de estos sensores está sujeto a error, el error de solución de posición agregado aumenta a lo largo del tiempo. Por otro lado, la fijación de posición no presenta aumento de error ya que se basa en componentes externos a la aeronave. Otra diferencia entre los métodos anteriormente indicados es que la información de fijación de posición puede no estar disponible de manera continua, mientras que el rumbo estimado siempre proporciona una solución siempre que se conozca la posición de partida. Por tanto, la mayoría de los UAV incluyen un sistema de navegación que combina un sistema de rumbo estimado tal como un INS con varios dispositivos o sistemas de fijación de posición, incluyendo al menos un sensor de GPS.

El sistema de navegación convencional en el UAS conocido consiste en una solución de fusión de información tal como un filtro de Kalman extendido (EKF) que combina (por ejemplo, fusiona, mezcla, etc.) la solución de posición, velocidad y tiempo (PVT) absoluta proporcionada por un sensor de GPS con una posición de rumbo estimado proporcionada por un INS. El EKF estima la posición (por ejemplo, ubicación, trayectoria), velocidad y orientación angular de la aeronave basándose en los datos combinados. En general, el INS proporciona la trayectoria de referencia (determinada mediante los sensores) mientras que el GPS sirve como sistema de actualización. Esto se debe principalmente al hecho de que la frecuencia de medida de INS es muy superior a la frecuencia de medida de GPS. Dicho de otro modo, las medidas de GPS proporcionan una ayuda externa que restablece las estimaciones de posición y velocidad tal como se determinan a partir de las medidas del INS. El sistema de GPS/INS combinado funciona bien siempre que el GPS proporcione una solución de PVT válida porque limita la deriva inherente a los acelerómetros, los giroscopios y otras IMU del INS.

Sin embargo, en algunos casos, no puede obtenerse una señal de GPS o la señal de GPS es relativamente débil (por ejemplo, insuficiente), denominado en el presente documento entorno sin GPS o con GPS en tensión. Un entorno sin

GPS puede provocarse por una variedad de factores tales como el terreno, la climatología, interferencia de radiofrecuencia (RFI), perturbación intencionada (por ejemplo, un ataque de simulación electrónica, un perturbador malicioso, etc.), etc. Si un UAV está lejos de su destino (por ejemplo, una base) y entra en un entorno sin GPS, el UAV puede tener que volar una distancia considerable para alcanzar una zona en la que puedan volver a procesarse señales de GPS de una manera fiable.

En entornos sin GPS de UAS conocidos, la información de sensor a bordo disponible restante del UAS no permite al UAS completar su misión asignada. En vez de eso, la misión del UAS se convierte en una de capacidad de supervivencia y está programado para volver satisfactoriamente a su base. En el momento en el que el UAS detecta que está en un entorno sin GPS, una estrategia típica puede ser usar su estimación de navegación actual (por ejemplo, una estimación de la posición o trayectoria actual), que todavía puede considerarse bastante precisa, y planificar (de manera autónoma) una ruta para volver a su base. En muchos casos, con frecuencia resulta prohibitivo equipar a un UAS con sensores de fijación de posición adicionales (por ejemplo, que miden el rumbo del Sol, las estrellas, el campo magnético de la Tierra, etc.) debido a restricciones de tamaño, peso y potencia (SWaP) del UAV. Por tanto, sin medidas de referencia de posición absoluta, el sistema de navegación entra en un modo de rumbo estimado, que inevitablemente acumula errores. En el modo de rumbo estimado, las aceleraciones y velocidades lineales se integran sin correcciones de medida (que de lo contrario proporcionaría el sensor de GPS), y por tanto una deriva en la estimación de posición es inevitable debido a errores acumulativos. Los sensores o IMU presentan errores a partir de ruido de sistema, sesgo, factor de escala, no ortogonalidad, temperatura, etc. Estos errores pueden ser considerables y pueden variar ampliamente dependiendo de la calidad de los sensores, algoritmos de navegación y condiciones del entorno. Además, en implementaciones conocidas del EKF, la información de actitud también se ve corrompida, lo cual hace que el UAS no pueda continuar volando. Dicho de otro modo, cuando no está disponible ninguna referencia de posición o velocidad absoluta para el sistema de navegación, el método de estimación vuelve a una simple integración del estado actual basándose en aceleraciones medidas. Cualquier error de estimación de velocidad que se acumula durante el vuelo cuando se encuentra en este modo se propaga y se integra de tal manera que, en el mejor de los casos, se obtiene como resultado una divergencia de error de posición lineal. A medida que se acumulan estos sesgos, la divergencia aumenta hasta que ya no hay ninguna posibilidad de que el UAV pueda recuperarse, especialmente si su alcance de vuelo y autonomía son limitados, lo cual es habitualmente el caso. Para cuando un UAV ha vuelto a adquirir una señal de GPS fiable, la deriva del UAV puede ser tan grave que el UAV no tiene ninguna probabilidad de alcanzar su base debido a su autonomía limitada.

En el presente documento se dan a conocer métodos, aparatos/sistemas y artículos de fabricación de ejemplo que reducen los errores y sesgos de estimación que se introducen normalmente en estimaciones de navegación realizadas en un entorno sin GPS. Los métodos, aparatos/sistemas y artículos de fabricación dados a conocer pueden aumentar la capacidad de supervivencia de una aeronave. En general, los sistemas de navegación de ejemplo dados a conocer en el presente documento incluyen una ayuda de lenguaje de descripción de intención de aeronave (AIDL) que identifica la variabilidad dinámica de los estados de aeronave. Esta información se usa por el filtro de navegación para cambiar un esquema de ponderación de las medidas de estado proporcionadas por el INS. Dependiendo del comportamiento dinámico actual de la aeronave, determinados sensores de aeronave o modelos internos son más eficaces que otros para reconstruir el estado de aeronave. El filtro de navegación reacciona y cambia el esquema de ponderación de las medidas de estado para los estados afectados. Por tanto, la ayuda de AIDL de ejemplo caracteriza la variabilidad esperada en determinados estados, que después se usa por el filtro de navegación para ajustar de manera adaptiva o dinámica la estructura de filtro (por ejemplo, el modelo de procedimiento). Por ejemplo, si se espera que un determinado estado experimente un alto ruido o variabilidad en las medidas a partir de los sensores asociados, el filtro de navegación modifica el peso de las medidas de sensor en la estimación de la trayectoria. En algunos ejemplos, a las medidas de sensor se les da menos peso y/o a las medidas de estado predichas se les da más peso. Si el filtro de navegación es un EKF, por ejemplo, las covarianzas de ruido de procedimiento y medida del estado pueden aumentarse o reducirse.

Como implementación de ejemplo, se considera que el comportamiento dinámico indicado es realizar un giro constante comenzando con un aumento en rampa de la velocidad angular, manteniendo después la velocidad angular a un valor constante, después una disminución en rampa de la velocidad angular hasta un vuelo recto. Durante el vuelo, los vientos, en particular la turbulencia, son responsables de producir un vuelo inestable. En los UAV, por ejemplo, que son aeronaves relativamente ligeras, no resulta poco frecuente que los vientos más la turbulencia alcancen el 50% de las velocidades ordenadas. Cuando se suman estos efectos en la dinámica, la información de sensor inercial puede tener mucho ruido con grandes efectos transitorios que distorsionan la precisión de las medidas. No obstante, está presente un perfil dinámico subyacente que describe los cambios ordenados en la actitud y velocidad angular de la aeronave acompañado por esfuerzos de control para mantener un giro coordinado mientras se mantiene la sustentación. El conocimiento de este perfil sirve para dar inmediatamente más peso al modelo dinámico interno en el procedimiento de reconstrucción de estado, todo ello en ausencia de datos de referencia y posición absoluta y medidas directas de influencias externas tales como información sobre el viento. Las técnicas de ejemplo reducen la deriva en el procedimiento de rumbo estimado. Como tal, los sistemas de navegación de ejemplo logran una estimación más suave y mejorada (es decir, más precisa) de la posición, velocidad y orientación de la aeronave en presencia de muchos procedimientos de información con ruido subyacentes.

Pasando ahora a las figuras, la figura 1 ilustra un UAV 100 de ejemplo (por ejemplo, una aeronave) que puede implementar los métodos y sistemas de navegación de ejemplo dados a conocer en el presente documento. En el

ejemplo ilustrado, el UAV 100 es una aeronave de alas fijas. Sin embargo, en otros ejemplos, el UAV 100 puede ser otros tipos de aeronave (por ejemplo, una aeronave de alas giratorias).

La figura 2 ilustra un sistema 200 de navegación de ejemplo implementado por el UAV 100 (figura 1). El sistema 200 de navegación incluye información 202 de intención de aeronave (por ejemplo, información de guiado) almacenada como instrucciones de lenguaje de descripción de intención de aeronave (AIDL). La información 202 de intención de aeronave modela la manera en la que debe hacerse funcionar el UAV 100 durante el vuelo. En general, la intención de aeronave representa una abstracción de la manera en la que se instruye que se comporte una aeronave por una cabina de vuelo (por ejemplo, por un piloto). De la misma manera que una aeronave muestra una trayectoria única como resultado de la entrada de cabina de vuelo (por ejemplo, a partir de órdenes de piloto y sujeto a condiciones del entorno actual tales como el viento), la intención de aeronave se formula de tal manera que el movimiento de aeronave resultante se determina sin ambigüedad dadas las condiciones del entorno actual, dando como resultado una trayectoria calculada única. AIDL es un lenguaje formal que expresa la intención de aeronave de una manera normalizada. La sintaxis del lenguaje formal proporciona una infraestructura que permite combinar instrucciones para dar frases que describen operaciones. Cada operación contiene un conjunto completo de instrucciones que cierra los tres grados de libertad en las ecuaciones de movimiento de un modelo de vuelo simplificado, que se combina adicionalmente con suposiciones de vuelo adicionales tales como vuelo simétrico para cerrar los grados de libertad restantes y definir sin ambigüedad la trayectoria de aeronave a lo largo de su intervalo de funcionamiento. Las instrucciones pueden considerarse como fragmentos indivisibles de información que capturan órdenes básicas, modos de guiado y entradas de control a disposición de un piloto y/o un sistema de gestión de vuelo.

La información 202 de intención de aeronave (en el formato de AIDL) se suministra a un sistema 204 de control de vuelo (FCS) (por ejemplo, un sistema de gestión de vuelo) para implementarse por el mismo. En general, las instrucciones de AIDL de la información 202 de intención de aeronave incluyen tres restricciones algebraicas que se imponen sobre el FCS 204. Existe una amplia clase de restricciones algebraicas diferentes a partir de las cuales puede seleccionarse el diseño de intención de aeronave. Cada una de estas restricciones algebraicas y su combinación pueden asociarse con un sistema comportamiento dinámico deseado dado que se implementa posteriormente por el FCS 204. El FCS 204 calcula las órdenes que van a enviarse al/a los accionador(es) (por ejemplo, un accionador de alerón, un accionador de elevador, etc.) para cumplir las órdenes de guiado. En paralelo, la información de AIDL se envía a una ayuda 218 de AIDL, descrita en más detalle en el presente documento.

En el ejemplo ilustrado, el sistema 200 de navegación incluye uno o más sensores 206. El/los sensor(es) 206 incluye(n) el/los sensor(es) activo(s) o pasivo(s), interno(s) o externo(s), del UAV 100 que mide(n) la dinámica de vuelo. El/los sensor(es) 206 puede(n) incluir cualquier sensor de fijación de posición y/o sensor inercial. En el ejemplo ilustrado, el/los sensor(es) 206 incluye(n) un sensor 208 de GPS para detectar una posición absoluta del UAV 100. El/los sensor(es) 206 también incluye(n) un sistema 210 de navegación inercial (INS) que mide o detecta cambios en la posición, velocidad, etc. El INS 210 obtiene medidas a partir de uno o más sensores 212a-212n (por ejemplo, una unidad de medida inercial (IMU)). El/los sensor(es) 212a-212n puede(n) incluir, por ejemplo, un acelerómetro, un giroscopio, un magnetómetro, un sensor de presión estática (por ejemplo, un altímetro o barómetro), un sensor de presión dinámica, un sensor de temperatura, etc. En algunos ejemplos, el sistema 200 de navegación se implementa como un modelo de simulación. En un ejemplo de este tipo, puede usarse un modelo dinámico de vuelo (FDM) de 6-DOF para modelar la dinámica de vuelo predicha, que después se alimenta al/a los sensor(es) 206. Por ejemplo, el FCS 204 puede proporcionar la instrucción de accionador prevista al FDM de 6-DOF que modela el comportamiento de aeronave, que después se detecta por el/los sensor(es) 206.

En el ejemplo ilustrado, el sistema 200 de navegación incluye un filtro 214 de navegación que intenta determinar (por ejemplo, estimar, predecir) el estado del UAV 100 y emite una trayectoria 216 observada (OT). En general, en un modelo de 6-DOF, una aeronave puede definirse mediante doce estados: la posición lineal en las componentes X, Y y Z; la velocidad lineal en las componentes X, Y y Z; la configuración angular (guiñada, cabeceo y alabeo); y la velocidad angular (tasa de rotación en la guiñada, cabeceo y alabeo). Basándose en estos doce estados, pueden determinarse la posición, la velocidad y la orientación del UAV 100. Cuando están disponibles señales de GPS, el filtro 214 de navegación fusiona la(s) medida(s) a partir del INS 210 (tal como se proporciona(n) por el/los sensor(es) 212a-212n) con una medida de posición absoluta (por ejemplo, posición, velocidad, tiempo, etc.) a partir del sensor 208 de GPS para determinar la OT 216. La OT 216 se realimenta al FCS 204, que continúa monitorizando y construyendo las órdenes de control de vuelo basándose en la OT 216 y la información de guiado a partir de la información 202 de intención de aeronave. Sin embargo, las señales producidas por los sensores 212a-212n contienen error en forma de ruido, sesgo, etc. Por tanto, cuando están disponibles señales de GPS, el filtro 214 de navegación usa las medidas de posición absoluta a partir del sensor 208 de GPS como comprobación para confirmar la precisión de la estimación de posición determinada a partir del INS 210. El filtro 214 de navegación combina las medidas a partir del INS 210 y las medidas de PVT absolutas a partir del sensor 208 de GPS para predecir la posición, velocidad y orientación del UAV 100 y, por tanto, la OT 216.

Sin embargo, en algunas situaciones, no pueden obtenerse medidas de PVT absolutas, tal como cuando el UAV 100 está en un entorno sin GPS. Sin medidas de PVT absolutas, el sistema 200 de navegación usa la técnica de rumbo estimado para reconstruir el estado de aeronave y predecir la OT 216. Dicho de otro modo, al filtro 214 de navegación se le encarga la tarea de reconstruir el estado de aeronave basándose en un conjunto incompleto de datos sensoriales de entrada. En un caso de este tipo, el INS 210 proporciona medidas al filtro 214 de navegación, que se usan para

predecir la trayectoria del UAV 100. Sin embargo, el ruido y otro error en la(s) señal(s) o medida(s) a partir del INS 210 introducen error en el modelo de procedimiento, lo cual afecta a la OT 216. Además, especialmente durante un estado altamente dinámico, el error en determinadas medidas de estado aumenta. Como resultado, se introduce error en la OT 216, que se agrava rápidamente. Dentro de un periodo de tiempo relativamente corto, la OT 216 es significativamente diferente de la trayectoria real del UAV 100.

Para aumentar la precisión de la OT 216, el sistema 200 de navegación de ejemplo incluye una ayuda 218 de AIDL (por ejemplo, un procesador de AIDL). Tal como se mencionó anteriormente, la información 202 de intención de aeronave (representada por instrucciones de AIDL) incluye información sobre los ajustes de guiado y maniobras que van a emplearse por el UAV 100 para cumplir su misión prevista. Esta información representa el perfil dinámico de una maniobra de vuelo que está ejecutándose por el FCS 204. Usando el perfil dinámico, la ayuda 218 de AIDL identifica diferentes niveles y naturaleza de variabilidad dentro de los estados de aeronave dependiendo de la maniobra ejecutada. Basándose en los diferentes niveles y variabilidad, el filtro 214 de navegación cambia el esquema de ponderación de las medidas de estado de aeronave obtenidas mediante el INS 210, mejorando así las predicciones y reduciendo el error en la OT 216.

Después, puede cambiarse el esquema de ponderación para el ruido de procedimiento asociado con el/los estado(s) afectado(s) en el filtro 214 de navegación. Por tanto, se impone más o menos peso al/a los estado(s) afectado(s). Como tal, si se espera que el estado experimente más variabilidad (por ejemplo, más ruido), puede imponerse menos peso sobre las medidas de estado a partir del INS, reduciendo así el error que se induciría de otro modo por las señales con ruido, poco fiables. Como resultado, el procedimiento de ejemplo evita realizar un seguimiento de estados que tienen mucha variabilidad (por ejemplo, error) y que de lo contrario corromperían los estados que tienen valores fiables.

Tal como se ilustra en el ejemplo de la figura 3, la ayuda 218 de AIDL incluye un intérprete 300 de perfil dinámico que identifica un perfil dinámico (por ejemplo, una clase de trayectoria) del UAV 100 basándose en las instrucciones de AIDL. Dicho de otro modo, el intérprete 300 de perfil dinámico determina el intervalo de velocidades y aceleraciones de estado de aeronave esperadas y medidas esperadas.

La información 202 de intención de aeronave proporciona información de guiado de AIDL para tres hilos complementarios de comportamiento dinámico: (1) longitudinal (por ejemplo, cabeceo); (2) lateral (por ejemplo, guiñada); y (3) movimiento de propulsión. Los tres hilos son los tres grados de libertad que se especifican para el AIDL. El comportamiento longitudinal describe el movimiento hacia arriba o hacia abajo, por ejemplo, cuando el UAV 100 realiza un encabritamiento o picado. El comportamiento lateral describe el movimiento de un lado a otro (por ejemplo, de izquierda a derecha), por ejemplo, guiñada. El movimiento de propulsión es la fuerza de propulsión proporcionada por motores u otros dispositivos de movimiento de propulsión del UAV 100. Para cualquier maniobra, la información de guiado de AIDL incluye al menos una instrucción de AIDL activa para cada hilo de comportamiento dinámico que indica cómo debe restringirse el movimiento en el hilo respectivo.

La ayuda 218 de AIDL incluye un elemento 302 de asignación de nivel de actividad dinámica que clasifica cada hilo de comportamiento y la(s) instrucción/instrucciones correspondiente(s) en dos o más niveles de actividad dinámica (por ejemplo, estados dinámicos), que indican el nivel o grado de variabilidad que debe esperarse. Por ejemplo, el elemento 302 de asignación de nivel de actividad dinámica puede clasificar un hilo de comportamiento o instrucción en dos niveles de actividad dinámica: un primer nivel de actividad dinámica y un segundo nivel de actividad dinámica. El primer nivel de actividad dinámica puede ser, por ejemplo, un nivel de actividad dinámica alta (o actividad dinámica alta) en el que las velocidades o aceleraciones van a ser superiores a lo normal (por ejemplo, cuando se espera que se produzcan cambios significativos en determinados estados). El segundo nivel de actividad dinámica puede ser, por ejemplo, un nivel de actividad dinámica baja o normal en el que se espera poca o ninguna variabilidad.

Por ejemplo, la tabla 1 ilustra tres trayectorias de maniobra de ejemplo T1, T2 y T3 y las instrucciones de AIDL aplicables para los tres hilos del comportamiento dinámico para cada una de las trayectorias T1, T2 y T3. En el ejemplo ilustrado, T1 representa una trayectoria de maniobra longitudinal, T2 representa una trayectoria de maniobra lateral, y T3 representa una trayectoria de maniobra lateral y longitudinal.

Tabla 1

Trayectoria	Propulsión	Longitudinal	Lateral
T1: Trayectoria de maniobra longitudinal	HS	VSL/HVS	HC
T2: Trayectoria de maniobra lateral	HS	HA	CL/HC
T3: Trayectoria de maniobra lateral y longitudinal	HS	VSL/HVS	CL/HC

Las instrucciones de AIDL de ejemplo tienen las siguientes definiciones:

HS: Mantener la velocidad (perfil de propulsión)

50 HA: Mantener la altitud (perfil longitudinal)

VSL: Ley de velocidad vertical (perfil longitudinal)

HVS: Mantener velocidad vertical (perfil longitudinal)

HC: Mantener rumbo (perfil lateral)

CL: Ley de rumbo (perfil lateral)

5 Por tanto, para T1, la instrucción de AIDL para el hilo de propulsión de comportamiento dinámico es una orden de mantener la velocidad, la instrucción de AIDL para el hilo longitudinal de comportamiento dinámico es una Orden de ley de velocidad vertical o una orden de mantener la velocidad vertical, y la instrucción de AIDL para el hilo lateral de comportamiento dinámico es una orden de mantener el rumbo. El elemento 302 de asignación de nivel de actividad dinámica clasifica o divide una actividad dinámica en una pluralidad de niveles de actividad dinámica y después asigna cada hilo de comportamiento y su(s) instrucción/instrucciones al nivel correspondiente. Por ejemplo, dependiendo del nivel de actividad (por ejemplo, la cantidad de cambio) que va a producirse en el comportamiento longitudinal, el hilo longitudinal y la instrucción correspondiente se clasifican como un primer nivel de actividad dinámica (alta) o un segundo nivel de actividad dinámica (baja). Por ejemplo, puede asignarse una instrucción que ordena un aumento del cabeceo de 15° para el hilo de movimiento longitudinal al primer nivel de actividad dinámica (alta), mientras que puede asignarse una instrucción que ordena un aumento del cabeceo de 2° al segundo nivel de actividad dinámica (baja). En algunos ejemplos, el elemento 302 de asignación de nivel de actividad dinámica compara la instrucción de AIDL y/o la maniobra asociada a un umbral para determinar si el estado dinámico está en el primer o el segundo nivel de actividad dinámica (alta o baja). Por ejemplo, si la instrucción de AIDL o maniobra está asociada con un cambio de 10° o superior en el cabeceo, entonces el elemento de asignación de nivel de actividad dinámica determina que la instrucción de AIDL es un nivel de actividad dinámica alta. En otros ejemplos, pueden definirse más o menos categorías o niveles (por ejemplo, un nivel de actividad dinámica media, nivel de actividad dinámica media-baja, nivel de actividad dinámica media-alta, etc.).

25 En el ejemplo ilustrado, la ayuda 218 de AIDL incluye un elemento 304 de mapeo de estado de aeronave que identifica o mapea el/los estado(s) o vector(es) de estado que se ve(n) afectado(s) por cada hilo de comportamiento dinámico y la instrucción correspondiente. Por ejemplo, la tabla 2 ilustra un mapeo de ejemplo entre el/los estado(s) o elemento(s) de vector de estado que se ve(n) más directamente afectado(s) por un cambio en la variabilidad de la(s) instrucción/instrucciones de AIDL con las trayectorias de referencia T1, T2 y T3.

Tabla 2.

Instrucción/instrucciones activa(s)	Elemento(s) de vector de estado
HA	Altitud
CL/HC	Vector de posición horizontal, vector de velocidad horizontal, ángulo de guiñada
VSL/HVS	Altitud, velocidad vertical, ángulo de cabeceo

30 Por ejemplo, en una orden de VSL o HVS, uno de los estados más afectados por la instrucción de AIDL es la altitud. Por tanto, cuando se ejecuta una instrucción de AIDL de VSL o HVS que se ha clasificado como primer nivel de actividad dinámica (alta), se espera que la altitud experimente una alta variabilidad o ruido en las medidas a partir del sensor que mide el estado (por ejemplo, un acelerómetro). Adicional o alternativamente, otro estado que puede ser el más afectado por una orden de VSL o HVS es el ángulo de cabeceo. Por tanto, cuando se ejecuta una instrucción de AIDL de primer nivel de actividad dinámica (alta) para una maniobra de encabritamiento (por ejemplo, aumentando la velocidad en la dirección Z o vertical y/o el ángulo de cabeceo), se espera que uno o más sensores asociados con medir el ángulo de cabeceo experimenten más ruido y/o variabilidad (por ejemplo, a partir del viento) en la señal. En otros ejemplos, más o menos estados pueden verse afectados por una instrucción de AIDL. Mapeando la(s) instrucción/instrucciones de AIDL con el/los elemento(s) de vector de estado, la ayuda 218 de AIDL determina el/los estado(s) de aeronave que va(n) a verse afectado(s) por una instrucción de AIDL.

40 Una vez identificado(s) el/los estado(s) para una instrucción de AIDL, un modificador 306 de peso cambia el peso que se da a las medidas para el/los estado(s) tal como se mide(n) mediante el/los sensor(es) del INS 210. Dicho de otro modo, identificando el/los estado(s) que va(n) a verse afectado(s) y, por tanto, más variable(s), se impone menos peso sobre las medidas a partir del INS 210 de esos estados cuando se reconstruye el estado de la aeronave. Por ejemplo, si el filtro 214 de navegación emplea un EKF, pueden modificarse las covarianzas de ruido de procedimiento o de medida. Como ejemplo, cuando un estado entra en el primer nivel de actividad dinámica (alta) como resultado de la instrucción de AIDL actual, la covarianza de ruido de procedimiento en Q correspondiente al estado de aeronave afectado se divide entre un factor de 10. Como resultado, al estado de aeronave tal como se mide mediante el INS 210 se le da menos peso, debido a la disminución del factor de covarianza. De lo contrario, cuando está en el segundo nivel de actividad dinámica (baja), se multiplica el mismo término de covarianza de ruido de procedimiento por un factor de 10. En otros ejemplos, pueden definirse más o menos categorías o niveles, y pueden asignarse diferentes factores de ponderación a cada nivel. Por ejemplo, la ayuda 218 de AIDL puede clasificar los hilos de comportamiento dinámico en un primero (alto), segundo (medio-alto), tercero (medio-bajo) y cuarto (bajo), en los que un estado de primer nivel de actividad dinámica (alta) se multiplica por un factor de 10, un estado de segundo nivel de actividad dinámica (media-alta) se multiplica por un factor de 5, un estado de tercer nivel de actividad dinámica (media-baja) se divide entre un factor de 5, y un estado de cuarto nivel de actividad dinámica (baja) se divide entre un factor de 10. En el ejemplo ilustrado, el

modificador 306 de peso se implementa en el filtro 214 de navegación. Sin embargo, en otros ejemplos, el modificador 306 de peso puede implementarse mediante la ayuda 218 de AIDL.

Adicional o alternativamente, el modificador 306 de peso asigna más o menos peso al estado según se predice por el modelo dinámico interno. Por ejemplo, el procedimiento de EKF se separa generalmente en un procedimiento de predictor y un procedimiento de observador, en el que el estado se propaga en primer lugar hacia delante usando ecuaciones de estado (es decir, el estado predicho o el modelo dinámico interno), y después las ecuaciones de observador siguen en segundo lugar en las que se actualiza el estado predicho. En el ejemplo ilustrado, el filtro 214 de navegación incluye un modelador 308 de estado dinámico interno que predice cómo está evolucionando el estado con el tiempo (por ejemplo, el modelo dinámico interno), y un modelador 310 de estado medido actualiza el estado predicho con medidas periódicas a partir del INS 210, que se reciben a diferentes frecuencias, para determinar cómo está evolucionando el estado a lo largo del tiempo. En vez de basarse fuertemente en las medidas a partir del INS 210 durante el procedimiento de observador, el modificador 306 de peso cambia el esquema de ponderación para imponer más peso sobre las medidas de estado a medida que se propagan durante el procedimiento de predictor (por ejemplo, a partir del modelador 308 de estado dinámico interno). Como resultado, se introduce menos deriva en la estimación mediante las señales de sensor con ruido. Por tanto, las matrices de ruido de procedimiento y de ruido de medida Q y R definen un procedimiento de ponderación dentro del EKF que o bien da más crédito o bien al estado propagado mediante el modelo dinámico interno o bien al estado determinado mediante las medidas a partir del INS 210. Por tanto, cuando más ruido tienen las medidas de sensor, más peso relativo puede asignarse a la propagación de estado interno dado que puede imponerse más confianza en las predicciones que en los valores medidos. Por ejemplo, cambiar el esquema de ponderación para la medida puede incluir aumentar o reducir un factor de covarianza de la medida en al menos una de una matriz de ruido de procedimiento Q o una matriz de ruido de medida R del EKF.

En algunos ejemplos, pueden implementarse una o más ayudas de aumento relativo o absoluto en combinación con la ayuda 222 de AIDL para aumentar la precisión de la trayectoria estimación. Las ayudas de aumento relativo incluyen, por ejemplo, una ayuda de modelo dinámico (por ejemplo, que emplea un modelo de prestaciones de aeronave dinámico), una ayuda de estimación del viento, una ayuda de flujo óptico (por ejemplo, que calcula la velocidad respecto al suelo de una aeronave basándose en imágenes de cámaras), predicción de trayectoria estocástica y/o configuraciones de sensores redundantes. Las ayudas de aumento absoluto incluyen, por ejemplo, seguimiento de vector de GPS (por ejemplo, navegación inercial estrechamente integrada), ayudas de radio definida por software (SDR), ayudas de navegación cooperativa, ayudas de navegación de señal de oportunidad (SOP) y/o técnicas de localización basadas en el terreno (por ejemplo, un sistema de terreno digital (DTS), navegación basada en visión, etc.).

Aunque en las figuras 2 y 3 se ilustra una manera de ejemplo de implementar el sistema 200 de navegación, uno o más de los elementos, procedimientos y/o dispositivos ilustrados en las figuras 2 y 3 pueden combinarse, dividirse, reordenarse, omitirse, eliminarse y/o implementarse de cualquier otra manera. Además, la información 202 de intención de aeronave de ejemplo, el FCS 204 de ejemplo, el/los sensor(es) 206 de ejemplo, el sensor 208 de GPS de ejemplo, el INS 210 de ejemplo, los sensores 212a-212n de ejemplo, el filtro 214 de navegación de ejemplo, la ayuda 218 de AIDL de ejemplo, el intérprete 300 de perfil dinámico de ejemplo, el elemento 302 de asignación de nivel de actividad dinámica de ejemplo, el elemento 304 de mapeo de estado de aeronave de ejemplo, el modificador 306 de peso de ejemplo, el generador 308 de estado dinámico interno de ejemplo, el modelador 310 de estado medido de ejemplo y/o, más generalmente, el sistema 200 de navegación de ejemplo de las figuras 2 y 3 pueden implementarse mediante hardware, software, firmware y/o cualquier combinación de hardware, software y/o firmware. Por tanto, por ejemplo, cualquiera de la información 202 de intención de aeronave de ejemplo, el FCS 204 de ejemplo, el/los sensor(es) 206 de ejemplo, el sensor 208 de GPS de ejemplo, el INS 210 de ejemplo, los sensores 212a-212n de ejemplo, el filtro 214 de navegación de ejemplo, la ayuda 218 de AIDL de ejemplo, el intérprete 300 de perfil dinámico de ejemplo, el elemento 302 de asignación de nivel de actividad dinámica de ejemplo, el elemento 304 de mapeo de estado de aeronave de ejemplo, el modificador 306 de peso de ejemplo, el generador 308 de estado dinámico interno de ejemplo, el modelador 310 de estado medido de ejemplo y/o, más generalmente, el sistema 200 de navegación de ejemplo pueden implementarse mediante uno o más circuitos analógicos o digitales, circuitos lógicos, procesadores programables, circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC), dispositivos lógicos programables (PLD) y/o dispositivos lógicos programables en campo (FPLD). Cuando se lee cualquiera de las reivindicaciones de aparato o sistema de esta patente que cubre una implementación puramente de software y/o firmware, al menos uno de la información 202 de intención de aeronave de ejemplo, el FCS 204 de ejemplo, el/los sensor(es) 206 de ejemplo, el sensor 208 de GPS de ejemplo, el INS 210 de ejemplo, los sensores 212a-212n de ejemplo, el filtro 214 de navegación de ejemplo, la ayuda 218 de AIDL de ejemplo, el intérprete 300 de perfil dinámico de ejemplo, el elemento 302 de asignación de nivel de actividad dinámica de ejemplo, el elemento 304 de mapeo de estado de aeronave de ejemplo, el modificador 306 de peso de ejemplo, el generador 308 de estado dinámico interno de ejemplo y/o el modelador 310 de estado medido de ejemplo se define expresamente en el presente documento que incluye un dispositivo de almacenamiento legible por ordenador tangible o disco de almacenamiento tal como una memoria, un disco versátil digital (DVD), un disco compacto (CD), un disco Blu-ray, etc., que almacena el software y/o firmware. Todavía adicionalmente, el sistema 200 de navegación de ejemplo de las figuras 2 y 3 puede incluir uno o más elementos, procedimientos y/o dispositivos además de, o en lugar de, los ilustrados en las figuras 2 y 3, y/o puede incluir más de uno de cualquiera o la totalidad de los elementos, procedimientos y dispositivos ilustrados.

En la figura 4 se muestra un diagrama de flujo representativo de método de ejemplo para implementar el sistema 200 de navegación de las figuras 2 y 3. En este ejemplo, el método puede implementarse usando instrucciones legibles por



máquina que comprenden una programa para su ejecución por un procesador tal como el procesador 512 mostrado en la plataforma 500 de procesador de ejemplo comentada a continuación en relación con la figura 5. El programa puede implementarse en software almacenado en un medio de almacenamiento legible por ordenador tangible tal como un CD-ROM, un disco flexible, un disco duro, un disco versátil digital (DVD), un disco Blu-ray o una memoria asociada con el procesador 512, pero el programa completo y/o partes del mismo pueden ejecutarse alternativamente por un dispositivo distinto del procesador 512 y/o implementado en firmware o hardware dedicado. Además, aunque el programa de ejemplo se describe con referencia al diagrama de flujo ilustrado en la figura 4, alternativamente pueden usarse muchos otros métodos de implementación del sistema 200 de navegación de ejemplo. Por ejemplo, puede cambiarse el orden de ejecución de los bloques y/o algunos de los bloques descritos pueden cambiarse, eliminarse o combinarse.

Tal como se mencionó anteriormente, el método de ejemplo de la figura 4 puede implementarse usando instrucciones codificadas (por ejemplo, instrucciones legibles por ordenador y/o máquina) almacenadas en un medio de almacenamiento legible por ordenador tangible tal como una unidad de disco duro, una memoria flash, una memoria de sólo lectura (ROM), un disco compacto (CD), un disco versátil digital (DVD), una memoria caché, una memoria de acceso aleatorio (RAM) y/o cualquier otro dispositivo de almacenamiento o disco de almacenamiento en el que se almacena información durante cualquier duración (por ejemplo, durante periodos de tiempo prolongados, de manera permanente, durante casos breves, durante almacenamiento en memoria intermedia de manera temporal y/o durante almacenamiento en memoria caché de la información). Tal como se usa en el presente documento, se define expresamente que el término medio de almacenamiento legible por ordenador tangible incluye cualquier tipo de dispositivo de almacenamiento legible por ordenador y/o disco de almacenamiento y excluye señales en propagación y excluye medios de transmisión. Tal como se usa en el presente documento, "medio de almacenamiento legible por ordenador tangible" y "medio de almacenamiento legible por máquina tangible" se usan de manera intercambiable. Adicional o alternativamente, el método de ejemplo de la figura 4 puede implementarse usando instrucciones codificadas (por ejemplo, instrucciones legibles por ordenador y/o máquina) almacenadas en un medio legible por ordenador y/o máquina no transitorio tal como una unidad de disco duro, una memoria flash, una memoria de sólo lectura, un disco compacto, un disco versátil digital, una memoria caché, una memoria de acceso aleatorio y/o cualquier otro dispositivo de almacenamiento o disco de almacenamiento en el que se almacena información durante cualquier duración (por ejemplo, durante periodos de tiempo prolongados, de manera permanente, durante casos breves, durante almacenamiento en memoria intermedia de manera temporal y/o durante almacenamiento en memoria caché de la información). Tal como se usa en el presente documento, se define expresamente que el término medio legible por ordenador no transitorio incluye cualquier tipo de dispositivo de almacenamiento legible por ordenador y/o disco de almacenamiento y excluye señales en propagación y excluye medios de transmisión. Tal como se usa en el presente documento, cuando se usa la frase "al menos" como término de transición en un preámbulo de una reivindicación, es abierta de la misma manera que es abierto el término "que comprende".

Pasando en detalle a los dibujos, la figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método 400 de ejemplo para implementar el sistema 200 de navegación de ejemplo de la figura 2 para estimar una posición (por ejemplo, ubicación) o una trayectoria de una aeronave, tal como el UAV 100 (figura 1). Durante la navegación normal cuando está disponible información de posición absoluta (por ejemplo, a partir del sensor de GPS), el sistema 200 de navegación usa una combinación de las medidas a partir del INS 210 y la información de posición absoluta (por ejemplo, a partir del sensor 208 de GPS) para determinar la posición o trayectoria del UAV 100. En el bloque 402, el sistema 200 de navegación determina si el UAV 100 está en un entorno sin GPS detectando la disponibilidad y/o intensidad de la señal de GPS. En algunos ejemplos, la determinación se realiza mediante el filtro 214 de navegación. Si el filtro 214 de navegación determina que está disponible señal de GPS y es suficiente, el sistema 200 de navegación continúa funcionando de manera normal. En particular, en el bloque 404, el filtro 214 de navegación usa las medidas de PVT absolutas a partir del sensor 208 de GPS y la(s) medida(s) a partir del INS 210 para determinar la trayectoria del UAV 100. Después, el sistema 200 de navegación continúa monitorizando la presencia e intensidad de las señales de GPS (bloque 402).

Si el filtro 214 de navegación determina que el UAV 100 está en un entorno sin GPS (en el bloque 402), la ayuda 218 de AIDL clasifica los tres hilos de comportamiento dinámico (longitudinal, lateral y movimiento de propulsión) en dos o más niveles de actividad dinámica (por ejemplo, niveles de actividad dinámica alta y baja) (bloque 406). Por ejemplo, un primer nivel de actividad dinámica (alta) para el hilo longitudinal puede ser un aumento del cabeceo mayor de o igual a aproximadamente 15°, y un segundo nivel de actividad dinámica (baja) para el hilo longitudinal puede ser un aumento del cabeceo menor de aproximadamente 15°.

En el bloque 408, la ayuda 218 de AIDL recibe una instrucción de AIDL a partir de la información 202 de intención de aeronave. La instrucción de AIDL está asociada con una maniobra (por ejemplo, una maniobra longitudinal, una maniobra lateral, etc.) para el UAV 100. En el bloque 410, la ayuda 218 de AIDL determina si la instrucción de AIDL está asociada con el primer nivel de actividad dinámica (alta) en uno de los tres hilos de comportamiento dinámico. En algunos ejemplos, la ayuda 218 de AIDL compara la instrucción de AIDL y/o la maniobra correspondiente con un umbral y determina si la instrucción de AIDL y/o la maniobra correspondiente cumple el umbral. En algunos ejemplos, si la instrucción de AIDL no se identifica como primer nivel de actividad dinámica (alta) (por ejemplo, la instrucción de AIDL está asociada con el segundo nivel de actividad dinámica (baja)), el filtro 214 de navegación estima la posición o trayectoria del UAV 100 usando la(s) medida(s) a partir del INS 210 sin cambiar el peso de la(s) medida(s) (bloque 412). En otros ejemplos, si la instrucción de AIDL está asociada con el segundo nivel de actividad dinámica (baja), el modificador 306 de peso cambia el esquema de ponderación para aplicar más peso al estado tal como se mide

mediante el INS 210. En algunos ejemplos, pueden establecerse múltiples niveles de actividad dinámica, y cada nivel puede corresponder a un peso diferente que va a aplicarse al estado correspondiente.

5 Si la instrucción de AIDL se identifica como el primer nivel de actividad dinámica (alta) (por ejemplo, una actividad dinámica alta), en el bloque 414 la ayuda 218 de AIDL mapea la instrucción de AIDL al uno o más estados (o vectores de estado) que se ven afectados por la instrucción de AIDL, concretamente, los estados de aeronave que se espera que experimenten un nivel de actividad dinámica alta. Una vez identificado(s) el/los estado(s), en el bloque 416 el filtro 214 de navegación cambia un esquema de ponderación (por ejemplo, un peso) para una medida del estado de aeronave obtenida mediante el INS 210. En algunos ejemplos, el esquema de ponderación para la medida se cambia en respuesta a que el UAV 100 esté en un entorno sin GPS. En algunos ejemplos, cambiar el esquema de ponderación incluye asignar una ponderación inferior a la medida obtenida mediante el INS 210. Por ejemplo, pueden reducirse los factores de covarianza de ruido de procedimiento o de medida. Adicional o alternativamente, en algunos ejemplos se asigna más o menos peso al estado tal como se determina mediante el modelador 308 de estado dinámico interno. Por ejemplo, la medida obtenida mediante el INS 210 puede ser una primera medida, y puede determinarse una segunda medida basándose en el modelo dinámico interno generado mediante el modelador 308 de estado dinámico interno. En algunos ejemplos de este tipo, cambiar el esquema de ponderación para la primera medida (por ejemplo, la medida obtenida mediante el INS 210) incluye asignar una ponderación superior a la segunda medida (por ejemplo, la medida determinada mediante el modelo dinámico interno). En el bloque 412, el filtro 214 de navegación usa el esquema de ponderación modificado o alterado y la medida para estimar (o actualizar una estimación de) la posición o la trayectoria del UAV 100. El filtro 214 de navegación estima la posición o trayectoria (por ejemplo, la OT 216) sin una medida de posición absoluta. Reduciendo el peso impuesto sobre las medidas de estado con ruido, se introduce menos error en el modelo de navegación, mejorando así la precisión de la estimación de posición o de trayectoria.

En algunos ejemplos, se cambia el esquema de ponderación en respuesta a la detección de medidas instantáneas con ruido del comportamiento dinámico. Por ejemplo, si se reciben señales con ruido a partir del INS 210 mediante el filtro 214 de navegación, el filtro 214 de navegación cambia el esquema de ponderación para imponer menos peso sobre el/los estado(s) de aeronave tal como se mide(n) mediante el INS 210.

En el bloque 418, el sistema 200 de navegación determina si debe implementarse otra instrucción por el UAV 100. Si la aeronave ha aterrizado o se ha completado la misión, por ejemplo, el método 400 de ejemplo termina (bloque 420). De lo contrario, la ayuda 218 de AIDL continúa identificando si las instrucciones de AIDL están asociadas con altos niveles de actividad dinámica y el filtro 214 de navegación continúa modificando el esquema de ponderación en consecuencia.

30 La figura 5 es un diagrama de bloques de una plataforma 500 de procesador de ejemplo que puede ejecutar las instrucciones para implementar el método 400 de la figura 4 y el sistema 200 de navegación de las figuras 2 y 3. La plataforma 500 de procesador puede ser, por ejemplo, un servidor, un ordenador personal, un dispositivo móvil (por ejemplo, un teléfono celular, un teléfono inteligente, una tableta tal como un iPad™), un asistente digital personal (PDA), un ordenador de Internet, un reproductor de DVD, un reproductor de CD, un grabador de vídeo digital, un reproductor de Blu-ray, una consola de videojuegos, un grabador de vídeo personal o cualquier otro tipo de dispositivo informático.

40 La plataforma 500 de procesador del ejemplo ilustrada incluye un procesador 512. El procesador 512 del ejemplo ilustrado incluye hardware que puede implementar uno o más de la información 202 de intención de aeronave de ejemplo, el FCS 204 de ejemplo, el/los sensor(es) 206 de ejemplo, el sensor 208 de GPS de ejemplo, el INS 210 de ejemplo, los sensores 212a-212n de ejemplo, el filtro 214 de navegación de ejemplo, la ayuda 218 de AIDL de ejemplo, el intérprete 300 de perfil dinámico de ejemplo, el elemento 302 de asignación de nivel de actividad dinámica de ejemplo, el elemento 304 de mapeo de estado de aeronave de ejemplo, el modificador 306 de peso de ejemplo, el generador 308 de estado dinámico interno de ejemplo y/o el modelador 310 de estado medido de ejemplo. Por ejemplo, el procesador 512 puede implementarse mediante uno o más circuitos integrados, circuitos lógicos, microprocesadores o controladores de cualquier familia o fabricante deseado.

45 El procesador 512 del ejemplo ilustrado incluye una memoria 513 local (por ejemplo, una memoria caché). El procesador 512 del ejemplo ilustrado está en comunicación con una memoria principal que incluye una memoria 514 volátil y una memoria 516 no volátil mediante un bus 518. La memoria 514 volátil puede implementarse mediante memoria de acceso aleatorio dinámica síncrona (SDRAM), memoria de acceso aleatorio dinámica (DRAM), memoria de acceso aleatorio dinámica RAMBUS (RDRAM) y/o cualquier otro tipo de dispositivo de memoria de acceso aleatorio. La memoria 516 no volátil puede implementarse mediante memoria flash y/o cualquier otro tipo deseado de dispositivo de memoria. El acceso a la memoria 514, 516 principal se controla mediante un controlador de memoria.

La plataforma 500 de procesador del ejemplo ilustrado también incluye un circuito 520 de interfaz. El circuito 520 de interfaz puede implementarse mediante cualquier tipo de norma de interfaz, tal como una interfaz de Ethernet, un bus serie universal (USB) y/o una interfaz PCI Express.

55 En el ejemplo ilustrado, uno o más dispositivos 522 de entrada están conectados al circuito 520 de interfaz. El/los dispositivo(s) 522 de entrada permite(n) a un usuario introducir datos y órdenes en el procesador 512. El/los dispositivo(s) de entrada puede(n) implementarse, por ejemplo, mediante un sensor de audio, un micrófono, una cámara (fotográfica o de vídeo), un teclado, un botón, un ratón, una pantalla táctil, un panel táctil, una bola de seguimiento, dispositivo Isopoint y/o un sistema de reconocimiento de voz.

- 5 Uno o más dispositivos 524 de salida también están conectados al circuito 520 de interfaz del ejemplo ilustrado. Los dispositivos 524 de salida pueden implementarse, por ejemplo, mediante dispositivos de visualización (por ejemplo, un diodo emisor de luz (LED), un diodo emisor de luz orgánico (OLED), una pantalla de cristal líquido, una pantalla de tubo de rayos catódicos (CRT), una pantalla táctil, un dispositivo de salida táctil, una impresora y/o altavoces). Por tanto, el circuito 520 de interfaz del ejemplo ilustrado incluye normalmente una tarjeta de controlador de gráficos, un chip de controlador de gráficos o un procesador de controlador de gráficos.
- 10 El circuito 520 de interfaz del ejemplo ilustrado también incluye un dispositivo de comunicación tal como un transmisor, un receptor, un transceptor, un módem y/o tarjeta de interfaz de red para facilitar el intercambio de datos con máquinas externas (por ejemplo, dispositivos informáticos de cualquier clase) mediante una red 526 (por ejemplo, una conexión de Ethernet, una línea de abonado digital (DSL), una línea telefónica, cable coaxial, un sistema de telefonía celular, etc.).
- 15 La plataforma 500 de procesador del ejemplo ilustrado también incluye uno o más dispositivos 528 de almacenamiento en masa para almacenar software y/o datos. Los ejemplos de tales dispositivos 528 de almacenamiento en masa incluyen unidades de disco flexible, unidades de disco duro, unidades de disco compacto, unidades de disco Blu-ray, sistemas RAID y unidades de disco versátil digital (DVD).
- 20 Pueden almacenarse instrucciones 532 codificadas para implementar el método 400 de ejemplo de la figura 4 en el dispositivo 528 de almacenamiento en masa, en la memoria 514 volátil, en la memoria 516 no volátil y/o en un medio de almacenamiento legible por ordenador tangible extraíble tal como un CD o DVD.
- 25 A partir de lo anterior, se apreciará que los métodos, aparatos/sistemas y artículos de fabricación dados a conocer anteriormente mejoran las predicciones y reducen el error de sistema de navegación en un UAS que navega en un entorno sin GPS. Los sistemas de navegación de ejemplo dados a conocer en el presente documento usan el comportamiento dinámico indicado que está siguiéndose (por ejemplo, basándose en la(s) instrucción/instrucciones de AIDL) y modifican o cambian los términos de covarianza de modelo de procedimiento y/o modelo de medida subyacentes que, en efecto, definen el procedimiento de fusión de información. Como resultado, los sistemas de navegación dados a conocer producen una trayectoria observada que se asemeja más claramente a la trayectoria real en la que está volando un UAS. Se ha demostrado que esta técnica proporciona prestaciones superiores en determinados entornos tales como las situaciones sin GPS descritas en el presente documento. Aunque las técnicas dadas a conocer en el presente documento se describen en relación con un UAV, se entiende que las técnicas de ejemplo pueden implementarse de manera similar en cualquier aeronave tripulada que también emplea un sistema de navegación con un filtro de navegación que estima una ubicación o trayectoria de aeronave.
- 30 Según otro aspecto de la presente divulgación, que no forma parte de la invención, se proporciona un medio de almacenamiento legible por ordenador tangible que comprende instrucciones que, cuando se ejecutan, hacen que una máquina al menos identifique una instrucción de AIDL como asociada con una actividad dinámica alta; determine un estado de aeronave que va a verse afectado por la instrucción de AIDL; cambie un esquema de ponderación para una medida del estado de aeronave obtenido mediante un sistema de navegación inercial (INS) de la aeronave; y estime una trayectoria de la aeronave basándose en el esquema de ponderación y la medida.
- 35 Además se da a conocer el medio de almacenamiento legible por ordenador tangible en el que la medida es una primera medida, las instrucciones hacen además que la máquina genere un modelo dinámico interno de la aeronave; y determine una segunda medida para el estado de aeronave basándose en el modelo dinámico interno.
- 40 Además se da a conocer el medio de almacenamiento legible por ordenador tangible en el que las instrucciones, cuando se ejecutan, hacen que la máquina cambie el esquema de ponderación para la primera medida asignando una ponderación superior a la segunda medida.
- 45 Además se da a conocer el medio de almacenamiento legible por ordenador tangible en el que las instrucciones, cuando se ejecutan, sirven para identificar la instrucción de AIDL de aeronave como la actividad dinámica alta comparando una maniobra asociada con la instrucción de AIDL con un umbral; e identificando la instrucción de AIDL como la actividad dinámica alta basándose en la comparación.
- 50 Además se da a conocer el medio de almacenamiento legible por ordenador tangible en el que las instrucciones, cuando se ejecutan, hacen que la máquina estime la trayectoria de la aeronave sin una medida de posición absoluta.
- Aunque en el presente documento se han dado a conocer determinados métodos, aparatos/sistemas y artículos de fabricación de ejemplo, el alcance de cobertura de esta patente no se limita a los mismos. Por el contrario, esta patente cubre todos los métodos, aparatos/sistemas y artículos de fabricación que se encuentren justamente dentro del alcance de las reivindicaciones de esta patente.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para estimar una posición o trayectoria de una aeronave en un entorno sin GPS que comprende:  
 obtener, mediante un sistema (210) de navegación inercial, una medida de estado de una aeronave (100);  
 5 cambiar, con un filtro (214) de navegación, un esquema de ponderación para la medida de estado de la aeronave (100);  
 y  
 10 estimar, con el filtro (214) de navegación, una posición o trayectoria de la aeronave (100) basándose en el esquema de ponderación y la medida de estado;  
 caracterizado porque el método comprende además:  
 recibir una instrucción de AIDL asociada con una maniobra para la aeronave;  
 10 identificar, con una ayuda (218) de lenguaje de descripción de intención de aeronave, la instrucción de AIDL de la aeronave (100) que va a asociarse con un nivel de actividad dinámica de una pluralidad de niveles de actividad dinámica;  
 determinar, con la ayuda (218) de lenguaje de descripción de intención de aeronave, al menos un estado de aeronave que va a verse afectado por la instrucción de AIDL;  
 15 en el que la etapa de cambiar el esquema de ponderación para la medida de estado se realiza para la medida de estado para el al menos un estado de aeronave afectado por la instrucción de AIDL.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de niveles de actividad dinámica incluyen un primer nivel de actividad dinámica y un segundo nivel de actividad dinámica, estando el primer nivel de actividad dinámica asociado con una actividad dinámica alta y estando el segundo nivel de actividad dinámica asociado con una actividad dinámica baja.
- 20 3. Método según la reivindicación 2, en el que cambiar el esquema de ponderación para la medida de estado incluye asignar un peso inferior a la medida de estado para el al menos un estado de aeronave afectado por la instrucción de AIDL.
4. Método según la reivindicación 1, en el que el filtro de navegación incluye un filtro de Kalman extendido (EKF), y en el que cambiar el esquema de ponderación para la medida de estado incluye aumentar o reducir un factor de covarianza de la medida en al menos una de una matriz de ruido de procedimiento Q o una matriz de ruido de medida R del EKF.
- 25 5. Método según la reivindicación 1, en el que la medida de estado obtenida mediante el sistema (210) de navegación inercial es una primera medida, incluyendo el método además:  
 generar un modelo dinámico interno de la aeronave; y  
 determinar una segunda medida para el estado de aeronave basándose en el modelo dinámico interno.
- 30 6. Método según la reivindicación 5, en el que cambiar el esquema de ponderación para la primera medida incluye asignar un peso superior a la segunda medida.
7. Método según la reivindicación 2, en el que identificar la instrucción de AIDL como actividad dinámica alta incluye:  
 comparar una maniobra asociada con la instrucción de AIDL con un umbral; e  
 identificar la instrucción de AIDL como el primer nivel de actividad dinámica basándose en la comparación.
- 35 8. Método según la reivindicación 1, que incluye además determinar cuándo la aeronave está en un entorno sin GPS.
9. Método según la reivindicación 8, que incluye además cambiar el esquema de ponderación para la medida del estado de aeronave en respuesta a que la aeronave está en el entorno sin GPS.
10. Método según la reivindicación 1, en el que el filtro de navegación estima la trayectoria de la aeronave sin una medida de posición absoluta.
- 40 11. Aeronave (100) para estimar su propia posición o trayectoria en un entorno sin GPS, que comprende un sistema (200) de navegación, comprendiendo el sistema de navegación:  
 un sistema (210) de navegación inercial configurado para obtener una medida de estado de la aeronave;  
 un filtro (214) de navegación configurado para cambiar un esquema de ponderación para la medida de estado de la aeronave y estimar una posición o trayectoria de la aeronave (100) basándose en el esquema de ponderación y la  
 45 medida de estado;

caracterizada porque el sistema (200) de navegación comprende además una ayuda (218) de lenguaje de descripción de intención de aeronave configurada para:

recibir una instrucción de AIDL asociada con una maniobra para la aeronave;

5 identificar la instrucción de AIDL de la aeronave (100) como asociada con un primer nivel de actividad dinámica de una pluralidad de niveles de actividad dinámica;

determinar al menos un estado de aeronave que va a verse afectado por la instrucción de AIDL;

en la que el filtro (214) de navegación está configurado para cambiar el esquema de ponderación para la medida de estado para el al menos un estado de aeronave afectado por la instrucción de AIDL.

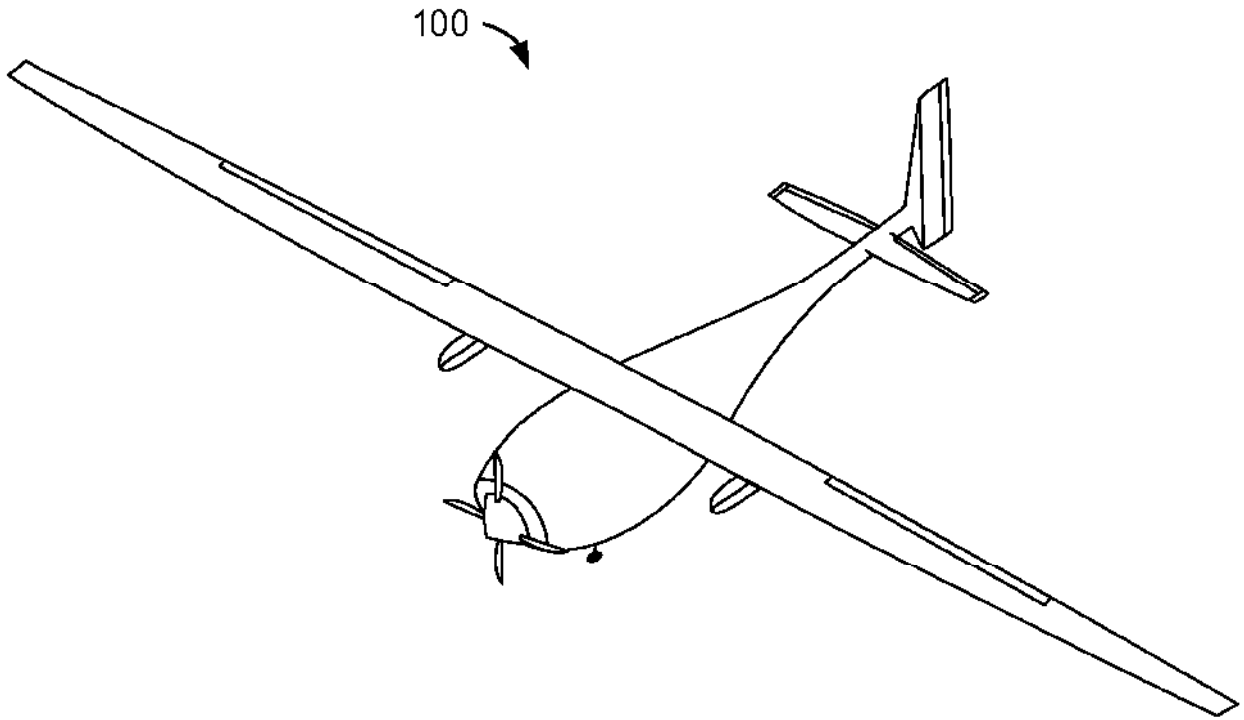
10 12. Aeronave según la reivindicación 11, en la que el filtro (214) de navegación está configurado para cambiar el esquema de ponderación para la medida de estado para el al menos un estado de aeronave afectado por la instrucción de AIDL asignando un peso inferior a la medida si el nivel de actividad dinámica es un nivel de actividad dinámica alta.

13. Aeronave según la reivindicación 11, en la que el filtro (214) de navegación incluye un filtro de Kalman extendido (EKF), y en la que el EKF está configurado para aumentar o reducir un factor de covarianza de la medida en al menos una de una matriz de ruido de procedimiento Q o una matriz de ruido de medida R del EKF.

15 14. Aeronave según la reivindicación 11, en la que el filtro (214) de navegación está configurado para estimar la ubicación de la aeronave sin una medida de posición absoluta.

15. Aeronave según la reivindicación 11, en la que el sistema (210) de navegación inercial incluye al menos uno de un acelerómetro, un giroscopio, un magnetómetro, un sensor de presión estática, un sensor de presión dinámica o un sensor de temperatura.

20



**FIG. 1**

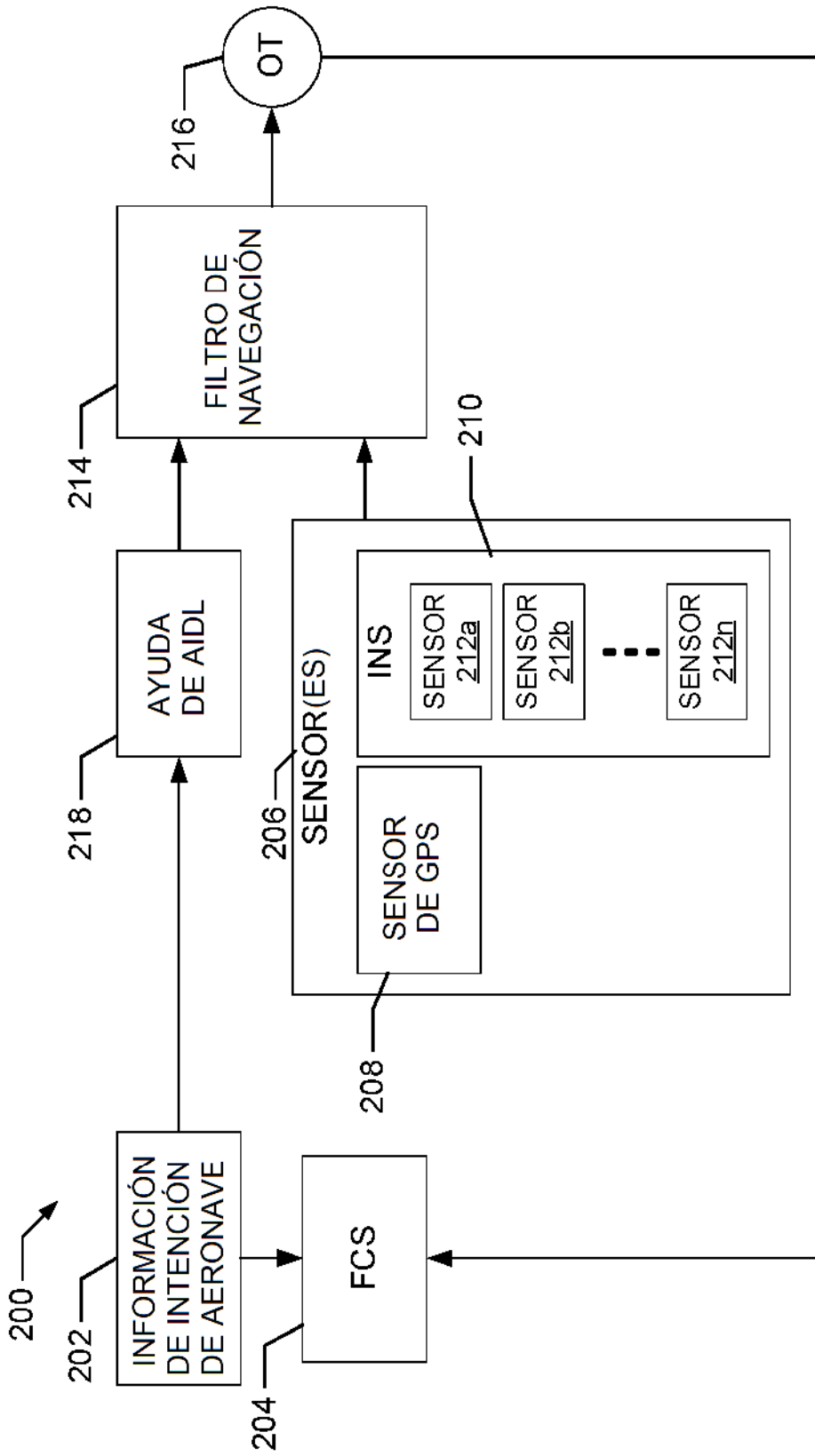


FIG. 2

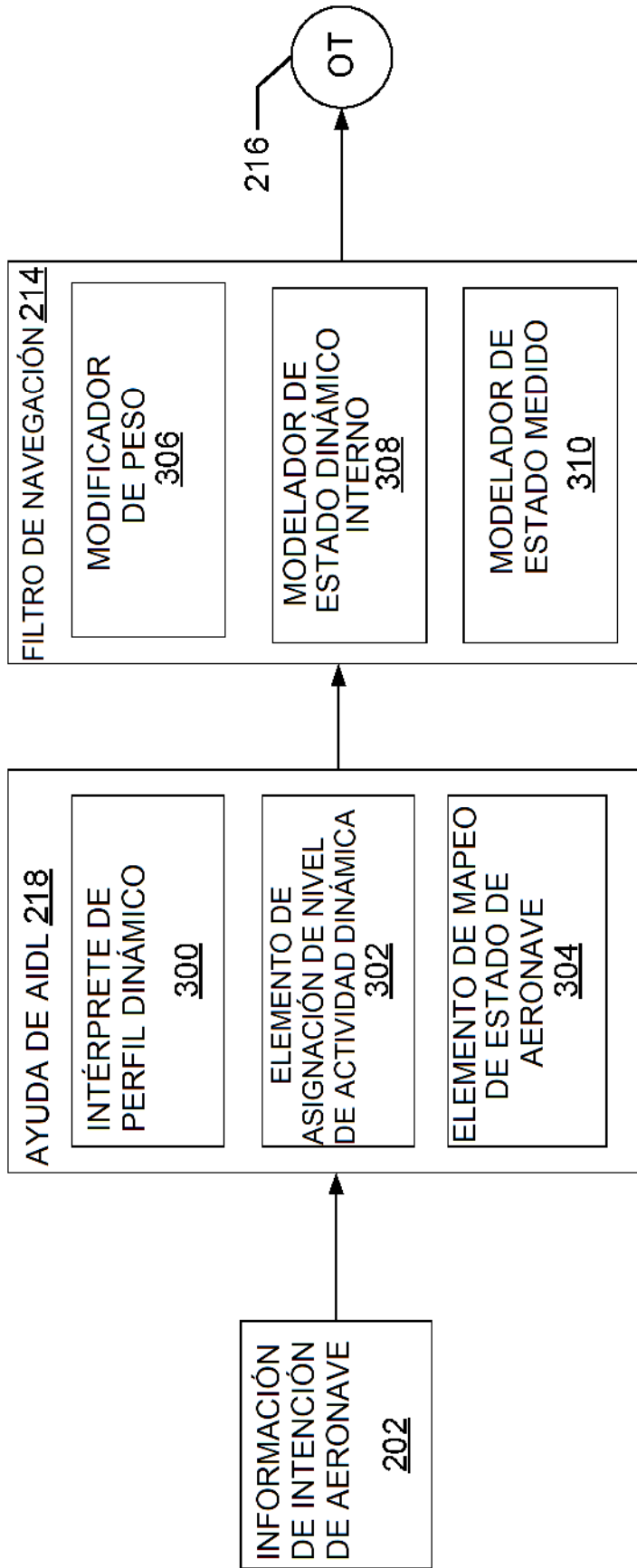


FIG. 3



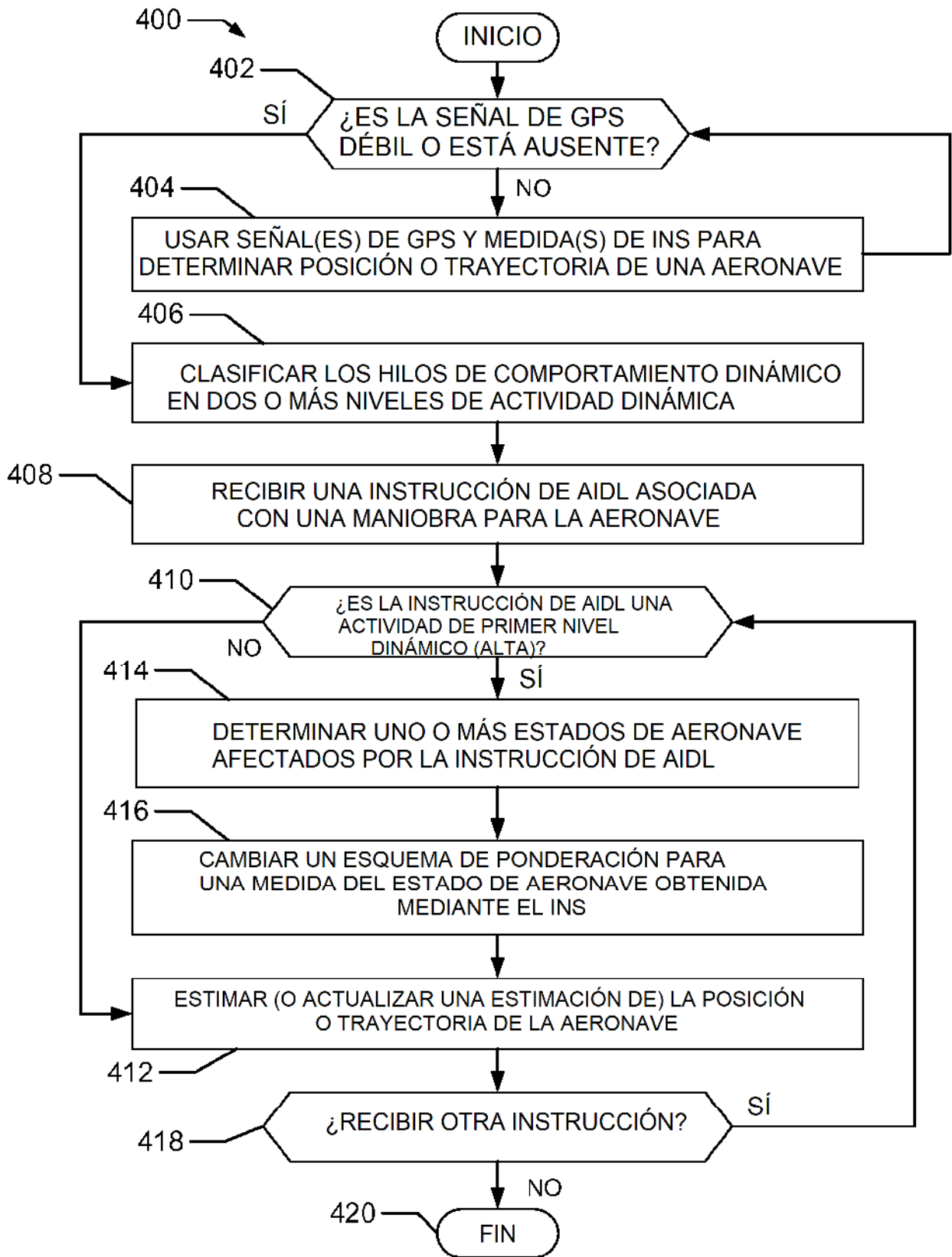


FIG. 4

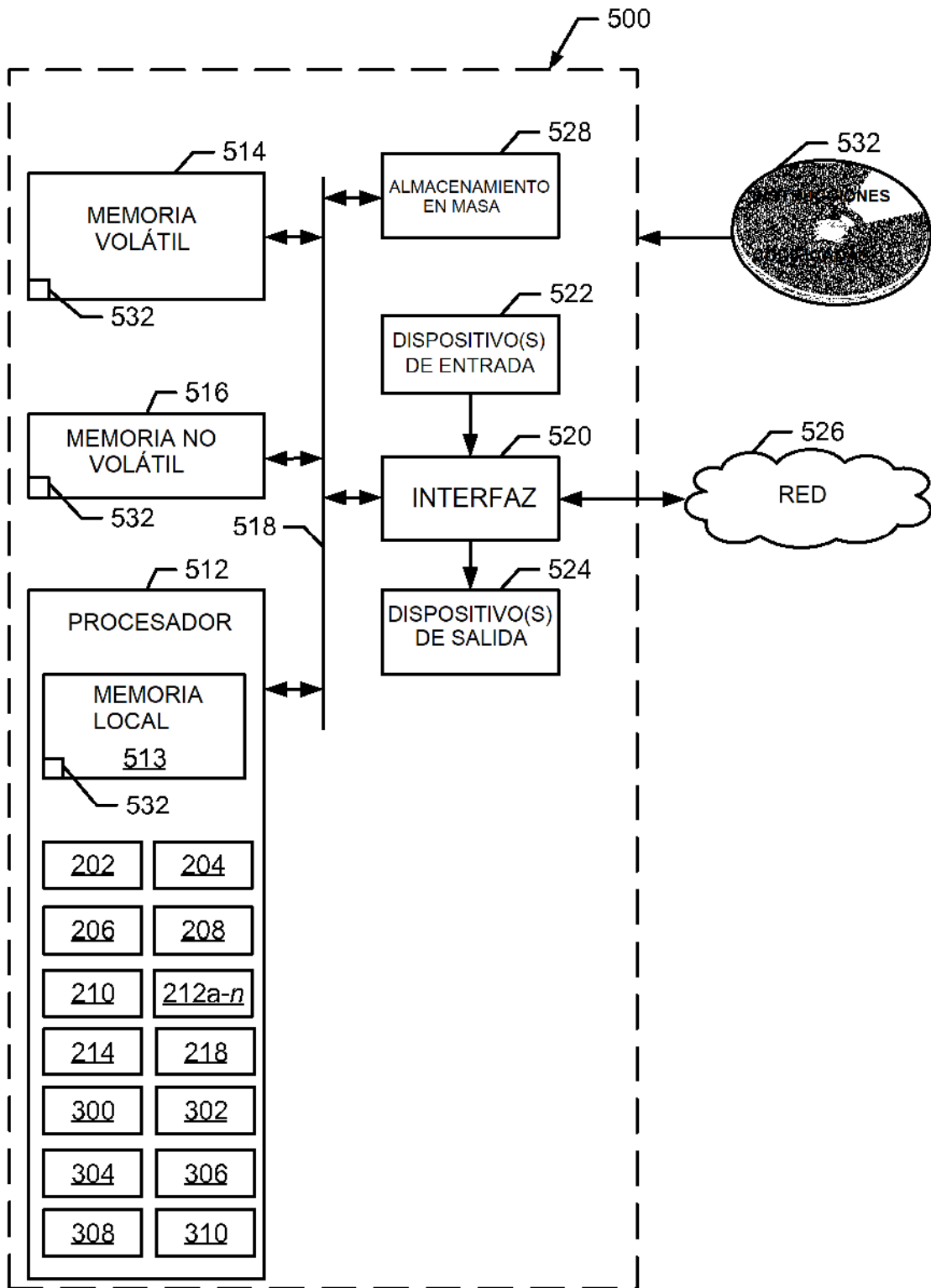


FIG. 5