

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 532 529**

51 Int. Cl.:

**G01S 5/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2011 E 11005801 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.12.2014 EP 2546674**

54 Título: **Navegación relativa a plataforma utilizando mediciones de rango**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.03.2015**

73 Titular/es:

**AIRBUS DS GMBH (100.0%)  
Robert-Koch-Str. 1  
82024 Taufkirchen, DE**

72 Inventor/es:

**WENDEL, JAN, DR.**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 532 529 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

Navegación relativa a plataforma utilizando mediciones de rango

### Campo técnico

5 La invención se refiere a un método para la navegación relativa a plataforma utilizando mediciones de rango de acuerdo con la reivindicación 1.

### Antecedentes

10 Para muchas aplicaciones, deben conocerse la posición y la ubicación relativas entre dos plataformas. Estas aplicaciones incluyen el aterrizaje automático de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) sobre una plataforma fija o móvil como un buque, asistencia al piloto para el aterrizaje, asistencia para el atraque de un buque y muchas más. Además, es deseable que esta información esté disponible también en entornos denegados GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite). Para mayor simplicidad, una de las plataformas implicadas se designa a continuación como buque, la otra plataforma como UAV.

15 Por ejemplo, el documento FR 2 836 554 A describe un sistema de aterrizaje para UAVs con transmisores a bordo de un UAV y receptores para señales desde los transmisores localizados sobre la plataforma de aterrizaje para el UAV sobre un buque. Alternativamente, los transmisores pueden estar localizados sobre el buque y el UAV puede comprender receptores para señales transmitidas por los transmisores desde el buque. Los retrasos de las señales transmitidas se utilizan para calcular la posición del UAV con relación al buque.

20 Un sistema de navegación que es capaz de proporcionar la información requerida de la posición y de la ubicación relativas consta de cuatro o más transpondedores a bordo del buque y tres o más antenas a bordo del UAV. Las antenas transmiten señales de interrogación que son contestadas por los transpondedores. Luego, estas respuestas son recibidas por las antenas. Se mide el tiempo entre la transmisión de una señal de interrogación y la recepción de una respuesta, que permite calcular el rango entre la antena y el transpondedor de respuesta.

25 También se puede medir la desviación Doppler de la señal recibida, que se puede convertir en una medición de la velocidad relativa entre la antena y el transpondedor. Un sistema para seguimiento de objetivos móviles como aviones, que utiliza mediciones de la desviación Doppler para calcular la velocidad radial de un objetivo desde una estación, se describe en el documento US 3.706.096 A.

30 Además, en lugar de utilizar transpondedores a bordo del buque, se pueden utilizar también pseudolitos sincronizados. Estos pseudolitos transmiten señales similares a señales GNSS que son recibidas con las antenas a bordo del UAV. En tal escenario, el UAV no tiene que transmitir señales, sino que las mediciones de rango son desviadas por la desviación del reloj del receptor, y las mediciones Doppler son desviadas por el error de frecuencia del reloj del receptor.

35 Un sistema de navegación relativa como se ha descrito anteriormente se describe en la publicación "Stand-Alone Ship-Relative Navigation System Based on Pseudolite Technology"; Aulitzky, C.; Heinzinger, O.; Bestmann, U.; Hecker, P.; " AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 10 -13 Agosto 2009, Chicago, Illinois, USA. En el método presentado en este Artículo, la posición relativa de cada antena con relación al bastidor del cuerpo del buque se estima utilizando un método de mínimos cuadrados no lineales y se aplican limitaciones para considerar la geometría relativa entre estas antenas. Luego, se calcula la ubicación relativa a partir de las posiciones relativas de las antenas. Esta solución tiene varios inconvenientes:

- El número de incógnitas que deben estimarse crece con el número de antenas.
- 40 - No se pueden considerar mediciones Doppler.
- Las mediciones de rango realizadas desde todas las antenas hasta todos los transpondedores / pseudolitos deben ser válidas en el mismo instante, en otro caso se introducen errores sistemáticos. En otras palabras, no es posible realizar secuencialmente mediciones, es decir, medir rangos entre la primera antena y los transpondedores / pseudolitos, luego medir rangos con la segunda antena y después de eso medir rangos con la tercera antena. Tal método proporciona mediciones de rango con un tiempo de validez diferente para cada antena. Un inconveniente grave es que el método descrito en el Artículo referenciado anteriormente introduce errores sistemáticos en tal escenario, debido a que muchos sistemas de medición de rango de comercio operan exactamente de esa manera.
- 45 - Las mediciones de sensores adicionales como una unidad de medición inercial (IMU) y un radar o altímetro láser no se pueden considerar fácilmente, lo que es también un inconveniente grave.
- 50

### Sumario de la invención

Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar un método para navegación relativa a plataforma utilizando mediciones de rango, que es capaz de solucionar al menos una parte de los inconvenientes mencionados anteriormente del sistema de navegación relativa a plataforma conocido.

5 El objeto se consigue por el asunto de las reivindicaciones independientes. Otras formas de realización se muestran por las reivindicaciones dependientes.

La idea principal de la invención es estimar la posición relativa y la ubicación relativa del bastidor de cuerpo de UAV con respecto al buque directamente en lugar de estimar las posiciones relativas de las antenas de un UAV (segundo objeto) con respecto a un buque (primer objeto), como se describe en la publicación "Stand-Alone Ship-Relative Navigation System Based on Pseudolite Technology"; Aulitzky, C.; Heinzinger, O.; Bestmann, U.; Hecker, P.; " AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 10 -13 Agosto 2009, Chicago, Illinois, USA. Esto se puede realizar con un algoritmo de estimación de espacio de estado, tal como un filtro de Kalman, un filtro Sigma-Point u otros filtros, o bien en formulaciones de un espacio de estado total o de un espacio de estado de error. El método inventivo ofrece las siguientes ventajas: el número de incógnitas a estimar no crece con el número de antenas. Se pueden considerar mediciones Doppler; las mediciones de rango realizadas desde todas las antenas para todos los transpondedores / pseudolitos pueden ser válidas en cualquier instante, siempre que se conozcan, no se requiere que todas las antenas realicen mediciones sincronizadas, lo que facilita el uso de sistemas de medición a distancia del comercio, las mediciones de sensores adicionales como IMU, y radar o altímetro láser se pueden considerar fácilmente.

20 Una forma de realización de la invención se refiere a un método para navegación relativa a plataforma utilizando mediciones de rango de acuerdo con la reivindicación independiente 1.

La estimación de la posición relativa y de la ubicación relativa de un bastidor de cuerpo del segundo objeto con relación al primer objeto puede comprender, además, procesar mediciones de uno o más sensores adicionales, particularmente un radar o altímetro láser.

25 El algoritmo de estimación de espacio de estado puede ser un filtro de Kalman, un filtro Sigma-Point u otro filtro que permita realizar una estimación de espacio de estado o bien en una formulación de espacio de estado total o en una formulación de espacio de estado de error.

El algoritmo de estimación de espacio de estado puede comprender una formulación de espacio de estado de error y ejecuta las siguientes etapas iterativas

30 asumir una posición relativa y una ubicación relativa del segundo objeto a partir de las mediciones de rango, estimar errores en la posición relativa y en la ubicación relativa asumidas del segundo objeto, y corregir la posición relativa y la ubicación relativa asumidas del segundo objeto sobre la base de los errores estimados.

El algoritmo de estimación de espacio de estado puede implementar la siguiente ecuación diferencial del sistema para estimar errores en una posición relativa y en una ubicación relativa asumidas del segundo objeto:

$$35 \begin{pmatrix} \delta \mathbf{x}^s \\ \boldsymbol{\Psi}_s^{\hat{s}} \end{pmatrix} \dot{\phantom{x}} = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \mathbf{x}^s \\ \boldsymbol{\Psi}_s^{\hat{s}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{n}_x \\ \mathbf{n}_\omega \end{pmatrix},$$

en la que  $\delta \mathbf{x}^s$  designa errores en la posición relativa,  $\boldsymbol{\Psi}_s^{\hat{s}}$  designa errores en la ubicación relativa,  $\mathbf{n}_\omega$  y  $\mathbf{n}_x$  forman un vector de ruido del sistema.

40 Una ubicación relativa asumida del segundo objeto se puede propagar en una etapa de predicción del filtro del algoritmo de estimación de espacio de estado utilizando mediciones de sensores adicionales, particularmente una unidad de medición inercial.

El algoritmo de estimación de espacio de estado puede modelar una medición de rango  $\tilde{\rho}_{ij}$  entre el transmisor j y el receptor i como sigue:

$$\tilde{\rho}_{ij} = \sqrt{(\mathbf{r}_{A,i}^s - \mathbf{r}_{T,j}^s)^T (\mathbf{r}_{A,i}^s - \mathbf{r}_{T,j}^s)} + n_{\rho_{ij}}$$

en la que  $\mathbf{r}_{T,j}^s$  designa la posición del transmisor j,  $n_{\rho ij}$  designa el ruido de la medición de rango, y en el que la posición del receptor i  $\mathbf{r}_{A,i}^s$  se da por

$$\mathbf{r}_{A,i}^s = \mathbf{r}_{O_b}^s + \mathbf{C}_b^s \mathbf{l}_i^b,$$

5 en la que  $\mathbf{r}_{O_b}^s$  designa la posición del origen  $O_b$  del bastidor de cuerpo del segundo objeto,  $\mathbf{l}_i^b$  designa un brazo de palanca desde el origen  $O_b$  del bastidor de cuerpo del segundo objeto con relación al receptor i, y  $\mathbf{C}_b^s$  designa una matriz de cosenos de dirección que se transforma desde el bastidor de cuerpo del segundo objeto en el bastidor de cuerpo del primer objeto, en el que esta matriz de cosenos de dirección está relacionada con una matriz de cosenos de dirección asumida a través de los errores de ubicación relativa.

10 El modelo del sistema implementado por el algoritmo de estimación de espacio de estado puede ser aumentado con estados relativos de errores de velocidad y el método puede comprender, además, las etapas siguientes:

- realizar con cada señal de posicionamiento recibida una medición Doppler, y
- estimar la velocidad relativa del bastidor de cuerpo del segundo objeto con respecto al primer objeto procesando las mediciones Doppler con el algoritmo de estimación de espacio de estado aumentado.

15 Otra forma de realización de la invención se refiere a un programa de ordenador, que implementa un método de acuerdo con la invención y como se describe aquí y que activa la navegación relativa a la plataforma cuando se ejecuta por un ordenador.

20 De acuerdo con otra forma de realización de la invención se puede proporcionar un soporte de registro que almacena un programa de ordenador de acuerdo con la invención, por ejemplo un CD-ROM, un DVD, una tarjeta de memoria, un disquete, o un soporte de datos similar adecuado para almacenar el programa de ordenador para acceso electrónico.

25 Otra forma de realización de la invención se refiere a un ordenador que está configurado por un programa de ordenador de la invención y como se describe aquí para navegación relativa a plataforma. El ordenador puede estar localizado, por ejemplo, a bordo de un UAV y puede procesar señales de posicionamiento recibidas a través de antena del UAV desde transmisores localizados sobre o cerca de una plataforma para controlar un método de automático y autónomo de aproximación de aterrizaje del UAV.

Otra forma de realización de la invención se refiere a un dispositivo para navegación relativa a plataforma que comprende:

30 una unidad de medición de rango para la ejecución, para una señal de posicionamiento recibida, de una medición de rango entre un transmisor de las señales de posicionamiento localizado sobre y/o cerca de una plataforma de un primer objeto y un receptor de un segundo objeto que se aproxima a la plataforma, con el que se recibe la señal de posicionamiento, y

35 medios de procesamiento para estimar la posición relativa y la ubicación relativa de un bastidor de cuerpo del segundo objeto con respecto al primer objeto procesando mediciones de rango entre el transmisor de las señales de posicionamiento y el receptor de las señales de posicionamiento con un algoritmo de estimación de espacio de estado que implementa un modelo del sistema del primero y del segundo objetos, en el que los medios de procesamiento están configurados para realizar un método de la invención y como se describe aquí.

Todavía otra forma de realización de la invención se refiere a un vehículo, particularmente un UAV, que comprende:

- 40 tres o más receptores para recibir señales de posicionamiento emitidas por cuatro o más transmisores localizados sobre y/o cerca de una plataforma de otro vehículo, y
- un dispositivo de la invención y como se describe aquí

Todavía otra forma de realización de la invención se refiere a un sistema para navegación relativa a plataforma que utiliza mediciones de rango, que comprende:

- 45 cuatro o más transmisores de señales de posicionamiento, que están localizados sobre y/o cerca de una plataforma de un primer objeto,
- tres o más receptores para recibir las señales de posicionamiento que están localizadas a bordo de un segundo objeto que se aproxima a la plataforma, y

- un dispositivo de la invención y como se describe aquí.

En el sistema, un transmisor de una señal de posicionamiento puede estar implementado como un transpondedor que está adaptado para responder a una señal de interrogación transmitida por un receptor con una señal de respuesta, y un receptor puede estar adaptado para recibir como la señal de posicionamiento la señal de respuesta desde el transpondedor y para medir el tiempo entre la transmisión de la señal de interrogación y la recepción de la señal de respuesta, cuando el tiempo medido es procesado para una medición de rango.

Alternativa o adicionalmente, en el sistema, un transmisor de una señal de posicionamiento puede estar implementado como un pseudolito que está adaptado para emitir una señal similar GNSS como señal de posicionamiento, en el que varios pseudolitos localizados sobre y/o cerca de la plataforma del primer objeto son sincronizados, y un receptor puede estar adaptado para recibir una señal de posicionamiento desde un pseudolito y para medir el tiempo de transmisión de la señal de posicionamiento, en el que el tiempo de transmisión medida es procesado para una medición de rango.

Éstos y otros aspectos de la invención serán evidentes y se aclararán con referencia a las formas de realización descritas a continuación.

La invención se describirá con más detalle a continuación con referencia a formas de realización ejemplares. No obstante, la invención no está limitada a estas formas de realización ejemplares.

### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra un ejemplo de la geometría del sistema de un UAV con 3 antenas que se aproxima a una plataforma de aterrizaje sobre un buque, que comprende 4 transpondedores que emiten señales de posicionamiento; y

La figura 2 muestra una forma de realización de un dispositivo para navegación relativa a plataforma de acuerdo con la invención.

### Descripción de formas de realización

A continuación los elementos funcionalmente similares o idénticos pueden tener los mismos números de referencia. Se describen formas de realización de la presente invención con relación a una plataforma (de aterrizaje) de un buque (primer objeto) y un UAV (segundo objeto) que se aproxima a la plataforma de aterrizaje. No obstante, la invención no está limitada a esta aplicación, sino que se puede aplicar a cualquier tipo de navegación relativa de un segundo objeto con relación a un primer objeto. La comunicación entre los objetos se realiza por medio de RF (Radio Frecuencia), aunque estén disponibles también otros medios de comunicación, tales como tecnologías de comunicación óptica.

La figura 1 muestra un ejemplo de tecnología del sistema, con la que se puede utilizar la presente invención. Un UAV se designa por  $O_b$ , que es el origen del bastidor de cuerpo del UAV. El UAV comprende, además, tres antenas  $A_1-A_3$  como receptores para señales de posicionamiento. La distancia entre las antenas  $A_1-A_3$  y el origen del bastidor de cuerpo  $O_b$  se designa con  $l_1-l_3$ , que son brazos de palanca de las antenas  $A_1-A_3$  con relación al origen  $O_b$ . Una plataforma de aterrizaje para el UAV sobre un buque se marca con 4 transmisores  $T_1-T_4$ , que están localizados en las esquinas de la plataforma. El origen del buque y de un sistema común de coordenadas para la navegación relativa se designa con  $O_s$ . Las posiciones de las antenas  $A_1-A_3$  en el sistema común de coordenadas se designan con los vectores  $r_{A,1}-r_{A,3}$  y las posiciones de los transmisores  $T_1-T_4$  se designan con los vectores  $r_{T,1}-r_{T,4}$ .

Los transmisores  $T_1-T_4$  se pueden implementar como transpondedores, que transmiten señales de posicionamiento después de la recepción de señales de interrogación transmitidas por el UAV a través de las antenas  $A_1-A_3$ . Los transmisores  $T_1-T_4$  pueden estar implementados como pseudolitos, que transmiten sus señales de posicionamiento sin recibir una señal de interrogación.

Las señales de posicionamiento transmitidas por los transmisores  $T_1-T_4$  pueden ser similares o incluso idénticas a las señales GNSS, tales como señales de posicionamiento desde el sistema GNSS GPS (Sistema de Posicionamiento Global) o el sistema europeo planificado GNSS GALILEO. Particularmente, las señales de posicionamiento pueden ser señales codificadas multiplexadas que contienen un mensaje de navegación con las posiciones  $r_{T,1}-r_{T,4}$  de los transmisores  $T_1-T_4$ . Cada transmisor puede poseer su propia secuencia única de códigos para codificar una señal de posicionamiento transmitida, de manera que un receptor de una señal de posicionamiento puede determinar su transmisor.

De acuerdo con la presente invención, la posición y la ubicación relativas del bastidor de cuerpo de UAV con respecto al buque se estiman directamente. Esto se puede realizar con un filtro de Kalman, un filtro Sigma-Point u otros filtros de estimación de espacio de estado (algoritmos) o bien en una formulación de espacio de estado total o

una formulación de espacio de estado de error. La aplicación de un filtro de Kalman para navegación relativa se describe en detalle en la publicación "Stand-Alone Ship-Relative Navigation System Based on Pseudolite Technology"; Aulitzky, C.; Heinzinger, O.; Bestmann, U.; Hecker, P.; " AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 10 -13 Agosto 2009, Chicago, Illinois, USA.

5 El algoritmo de estimación de filtro o de espacio de estado aplicado se puede implementar o bien, al menos parcialmente, en software por ejemplo en un programa de ordenador, que puede ser ejecutado por un procesador, o en hardware, por ejemplo en un circuito integrado, tal como un procesador de navegación. La implementación del filtro recibir como entradas unas mediciones de rango y salidas relativas a datos de navegación, que pueden ser  
10 procesadas, por ejemplo, por un sistema de posicionamiento automático del UAV para aterrizaje automático del UAV sobre la plataforma del buque.

A continuación se considerará una formulación de espacio de estado de error de una implementación de un algoritmo de estimación de espacio de estado (filtro) de acuerdo con la invención para ilustrar el concepto inventivo.  
15 Cuando están disponibles una o más mediciones de rango como se describe a continuación, el filtro estima los errores en la posición y ubicación relativas asumidas del UAV. Una ecuación diferencial adecuada del sistema implementada por el filtro se da por:

$$\begin{pmatrix} \delta \mathbf{x}^s \\ \boldsymbol{\psi}_s^{\hat{s}} \end{pmatrix} \dot{\phantom{x}} = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \mathbf{x}^s \\ \boldsymbol{\psi}_s^{\hat{s}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{n}_x \\ \mathbf{n}_\omega \end{pmatrix},$$

(ecuación 1)

20 en la que  $\delta \mathbf{x}^s$  designa los tres errores en la posición relativa,  $\boldsymbol{\psi}_s^{\hat{s}}$  designa los tres errores en la ubicación relativa,  $\mathbf{n}_\omega$  y  $\mathbf{n}_x$  forman un vector de ruido del sistema. Este último se requiere para permitir cambios en posición y ubicación relativas.

Si está disponible una IMU, la ubicación relativa asumida se puede propagar en la etapa de predicción del filtro utilizando las mediciones IMU, por ejemplo mediciones de giroscopio, que previene que cambios rápidos de la  
25 ubicación del UAV contribuya a la ubicación relativa que debe ser seguida por el filtro.

Para la estimación de la posición y la ubicación relativas del UAV, las mediciones de rango son procesadas por el filtro. Una medición de rango es realizada para cada señal de posicionamiento recibida por el UAV desde el transmisor de señales de posicionamiento. Una medición de rango da como resultado un pseudo-rango entre el transmisor de una señal de posicionamiento recibida y la antena receptora del UAV. Una medición de rango  $\tilde{\rho}_{ij}$   
30 (pseudo-rango) entre el transmisor j y la antena del receptor i puede ser modulada de la siguiente manera (el superíndice "s" designa "buque" como el origen del sistema común de coordenadas que es el origen  $O_s$  del buque):

$$\tilde{\rho}_{ij} = \sqrt{(\mathbf{r}_{A,i}^s - \mathbf{r}_{T,j}^s)^T (\mathbf{r}_{A,i}^s - \mathbf{r}_{T,j}^s)} + n_{\rho_{ij}}$$

(ecuación 2)

De esta manera, el ruido de la medición de rango se designa con  $n_{\rho_{ij}}$  y la posición de la antena i se da por

35  $\mathbf{r}_{A,i}^s = \mathbf{r}_{O_b}^s + \mathbf{C}_b^s \mathbf{l}_i^b,$

(ecuación 3)

en la que  $\mathbf{C}_b^s$  designa la matriz de cosenos de dirección que se transforma desde el bastidor de cuerpo UAV en el bastidor de cuerpo del buque. Esta matriz de cosenos de dirección está relacionada con la matriz de cosenos de dirección sumida a través de los errores de ubicación relativa del UAV.

40 La ecuación anterior permite determinar la posición relativa  $\mathbf{r}_{O_b}$  del bastidor de cuerpo de UAV directamente con relación al buque.

Además, el sistema y los modelos de medición descritos anteriormente permiten desarrollar una implementación adecuada del filtro.

5 Con el fin de permitir procesar las mediciones Doppler, el modelo del sistema se puede aumentar con tres estados de error de velocidad relativos que conducen a un filtro de de nueve estados. Si las mediciones de rango y Doppler son desviadas por reloj de UAV y por error de frecuencia, el sistema y los modelos de medición pueden ser aumentados también de acuerdo con ello. Se entiende que si se conoce la ubicación absoluta de UAV, se pueden transferir fácilmente la información de la posición y la velocidad relativas, por ejemplo, a un sistema de coordenadas de nivel local.

La figura 2 muestra un dispositivo de navegación relativa 10, que se puede instalar, por ejemplo, a bordo de un UAV y se puede utilizar para generar datos de navegación relativa, que se pueden procesar controlando el aterrizaje automático del UAV sobre la plataforma de aterrizaje de un buque.

10 El dispositivo 10 comprende una unidad de medición de rango 12 y medios de procesamiento 14. Recibe como entrada señales de posicionamiento recibidas a través de antenas  $A_1-A_3$  y mediciones desde una IMU 16. La unidad de medición de rango 12 realiza para cada señal de posicionamiento recibida una medición de rango  $\rho_{ij}$  con el fin de determinar un pseudo-rango entre el transmisor de la señal de posicionamiento y la antena receptora. Las mediciones de rango  $\rho_{ij}$  realizadas son suministradas por la unidad de medición de rango a los medios de procesamiento 14 para generar datos de navegación relativa 18. Los medios de procesamiento 14 comprenden un filtro de Kalman como algoritmo de estimación de espacio de estado que implementa un modelo del sistema del buque y el UAV. El filtro de Kalman implementa las ecuaciones 1 a 3 para procesar las mediciones de rango y, además, utiliza las mediciones recibidas desde la IMU 16 para asumir una ubicación relativa del UAV para propagación en la etapa de predicción del filtro de Kalman. La unidad de medición de rango 12 y/o el sistema de procesamiento 14 pueden ser implementados en software o hardware.

La plataforma de la presente invención permite una navegación relativa utilizando mediciones de rango, en la que el número de incógnitas que deben ser estimada no crece con el número de antenas, se pueden considerar mediciones Doppler y se pueden considerar fácilmente las mediciones de sensores adicionales como IMU, y radar o altímetro láser.

25 **Lista de signos de referencia y acrónimos**

- 10 Dispositivo de navegación relacionada con plataforma
- 12 Unidad de medición de rango
- 14 Filtro de Kalman
- 16 IMU
- 30 18 Datos de navegación relativa
- $A_1-A_3$  Antenas
- T1-T4 Transpondedor / pseudolito
- GNSS Sistema Global de Navegación por Satélite
- GPS Sistema de Posicionamiento Global
- 35 IMU Unidad de Medición Inercial
- UAV Vehículo aéreo no tripulado

**REIVINDICACIONES**

1.- Método para navegación relativa a plataforma utilizando mediciones de rango, en el que

- cuatro o más transmisores (T1-T4) de señales de posicionamiento están localizados sobre y/o cerca de una plataforma de un primer objeto y

5        - un segundo objeto que se aproxima a la plataforma comprende tres o más receptores (A1-A3) para recibir las señales de posicionamiento, y

en el que el método comprende las etapas siguientes:

- realizar para cada señal de posicionamiento recibida una medición de rango entre el transmisor de la señal de posicionamiento y el receptor de la señal de posicionamiento, y

10       - estimar la posición relativa y la ubicación relativa de un bastidor de cuerpo de un segundo objeto con respecto al primer objeto directamente mediante el procesamiento de las mediciones de rango con un algoritmo de estimación del espacio de estado, que implementa un modelo del sistema del primero y del segundo objetos, en el que el procesamiento de las mediciones de rango se realiza con una matriz de coseno de dirección que se transforma desde el bastidor de cuerpo del segundo objeto en el bastidor de cuerpo del primer objeto, en el que esta matriz de cosenos de dirección está relacionada con una matriz de cosenos de dirección supuesta a través de los errores de la ubicación relativa.

2.- El método de la reivindicación 1, en el que la estimación de la posición relativa y de la ubicación relativa de un bastidor de cuerpo del segundo objeto con respecto al primer objeto comprende, además, procesar mediciones de uno o más sensores adicionales, particularmente un radar o un láser de altímetro.

20       3.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que el algoritmo de estimación de espacio de estado es un filtro de Kalman, un filtro Sigma-Point u otro filtro que permite realizar la estimación de espacio de estado o bien en una formulación de espacio de estado total o en una formulación de espacio de estado de error.

4.- El método de la reivindicación 3, en el que el algoritmo de estimación de espacio de estado comprende una formulación de espacio de estado de error y ejecuta las siguientes etapas iterativas

- 25       - asumir una posición relativa y una ubicación relativa del segundo objeto a partir de las mediciones de rango,
- estimar errores en la posición relativa y en la ubicación relativa asumidas del segundo objeto, y
- corregir la posición relativa y la ubicación relativa asumidas del segundo objeto sobre la base de los errores estimados.

30       5.- El método de la reivindicación 4, en el que el algoritmo de estimación de espacio de estado implementa la siguiente ecuación diferencial del sistema para estimar errores en una posición relativa y en una ubicación relativa asumidas del segundo objeto:

$$\begin{pmatrix} \delta \mathbf{x}^s \\ \boldsymbol{\Psi}_s^{\hat{s}} \end{pmatrix} \cdot = \begin{pmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta \mathbf{x}^s \\ \boldsymbol{\Psi}_s^{\hat{s}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{n}_x \\ \mathbf{n}_\omega \end{pmatrix},$$

en la que  $\delta \mathbf{x}^s$  designa errores en la posición relativa,  $\boldsymbol{\Psi}_s^{\hat{s}}$  designa errores en la ubicación relativa,  $\mathbf{n}_\omega$  y  $\mathbf{n}_x$  forman un vector de ruido del sistema.

35       6.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 2, 3, 4 ó 5, en el que una ubicación relativa asumida del segundo objeto se propaga en una etapa de predicción del filtro del algoritmo de estimación de espacio de estado utilizando mediciones de sensores adicionales, particularmente una unidad de medición inercial.

7.- El método de la reivindicación 2, 3, 4, 5 ó 6, en el que el algoritmo de estimación de espacio de estado modela una medición de rango  $\tilde{\rho}_{ij}$  entre el transmisor j y el receptor i como sigue:

$$\tilde{\rho}_{ij} = \sqrt{(\mathbf{r}_{A,i}^s - \mathbf{r}_{T,j}^s)^T (\mathbf{r}_{A,i}^s - \mathbf{r}_{T,j}^s)} + n_{\rho_{ij}}$$

40

en la que  $\mathbf{r}_{T,j}^s$  designa la posición del transmisor j,  $n_{\rho ij}$  designa el ruido de la medición de rango, y en el que la posición del receptor i  $\mathbf{r}_{A,i}^s$  se da por

$$\mathbf{r}_{A,i}^s = \mathbf{r}_{O_b}^s + \mathbf{C}_b^s \mathbf{l}_i^b,$$

en la que  $\mathbf{r}_{O_b}^s$  designa la posición del origen  $O_b$  del bastidor de cuerpo del segundo objeto,  $\mathbf{l}_i^b$  designa un brazo de palanca desde el origen  $O_b$  del bastidor de cuerpo del segundo objeto con relación al receptor i, y  $\mathbf{C}_b^s$  designa una matriz de cosenos de dirección que se transforma desde el bastidor de cuerpo del segundo objeto en el bastidor de cuerpo del primer objeto, en el que esta matriz de cosenos de dirección está relacionada con una matriz de cosenos de dirección asumida a través de los errores de ubicación relativa.

8.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el modelo del sistema implementado por el algoritmo de estimación de espacio de estado es aumentado con estados relativos de errores de velocidad y el método comprende, además, las etapas siguientes:

- realizar con cada señal de posicionamiento recibida una medición Doppler, y
- estimar la velocidad relativa del bastidor de cuerpo del segundo objeto con respecto al primer objeto procesando las mediciones Doppler con el algoritmo de estimación de espacio de estado aumentado

9.- Un programa de ordenador que implementa un método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

10.- Un soporte de registro que almacena un programa de ordenador de acuerdo con la reivindicación 9.

11.- Un ordenador que está configurado por un programa de ordenador de la reivindicación 9 para navegación relativa a plataforma.

12.- Un dispositivo (10) para navegación relativa a plataforma que comprende:

- una unidad de medición de rango (12) para la ejecución, para una señal de posicionamiento recibida, de una medición de rango entre un transmisor (T1-T4) de las señales de posicionamiento localizado sobre y/o cerca de una plataforma de un primer objeto y un receptor (A1-A3) de un segundo objeto que se aproxima a la plataforma, con el que se recibe la señal de posicionamiento, y
- medios de procesamiento (14) para estimar la posición relativa y la ubicación relativa de un bastidor de cuerpo del segundo objeto con respecto al primer objeto procesando mediciones de rango entre el transmisor (T1-T4) de las señales de posicionamiento y el receptor (A1-A3) de las señales de posicionamiento con un algoritmo de estimación de espacio de estado que implementa un modelo del sistema del primero y del segundo objetos, en el que los medios de procesamiento están configurados para realizar un método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

13.- Un vehículo, particularmente un UAV, que comprende:

- tres o más receptores (A1-A3) para recibir señales de posicionamiento emitidas por cuatro o más transmisores (T1-T4) localizados sobre y/o cerca de una plataforma de otro vehículo, y
- un dispositivo (10) de la reivindicación 12.

14.- Un sistema para navegación relativa a plataforma que utiliza mediciones de rango, que comprende:

- cuatro o más transmisores (T1-T4) de señales de posicionamiento, que están localizados sobre y/o cerca de una plataforma de un primer objeto,
- tres o más receptores (A1-A3) para recibir las señales de posicionamiento que están localizadas a bordo de un segundo objeto que se aproxima a la plataforma, y
- un dispositivo (10) de la reivindicación 12.

15.- El sistema de la reivindicación 14, en el que

- un transmisor (T1-T4) de una señal de posicionamiento está implementado como un transpondedor que está adaptado para responder a una señal de interrogación transmitida por un receptor con una señal de respuesta, y

- 5
- un receptor (A1-A3) está adaptado para recibir como la señal de posicionamiento la señal de respuesta desde el transpondedor y para medir el tiempo entre la transmisión de la señal de interrogación y la recepción de la señal de respuesta, en el que el tiempo de medición es procesado para una medición de rango.
- 16.- El sistema de la reivindicación 14 ó 15, en el que
- 10
- un transmisor (T1-T4) de una señal de posicionamiento está implementado como un pseudolito que está adaptado para emitir una señal similar GNSS como señal de posicionamiento, en el que varios pseudolitos localizados sobre y/o cerca de la plataforma del primer objeto son sincronizados, y
  - un receptor (A1-A3) está adaptado para recibir una señal de posicionamiento desde un pseudolito y para medir el tiempo de transmisión de la señal de posicionamiento, en el que el tiempo de transmisión medida es procesado para una medición de rango.

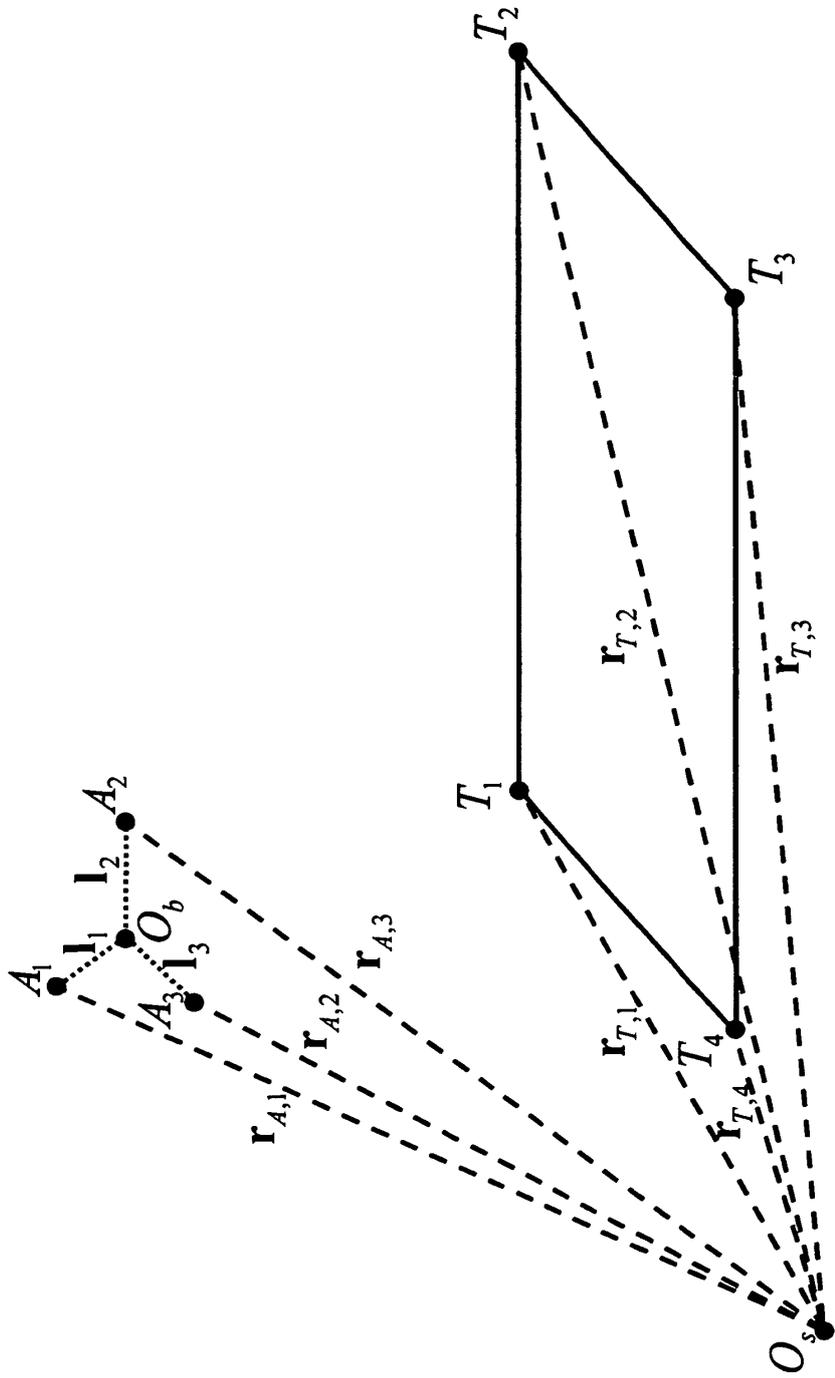


Fig. 1

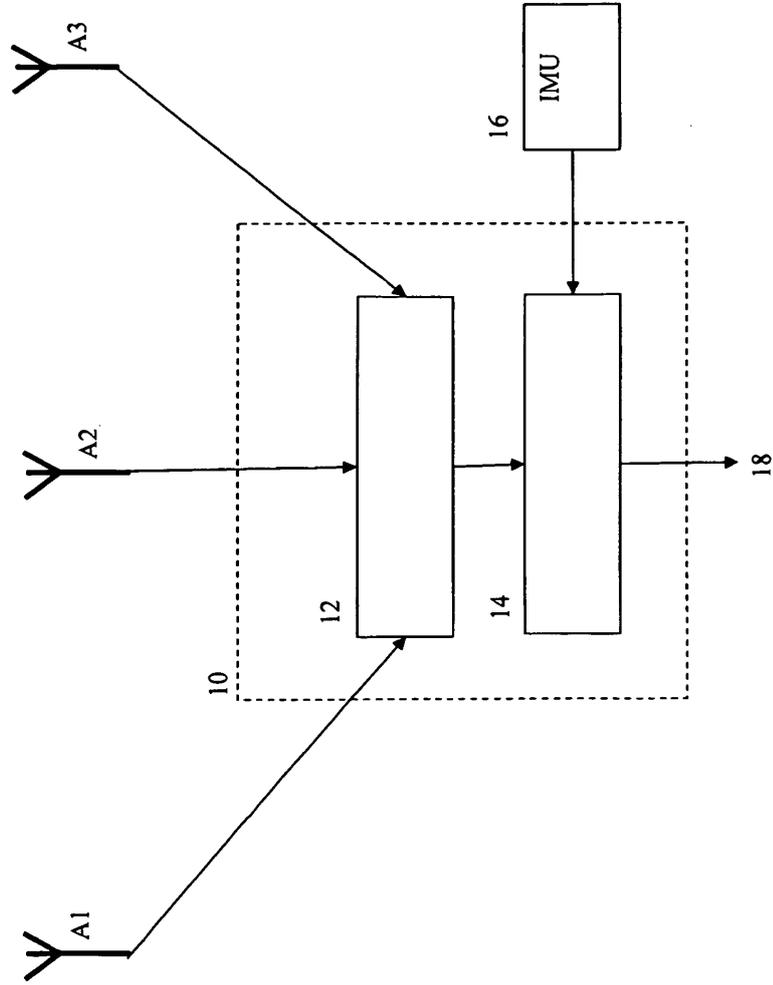


Fig. 2