

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 869 858**

51 Int. Cl.:

**G01S 3/74** (2006.01)

**G01S 5/12** (2006.01)

**G01S 19/21** (2010.01)

**G01S 5/00** (2006.01)

**H01Q 3/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.05.2013** **E 13290102 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.02.2021** **EP 2801838**

54 Título: **Evaluación de la posición de un vehículo aéreo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**26.10.2021**

73 Titular/es:

**AIRBUS DEFENCE AND SPACE GMBH (100.0%)**  
**Willy-Messerschmitt-Straße 1**  
**82024 Taufkirchen, DE**

72 Inventor/es:

**FLOCH, JEAN-JACQUES**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 869 858 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

Evaluación de la posición de un vehículo aéreo

### Campo técnico

5 La invención se refiere a la evaluación de la posición de un vehículo aéreo, particularmente un vehículo aéreo no tripulado.

### Antecedentes

10 Un vehículo aéreo no tripulado (UAV – Unmanned Aerial Vehicle, en inglés), comúnmente conocido como dron, es un avión sin un piloto humano a bordo. Su vuelo es controlado de manera autónoma mediante ordenadores en el vehículo o bajo el control remoto de un navegador. Un UAV tiene un dispositivo de navegación a bordo para poder determinar su posición, lo cual no solo es importante para vuelos controlados de manera autónoma, sino también para vuelos controlados a distancia, ya que el navegador requiere para el control de vuelo la posición real de un UAV.

15 Si el dispositivo de navegación a bordo no funciona correctamente y provoca errores de posicionamiento, el UAV está fuera de control y no podrá cumplir su misión. El mal funcionamiento del dispositivo de navegación puede deberse a daños internos o a interferencias externas. La interferencia externa puede ser causada de manera intencional o no intencional. La interferencia intencional generalmente es causada por interferidores, que son dispositivos dispuestos para interferir en la recepción de señales de radio tales como las señales de GNSS (Sistema de navegación global por satélite – Global Navigation Satellite System, en inglés) para el posicionamiento.

20 El documento US 8 010 287 B1 está dirigido a una navegación relativa precisa sin GPS (sistema de posicionamiento global), entre un UAV y un avión cisterna. El UAV transmite una señal que es recibida por un conjunto de antenas en el avión cisterna. La posición relativa horizontal del UAV se determina calculando el alcance y el rumbo en función de las diferencias de tiempo y fase en la señal recibida. La posición relativa vertical del UAV se determina comparando la altitud del UAV con la altitud del avión cisterna. A continuación, el avión cisterna transmite una solución de navegación basada en la posición relativa del UAV que es recibida por el UAV. El UAV puede utilizar la solución de navegación transmitida por el avión cisterna como respaldo a una solución de navegación determinada por GPS, en un escenario sin GPS, o en combinación con una solución de navegación determinada por INS (sistema de navegación inercial – Inertial Navigation System, en inglés).

30 El documento US 2005/285788 A1 da a conocer una técnica para la estimación de la dirección de llegada sin descomposición propia y su aplicación a la formación de haces en una estación base. Una onda de radio entrante es recibida por elementos de antena del conjunto que constituyen una antena del conjunto, y se calcula la correlación entre los datos recibidos de algunos elementos de antena del conjunto para formar una matriz de correlación que no resulte afectada por el ruido aditivo en cada elemento de antena. A continuación, se obtiene un subespacio de ruido a partir de la matriz de correlación mediante una operación lineal simple basada en la partición de una matriz de respuesta del conjunto, y se utiliza para estimar la dirección de la señal (es decir, la onda de radio) que incide en la antena del conjunto. Debido a que la evaluación de todas las correlaciones entre los datos del conjunto recibidos por los elementos de antena del conjunto no es necesaria y que se evita el proceso de descomposición propia, se reduce la carga informática de la técnica de estimación de dirección propuesta y se mejora la insensibilidad al ruido.

40 El documento US 6 714 782 B1 se refiere a métodos y dispositivos para la localización en tiempo real de transmisores terrestres pertenecientes a una red de radiocomunicaciones celulares de tipo TDMA. El dispositivo comprende un conjunto de antenas, un receptor multicanal y un procesador digital. El método consiste en la interceptación, desde una aeronave, de señales radioeléctricas, y la detección de estas señales mediante la implementación de una sincronización multicanal para determinar las diversas fuentes de transmisión, el cálculo simultáneo de un ángulo de elevación Delta y un ángulo azimutal teta para determinar instantáneamente la dirección de llegada de la señal radioeléctrica de las fuentes de transmisión determinadas y la construcción de la pista en las zonas geográficas en las que están situadas las fuentes de transmisión para estimar la posición de los transmisores.

45 El documento US 2011/001659 A1 se refiere a un dispositivo para la estimación de la dirección y/o la decodificación mediante señales de radar secundario.

### Compendio de la invención

Esta invención tiene como objetivo evaluar la posición de un vehículo aéreo tal como un UAV.

50 Este objeto se logra mediante el objeto de las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes muestran otras realizaciones.

La invención permite evaluar la posición de un vehículo aéreo en base a la determinación de la dirección de llegada de las señales de radio recibidas desde el vehículo aéreo. De este modo, la posición de un vehículo aéreo puede ser evaluada independientemente de la posición determinada a bordo del vehículo aéreo, lo que ofrece un control del

correcto comportamiento de un receptor de navegación a bordo de un vehículo aéreo y, además, una solución de respaldo si el receptor de a bordo no funciona correctamente.

5 Una realización de la invención se refiere a un método para evaluar la posición de un vehículo aéreo que comprende las siguientes etapas de recibir una señal de radio del vehículo aéreo con un conjunto de antenas, determinar la dirección de llegada (DOA – Direction of Arrival, en inglés) de la señal de radio recibida, formando un haz de recepción del conjunto de antenas en función de la dirección de llegada determinada para recibir una o más señales de radio adicionales desde el vehículo aéreo, calcular el alcance entre el vehículo aéreo y el conjunto de antenas en función de una señal de radio proporcionada para calcular el alcance y recibida desde el vehículo aéreo, y evaluar la posición del vehículo aéreo basándose en el alcance calculado, en la dirección de llegada determinada y en la posición conocida del conjunto de antenas. De este modo, solo mediante la recepción de una señal de radio de un vehículo aéreo, que se proporciona para el alcance, se puede evaluar la posición del vehículo. Cualquier funcionamiento incorrecto de un receptor de navegación a bordo del vehículo no influye en la evaluación de la posición según la invención.

15 El método puede comprender la etapa adicional de detectar un error de posicionamiento comparando la posición evaluada del vehículo aéreo con la información de posición recibida desde el vehículo aéreo. La detección de errores se puede utilizar para mejorar el control del vehículo aéreo, en particular ignorando la información de posición recibida desde el vehículo aéreo y utilizando la posición evaluada.

20 El método puede comprender, además, la etapa de transmitir un mensaje con la posición evaluada al vehículo aéreo si se detecta un error de posicionamiento. Esto permite que el vehículo aéreo, por ejemplo, desactive el receptor de navegación a bordo o cambie a un receptor de navegación de respaldo instalado en el vehículo aéreo, por ejemplo, para cambiar de un receptor de navegación GNSS a un sistema de navegación inercial (INS).

25 La determinación de la dirección de llegada de la señal de radio recibida comprende, además, las siguientes etapas: recoger datos digitales de las cadenas de recepción del conjunto de antenas, generar una matriz de covarianza a partir de los datos digitales recogidos, evaluar completamente la matriz de covarianza con un algoritmo de dirección de llegada para determinar la dirección de llegada de la señal de radio recibida, o evaluar parcialmente la matriz de covarianza con un algoritmo de dirección de llegada considerando la dirección de llegada previamente determinada de la señal de radio recibida para rastrear la dirección de llegada de la señal de radio recibida y determinar la dirección de llegada de la señal de radio recibida basada en la señal de radio recibida rastreada.

30 La etapa de evaluar completamente la matriz de covarianza puede ser realizada en paralelo y con una frecuencia más baja que la etapa de evaluar parcialmente la matriz de covarianza.

La etapa de evaluar completamente la matriz de covarianza puede ser realizada particularmente cada tres unidades de tiempo, y la etapa de evaluar parcialmente la matriz de covarianza puede ser realizada particularmente cada unidad de tiempo.

35 En particular, la estimación de parámetros de señal por medio de una técnica de invariancia rotacional (ESPRIT – Estimation Signal Parameter via a Rotational Invariant Technique) y/o la clasificación de múltiples señales (MUSIC – Multiple Signal Classification, en inglés) se pueden utilizar como algoritmos de dirección de llegada en la etapa de evaluar completamente la matriz de covarianza y/o la etapa de evaluar parcialmente la matriz de covarianza.

40 Otra realización de la invención se refiere a un programa informático, que implementa el método para detectar errores de posicionamiento de un dispositivo de navegación a bordo de un vehículo aéreo según la invención y tal como se describe en el presente documento, y que permite la detección de errores de posicionamiento de un dispositivo de navegación a bordo de un vehículo aéreo según la invención cuando es ejecutado mediante un ordenador. Un programa informático de este tipo podría ser utilizado por un ordenador equipado con un receptor que comprenda un conjunto de antenas para recibir señales de radio de un vehículo aéreo, permitiendo que el ordenador detecte errores de posicionamiento del dispositivo de navegación a bordo del vehículo aéreo.

45 Según otra realización de la invención, se puede proporcionar un soporte de grabación que almacene un programa informático según 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 informático para acceso electrónico.

50 Otra realización de la invención se refiere a un dispositivo para la detección de errores de posicionamiento de un dispositivo de navegación a bordo de un vehículo aéreo que comprende un conjunto de antenas para recibir una señal de radio del vehículo aéreo, medios para determinar la dirección de llegada de la señal de radio recibida, medios para formar un haz de recepción del conjunto de antenas dependiendo de la dirección de llegada determinada para recibir una o más señales de radio adicionales desde el vehículo aéreo, medios para calcular el alcance entre el vehículo aéreo y el conjunto de antenas en base a una señal de radio proporcionada para calcular el alcance y recibida desde el vehículo aéreo, medios para evaluar la posición del vehículo aéreo en base al alcance calculado, a la dirección de llegada determinada y a la posición conocida del conjunto de antenas.

55 El conjunto de antenas puede ser un conjunto de antenas de múltiples elementos, particularmente una antena lineal del conjunto, una antena semiesférica o una antena esférica.

El dispositivo puede comprender un procesador configurado mediante un programa informático de la invención para implementar un método de la invención y tal como se describe en el presente documento.

Estos y otros aspectos de la invención resultarán evidentes y se aclararán con referencia a las realizaciones que se describen a continuación.

- 5 La invención se describirá con más detalle a continuación, en el presente documento, con referencia a realizaciones a modo de ejemplo. No obstante, la invención no está limitada a estos ejemplos de realización.

### Breve descripción de los dibujos

10 La figura 1 muestra un UAV con un dispositivo de navegación GNSS a bordo y un receptor COM/NAV con una antena de conjunto múltiple para detectar errores de posicionamiento del dispositivo de navegación UAV y detectar errores de posicionamiento de señalización al UAV, según una realización de la invención;

la figura 2 muestra un diagrama de bloques de una realización de un dispositivo para detectar errores de posicionamiento de un dispositivo de navegación a bordo de un UAV, según la invención;

la figura 3 muestra ejemplos de diagramas con las DOA de un UAV en movimiento determinadas con un algoritmo según la invención.

### 15 Descripción de realizaciones

A continuación, los elementos funcionalmente similares o idénticos pueden tener los mismos números de referencia. Los valores absolutos se muestran a continuación a modo de ejemplo únicamente, y no deben ser interpretados como limitativos de la invención.

20 El principio de la presente invención se explica a continuación con referencia a la figura 1. Un UAV 12 evalúa su posición con un dispositivo de navegación 10 de a bordo. En la realización mostrada en la figura 1, el dispositivo de navegación 10 está implementado como un dispositivo de navegación GNSS, que recibe señales de posicionamiento GNSS de los satélites GNSS 11 y/o pseudolitos (no mostrados). No obstante, cualquier otro dispositivo de navegación puede estar a bordo del UAV 12, en lugar del receptor de navegación GNSS o adicionalmente al mismo, tal como un INS, o un sistema de posicionamiento híbrido (GNSS + INS). El dispositivo de navegación 10 a bordo del UAV 12 determina la posición real del UAV 12. En la figura 1, el dispositivo de navegación 10 utiliza señales de posicionamiento GNSS recibidas de diferentes satélites GNSS 11 para determinar la posición real. La determinación de la posición se puede realizar de manera continua o periódica. Habitualmente, el UAV 12 determina su posición de manera autónoma según un algoritmo de control implementado. Alternativa o adicionalmente, el UAV 12 puede determinar su posición también cuando se le solicita, por ejemplo, desde un sistema de control de tierra que transmite una orden de control respectiva al UAV 12.

30 La posición determinada del UAV 12 es transmitida mediante telemetría a una estación de recepción 24. Una unidad de comunicación de señales de radio a bordo del UAV 12 puede transmitir los datos de posicionamiento con una señal de radio 14 del UAV. La unidad de comunicación de señales de radio también puede transmitir una señal de alcance con información del alcance. La señal de alcance y los datos de telemetría o posicionamiento pueden ser transmitidos dentro de la misma señal de radio 14 del UAV modulada, por ejemplo, mediante una transmisión simultánea de la señal a través de una señal similar a GMSK según el nuevo concepto de CCSDS, o pueden ser transmitidos con diferentes señales de radio 14 del UAV en diferentes frecuencias.

35 La estación de recepción 24 puede ser móvil, pero necesita conocer su posición en tiempo real. La estación de recepción 24 puede determinar, por ejemplo, su posición real recibiendo las señales de posicionamiento GNSS de los satélites GNSS 11 y/o de pseudolitos, o por medio de un INS o sistema de posicionamiento híbrido. Para recibir y procesar la señal de radio 14 del UAV, la estación de recepción 24 comprende un conjunto de antenas de múltiples elementos / una antena 16 de múltiples conjuntos. La antena 16 puede estar implementada como una antena de red lineal, o una antena semiesférica o una antena esférica. Tal como se muestra en la figura 2, la antena 16 de múltiples conjuntos comprende K elementos 26\_1 a 26\_K de conjunto que forman K cadenas de recepción. Las señales recibidas con la antena 16 de múltiples conjuntos son procesadas en una unidad 22 de procesamiento de señales y formación de haces de la estación 24.

40 El procesamiento de señales y la formación de haces se explica a continuación en detalle con referencia a la figura 2, que muestra un diagrama de bloques de una circuitería de la unidad 22 de procesamiento de señales y formación de haces proporcionada para el procesamiento de señales de la señal de radio 14 del UAV recibida a través de la antena 16 de múltiples conjuntos y para formación de haces. Con el procesamiento de la señal, se determinará la DOA de la señal de radio 14 del UAV, y se utilizará para la formación de haces, lo que sirve para recibir una o más señales de radio 14 del UAV que comprenden datos de telemetría o de posicionamiento del UAV 12, o se proporcionan para determinar el alcance entre la estación de recepción 24 y el UAV 12 para poder verificar si los datos de posicionamiento recibidos desde el UAV 12 son correctos o no.

La señal de radio 14 del UAV es recibida con cada uno de los K elementos 26\_1 a 26\_K del conjunto de antenas. Cada una de las K señales de los elementos 26\_1 a 26\_K es digitalizada en una circuitería de RF del lado del usuario (no mostrado) para generar datos digitales  $X_1$  a  $X_K$  de las K cadenas de recepción. Los datos digitales  $X_1$  a  $X_K$  son suministrados a una unidad de procesamiento de covarianza 28, que evalúa la matriz de covarianza (cruzada)  $R$  a partir de los datos digitales  $X_1$  a  $X_K$  recogidos, según la siguiente ecuación:

$$R = E \left[ \underline{x} \cdot \underline{x}^H \right]$$

siendo  $\underline{x} = (X_1, X_2, \dots, X_K)$  el vector con los datos  $X_1$  a  $X_K$  digitales como elementos, denotando  $H$  la transposición hermitiana, y siendo  $E$  un operador de expectativa. La matriz de covarianza cruzada  $R$  es una matriz de correlación espacial de las salidas de los K elementos 26\_1 a 26\_K del conjunto de antenas.

10 A continuación, la matriz de covarianza cruzada  $R$  es suministrada a una unidad de procesamiento del algoritmo de DOA 30 para evaluar la DOA de la señal de radio 14 del UAV utilizando un algoritmo de DOA, por ejemplo, ESPRIT o MUSIC. Puesto que cualquier algoritmo de DOA consume mucho tiempo, normalmente es difícil determinar la posición (azimut/elevación) de un objetivo en movimiento tal como un UAV 12, en tiempo real. Por lo tanto, la unidad 30 de procesamiento del algoritmo de DOA aplica el siguiente algoritmo según la invención:

15 La matriz de covarianza  $R$  es evaluada completamente con un algoritmo de DOA. Esta etapa de evaluación comprende una evaluación secuencial de la matriz de covarianza durante un breve intervalo de tiempo, durante el cual el objetivo (el UAV 12) es estático durante la evaluación. El intervalo de tiempo se selecciona habitualmente en función de la velocidad real del UAV 12. Para cada matriz de covarianza de la evaluación secuencial, se pueden evaluar los valores propios (esta etapa es necesaria para algunos algoritmos, por ejemplo, MUSIC, que utilizan los valores propios para la determinación de la DOA). Posteriormente, se evalúa la DOA correspondiente. A  
20 continuación, sigue un escaneo completo de la DOA inicial (elevación/acimut) para determinar la DOA de la señal de radio 14 del UAV.

Para disminuir el tiempo de cálculo del algoritmo sin disminuir su precisión, el algoritmo continúa a continuación con una evaluación parcial de la matriz de covarianza considerando la DOA previamente determinada de la señal de radio 14 del UAV, o, en otras palabras, realiza solo un escaneo parcial considerando la posición anterior del objetivo.

El escaneo completo de la DOA puede ser ejecutado, por ejemplo, por la unidad 30 de procesamiento del algoritmo de DOA en paralelo a una frecuencia más baja que el escaneo parcial para filtrar objetivos potenciales. Además, la exploración completa de la DOA se puede ejecutar, por ejemplo, cada tres unidades de tiempo, mientras que la exploración parcial de la DOA se ejecuta cada unidad de tiempo de un esquema de cronometraje de la unidad 30 de procesamiento del algoritmo de DOA.

Finalmente, se estima la trayectoria y dinámica de la señal de radio 14 de UAV rastreada y se puede determinar la DOA de la señal de radio 14 del UAV en base a la trayectoria y dinámica estimadas.

En la figura 3, se muestra un ejemplo del seguimiento según el algoritmo realizado por la unidad 30 de procesamiento del algoritmo de DOA, considerando que el acimut del UAV 12 está comprendido entre 130 grados y 120 grados y que la elevación está comprendida entre 40 grados y 45 grados. Para este ejemplo, se utilizó el algoritmo MUSIC como algoritmo de determinación de la DOA y se realizó un escaneo completo cada tres unidades de tiempo ( $t_1, t_3, t_6, \dots$ ).

Una vez que la DOA de la señal de radio 14 del UAV es encontrada y rastreada, una unidad 32 de procesamiento de algoritmo de formación de haces aplica un algoritmo de formación de haces para formar un haz de recepción 18 dirigido al UAV 12 para recibir más señales de radio 14 del UAV con telemetría o datos de posicionamiento, y proporcionado para un alcance a través de la antena de múltiples conjuntos 16. El algoritmo de formación de ha calcula un vector de peso  $\underline{w}$  que comprende para cada uno de los K elementos del conjunto de antenas 26\_1 a 26\_K un factor de ponderación  $W^*_1$  a  $W^*_K$ . El vector de peso  $\underline{w}$  dirige el haz de recepción de la antena 18 hacia el transmisor de la señal de radio 14 de UAV del UAV 12 para garantizar una recepción óptima de las señales de radio  
45 14 del UAV. Los datos digitales  $X_1$  a  $X_K$  de las señales de radio 14 del UAV recibidas son multiplicados en las K cadenas de recepción por las ponderaciones del vector de peso  $\underline{w}$  y sumados mediante un sumador 34, que da como resultado un flujo de datos digitales  $y$ .

$$y = \underline{w}^H \cdot \underline{x}$$

50 A continuación, un calculador de alcance 36 de la estación de recepción 24 demodula los datos de telemetría o posicionamiento, incluida la posición del UAV 12 evaluada a bordo del UAV 12 a partir del flujo de datos digitales  $y$ . Si la telemetría y el alcance se transmiten dentro de la misma señal modulada, se puede utilizar el mismo haz de la formación del haz de telemetría. Si se proporciona una señal de radio 14 del UAV diferente para el alcance, también se puede evaluar simultáneamente una formación de haz para recibir esta señal de radio 14 del UAV. En tal caso, el vector de peso  $\underline{w}$  puede ser modificado para dirigir el haz de recepción 18 hacia el alcance de la señal de radio 14

del UAV. A continuación, el calculador de alcance 36 calcula el alcance entre el UAV 12 y la antena de múltiples conjuntos 16. El calculador de alcance 36 envía el alcance calculado, los datos de posicionamiento demodulados determinados por el dispositivo de navegación GNSS 10 a bordo del UAV 12 y la DOA de la señal de radio 14 del UAV a un evaluador de posición 38 de la estación de recepción 24.

5 Conociendo la posición de la antena de múltiples conjuntos 16, la DOA de la señal de radio 14 del UAV y el alcance entre el UAV 12 y la antena de múltiples conjuntos 16, el evaluador de posición 38 evalúa la posición del UAV 12, y compara el valor evaluado de la posición del UAV con la posición evaluada en el UAV 12 y recibida a través de los datos de telemetría. Si la comparación da como resultado que la posición evaluada por el UAV 12 es incorrecta, la  
 10 estación de recepción 24 puede transmitir una señal de radio 20 con un mensaje de error de posicionamiento a través de telemetría al UAV 12. El mensaje de error de posicionamiento puede comprender la posición correcta del UAV evaluada por la estación de recepción 24 al UAV y un mensaje para no considerar la posición evaluada a bordo del UAV 12.

La presente invención permite utilizar técnicas de conjuntos de antenas para localizar un vehículo aéreo tal como un UAV (azimut y elevación) y determinar el alcance entre el vehículo aéreo y una estación de recepción. Por lo tanto,  
 15 la posición del vehículo aéreo se puede evaluar con precisión en la estación de recepción. Esta técnica se puede aplicar durante el modo de funcionamiento para garantizar que un dispositivo de navegación a bordo de un vehículo aéreo funcione correctamente y no resulte afectado por amenazas internas o externas. Durante un modo de prueba, esta técnica también se puede utilizar para verificar el comportamiento correcto del dispositivo de navegación a bordo de un vehículo aéreo.

20 **Números de referencia y acrónimos**

10		dispositivo de navegación GNSS
11		satélites GNSS
12		UAV
14		señal de radio del UAV
25	16	conjunto de antenas de múltiples elementos / antena de múltiples conjuntos
	18	haz de recepción formado
	20	señal de radio con mensaje de error de posicionamiento
	22	unidad de procesamiento de señales y formación de haces
	24	estación de recepción
30	26_1 a 26_K	K elementos del conjunto de antenas
	$X_1$ a $X_K$	K datos digitales de las K cadenas de recepción
	$W_1$ a $W_K$	K pesos
	28	unidad de procesamiento de covarianza
	30	unidad de procesamiento del algoritmo de DOA
35	32	unidad de procesamiento del algoritmo de formación de haz
	34	sumador
	36	calculadora de alcance
	38	evaluador de posición
40	CCSDS	comité consultivo de sistemas de datos espaciales
	DOA	dirección de llegada
	ESPRIT	estimación de parámetros de señal por medio de una técnica de invariancia rotacional
	GMSK	teclado de desplazamiento mínimo gaussiano
	GNSS	sistema global de navegación por satélite

INS	sistema de navegación inercial
MUSIC	clasificación de múltiples señales
UAV	vehículo aéreo no tripulado

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para evaluar la posición de un vehículo aéreo (12), que comprende las siguientes etapas de
  - recibir una señal de radio (14) del vehículo aéreo con un conjunto de antenas (16),
  - determinar la dirección de llegada de la señal de radio recibida,
- 5
  - formar un haz de recepción (18) del conjunto de antenas dependiendo de la dirección de llegada determinada para recibir una o más señales de radio adicionales del vehículo aéreo,
  - calcular el alcance entre el vehículo aéreo y el conjunto de antenas en base a una señal de radio proporcionada para calcular el alcance y recibida del vehículo aéreo, y
- 10
  - evaluar la posición del vehículo aéreo en base al alcance calculado, a la dirección de llegada determinada y a la posición conocida del conjunto de antenas,

donde la determinación de la dirección de llegada de la señal de radio recibida comprende las siguientes etapas:

  - recogida de datos digitales de las cadenas de recepción del conjunto de antenas,
  - generar una matriz de covarianza a partir de los datos digitales recogidos,
- 15
  - evaluar completamente la matriz de covarianza con un algoritmo de dirección de llegada para determinar la dirección de llegada de la señal de radio recibida, o
  - evaluar parcialmente la matriz de covarianza con un algoritmo de dirección de llegada considerando la dirección de llegada determinada previamente de la señal de radio recibida para rastrear la dirección de llegada de la señal de radio recibida,
  - determinar la dirección de llegada de la señal de radio recibida en base a la señal de radio recibida rastreada.
- 20
2. El método de la reivindicación 1, que comprende, además, la etapa de
  - detectar un error de posicionamiento comparando la posición evaluada del vehículo aéreo con la información de posición recibida del vehículo aéreo.
3. El método de la reivindicación 1 o 2, que comprende, además, la etapa de
  - transmitir un mensaje (20) con la posición evaluada al vehículo aéreo.
- 25
4. El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de evaluar completamente la matriz de covarianza se realiza en paralelo a y a una frecuencia más baja que la etapa de evaluar parcialmente la matriz de covarianza.
5. El método de la reivindicación 4, en el que la etapa de evaluar completamente la matriz de covarianza se realiza cada tres unidades de tiempo y la etapa de evaluar parcialmente la matriz de covarianza se realiza cada unidad de tiempo.
- 30
6. El método de la reivindicación 1, 4 o 5, en el que ESPRIT y/o MUSIC se utilizan como algoritmos de dirección de llegada en la etapa de evaluar completamente la matriz de covarianza y/o la etapa de evaluar parcialmente la matriz de covarianza.
7. Un programa informático que implementa un método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
8. Un soporte de grabación que almacena un programa informático según la reivindicación 7.
- 35
9. Un dispositivo (24) para evaluar la posición de un vehículo aéreo (12), que comprende
  - un conjunto de antenas (16), para recibir una señal de radio del vehículo aéreo,
  - medios (22; 28, 30) para determinar la dirección de llegada de la señal de radio recibida,
  - medios (22; 32) para formar un haz de recepción del conjunto de antenas dependiendo de la dirección de llegada determinada para recibir una o más señales de radio adicionales del vehículo aéreo,
- 40
  - medios (34, 36) para calcular el alcance entre el vehículo aéreo y el conjunto de antenas en base a una señal de radio proporcionada para calcular el alcance y recibida desde el vehículo aéreo, y
  - medios (38) que evalúan la posición del vehículo aéreo en base al alcance calculado, a la dirección de llegada determinada y a la posición conocida del conjunto de antenas,

en donde los medios (22; 28, 30) para determinar la dirección de llegada de la señal de radio recibida están configurados para realizar las siguientes etapas:

- recogida de datos digitales de las cadenas de recepción del conjunto de antenas,
  - generar una matriz de covarianza a partir de los datos digitales recogidos,
- 5 - evaluar completamente la matriz de covarianza con un algoritmo de dirección de llegada para determinar la dirección de llegada de la señal de radio recibida, o
- evaluar parcialmente la matriz de covarianza con un algoritmo de dirección de llegada considerando la dirección de llegada determinada previamente de la señal de radio recibida para rastrear la dirección de llegada de la señal de radio recibida,
- 10 - determinar la dirección de llegada de la señal de radio recibida en base a la señal de radio recibida rastreada.
10. El dispositivo de la reivindicación 9, en el que el conjunto de antenas es un conjunto de antenas de múltiples elementos (26\_1 a 26\_K), particularmente una antena de conjunto lineal, una antena semiesférica o una antena esférica.
- 15 11. El dispositivo de la reivindicación 9 o 10, que comprende un procesador configurado mediante un programa informático de la reivindicación 8 para implementar un método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

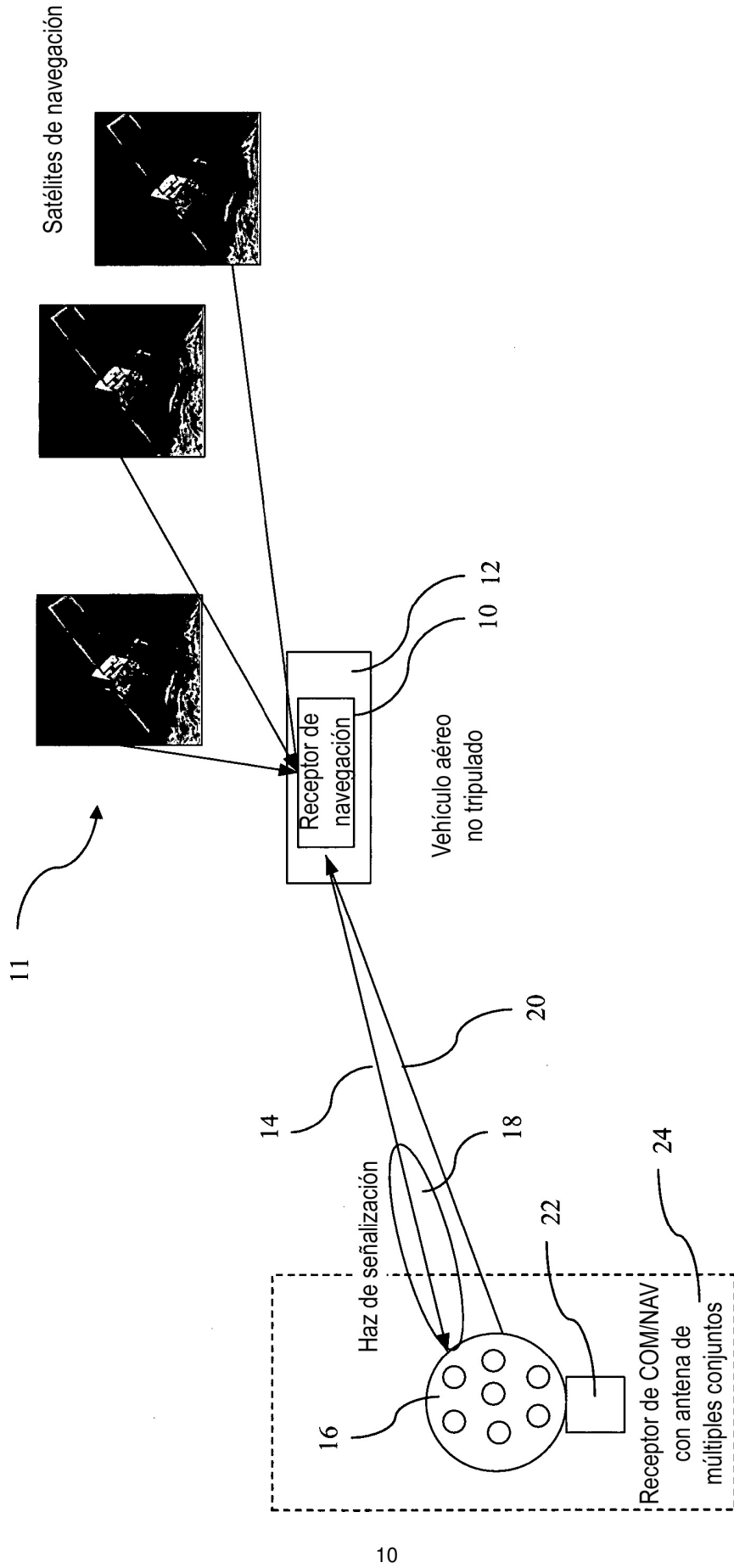
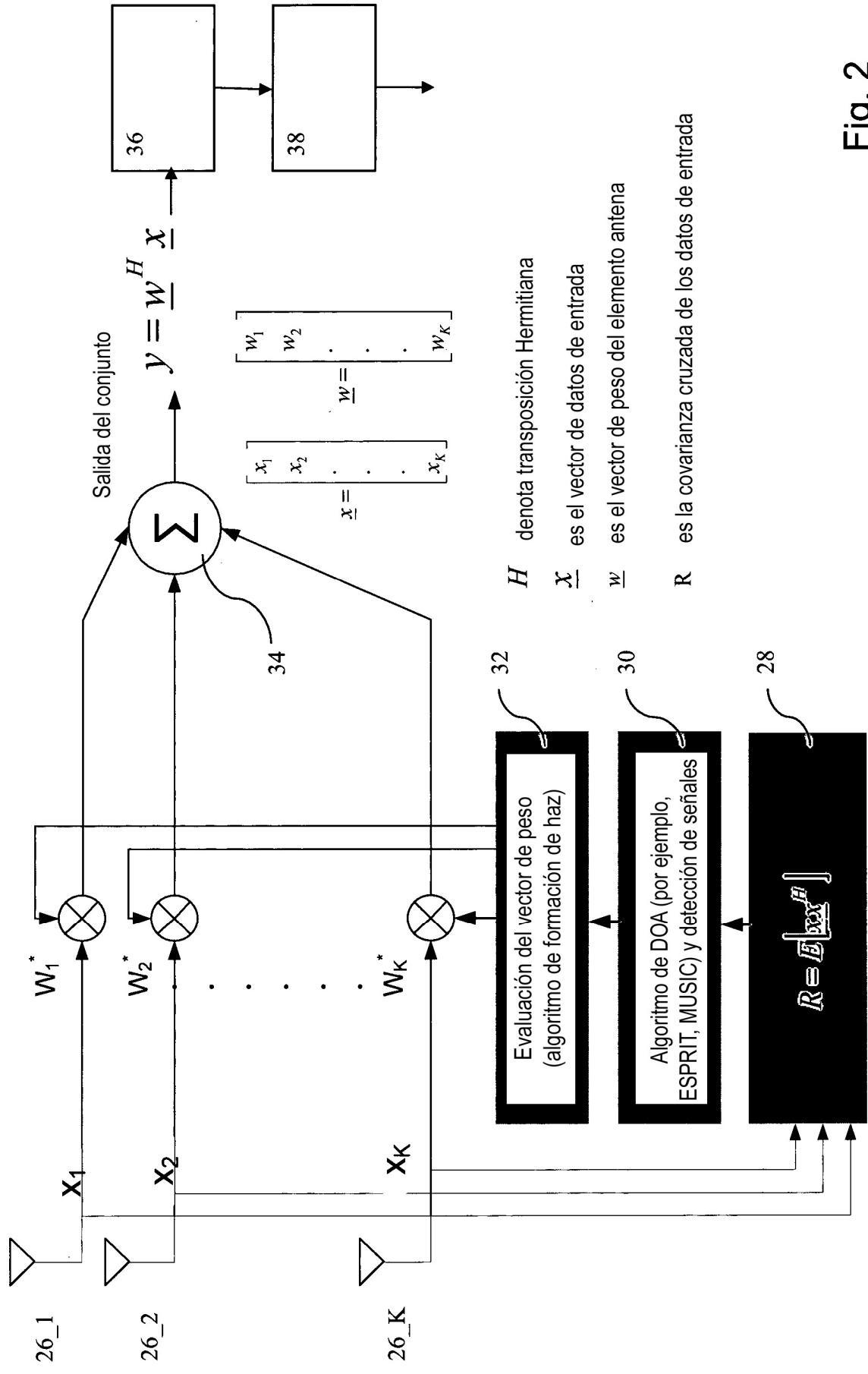


Fig. 1



$H$  denota transposición Hermitiana

$\underline{x}$  es el vector de datos de entrada

$\underline{w}$  es el vector de peso del elemento antena

$R$  es la covarianza cruzada de los datos de entrada

Fig. 2

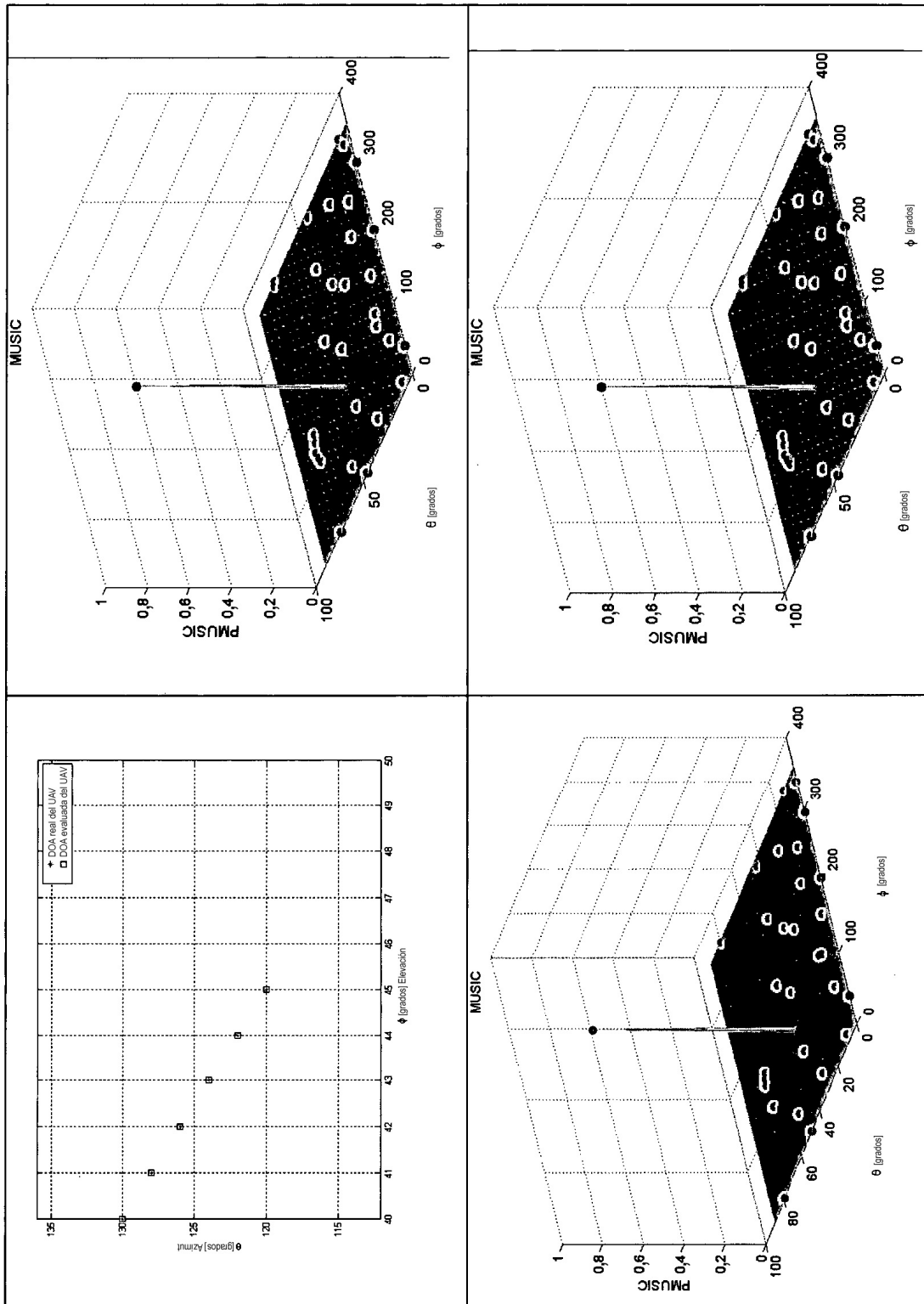


Fig. 3