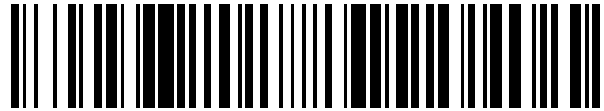


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 511 030**

51 Int. Cl.:

G01S 13/72 (2006.01)

G01S 13/78 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2009 E 09158732 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.05.2014 EP 2112526**

54 Título: **Sistema y método de multilateración**

30 Prioridad:

26.04.2008 GB 0807586

03.07.2008 GB 0812096

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
22.10.2014

73 Titular/es:

**ROKE MANOR RESEARCH LIMITED (100.0%)
OLD SALISBURY LANE
ROMSEY HAMPSHIRE SO51 0ZN, GB**

72 Inventor/es:

WEEDON, ROBERT JOHN

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 511 030 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

Sistema y método de multilateración

5 Esta invención se refiere a un sistema de multilateración para la localización de aeronaves.

10 Muchos tipos de aeronaves transmiten señales codificadas, por ejemplo, códigos de RADAR secundario de vigilancia (SSR) tales como los denominados códigos de modo A, C o S, que pueden usarse por receptores terrestres para determinar la posición de la aeronave. La posición se determina anotando el tiempo de llegada a los receptores y usando esto con conocimiento de las posiciones de los propios receptores. Los documentos GB2250154A y GB 2349531A dan a conocer tales sistemas de multilateración. Estos sistemas utilizan cuatro estaciones receptoras controladas desde una estación maestra con el fin de establecer la posición de la aeronave en tres dimensiones.

15 La presente invención surgió a partir de una consideración de situaciones en las que una estación receptora no puede recibir el código transmitido, el código es indescifrable o cuando una estación receptora desarrolla un fallo. También se consideró la situación en la que las aeronaves no pueden transmitir códigos de modo A.

20 La publicación de solicitud de patente estadounidense n.º US 2004/0189521 A1 da a conocer un sistema de seguimiento de blancos de multilateración directo que usa un sello de fecha y hora de tiempo de llegada (TOA) como entrada. En particular, se proporciona una técnica para seguir blancos con combinaciones de receptor variables. Se proporcionan métodos para correlacionar y combinar mensajes de modo A, modo C y modo S para mejorar el seguimiento de blancos en un sistema de vigilancia pasivo. El sistema usa suavizado y seguimiento de TOA. Se proporciona una técnica para seleccionar la mejor combinación de receptores y/o una solución de ecuaciones de multilateración a partir de una multitud de combinaciones y/o soluciones. Adicionalmente, se proporciona una técnica para corregir valores de pseudodistancia con condiciones atmosféricas. Además, se proporciona una técnica para mejorar la determinación de altura para regiones de VDOP deficiente en un sistema de multilateración en 3D.

30 Según la invención se proporciona un sistema de multilateración que comprende: una pluralidad de estaciones receptoras para recibir señales desde una aeronave; y un controlador para aplicar un proceso de multilateración a salidas de las estaciones receptoras, salidas que indican la recepción de la señal, para derivar una posición de la aeronave; en el que: el controlador: determina un valor de la altura de la aeronave; compara la altura determinada con valores umbral para determinar el proceso de multilateración que va a usarse; si la altura está por debajo de un primer umbral (h_{\min}) entonces se usa un proceso de multilateración en 2D; si la altura está entre el primer umbral (h_{\min}) y un segundo umbral (h_{3D}) entonces se usa un proceso de multilateración asistido en 2D; y realiza el proceso de multilateración seleccionado para proporcionar una posición de la aeronave; en el que el segundo umbral es mayor que el primer umbral.

40 En determinadas situaciones se apreciará que puede haber insuficientes estaciones receptoras que reciben el código transmitido para determinar la ubicación con mucha precisión. Por ejemplo, tres estaciones receptoras podrán proporcionar una posición bidimensional que en algunas circunstancias puede ser útil.

45 Algunas aeronaves están equipadas con un transpondedor de SSR de modo A pero pueden transmitir otros códigos, por ejemplo de modo C. Los códigos de modo A incluyen un único identificador de aeronave y, por tanto, pueden distinguir un código de modo A transmitido por una aeronave del segundo código de modo A transmitido por otra. En algunos casos puede corromperse la transmisión de modo A y, por tanto, quedar inutilizada. Otros códigos pueden no incluir un único identificador de este tipo. Preferiblemente, en un caso de este tipo el proceso de multilateración incluirá una referencia al sistema de seguimiento para distinguir entre posibles fuentes. En el sistema de seguimiento se produce una tabla basándose en las señales devueltas que se revisa con el tiempo.

50 Se apreciará que un proceso de multilateración implica recursos computacionales significativos y será ventajoso en algunas aplicaciones realizar los diferentes procesos de multilateración disponibles según la precisión requerida. Preferiblemente, esto se selecciona basándose en la altura de la aeronave de origen. Se ha encontrado que esto es ventajoso puesto que la incertidumbre en relación con la posición en términos de posición terrestre de la aeronave aumentará con un aumento en altura. Por tanto, cuando la aeronave está a una gran altitud se requerirá una multilateración tridimensional completa mientras que a una altitud relativamente baja será suficiente una multilateración bidimensional. En la realización descrita, para alturas entre umbrales de altitud alta y baja se realiza una multilateración bidimensional que se aumenta con la altura de la aeronave.

60 El código transmitido puede incluir datos con respecto a la altura de la aeronave. Esto puede determinarse por la propia aeronave o por medios terrestres. En el caso de códigos de Radar secundario de vigilancia (SSR), un código de modo C incluye información de altura. En este caso, el controlador puede realizar un proceso de multilateración bidimensional usando algunos de los receptores y usando el valor de la altura para llegar a una localización tridimensional.

65 La invención también proporciona un método de multilateración según la reivindicación 7 y un método de control del tráfico aéreo según la reivindicación 11.

Ahora, a modo de ejemplo, se describirá una realización específica de la invención sólo con referencia al dibujo en el que:

la figura 1 muestra en forma esquemática un sistema de multilateración 1 que opera según la invención; y
 las figuras 2 a 7 son dibujos explicativos.

Tal como se muestra en la figura 1, un sistema de multilateración 1 incluye una pluralidad de estaciones receptoras 2 a 6 situadas en varias ubicaciones en tierra. Éstas reciben una señal transmitida que incluye un código desde un transpondedor montado en una aeronave 7. El código es un código de RADAR secundario de vigilancia que puede ser un modo A, modo S, modo C o puede ser un modo desconocido de código.

La estación receptora 4 se denomina estación maestra porque incluye un controlador que usa los datos desde los receptores para realizar el proceso de multilateración. (En realizaciones alternativas no es necesario que se ubique conjuntamente con el receptor.) Los datos desde las estaciones receptoras 2, 3, 5 y 6 se pasan a la estación maestra 4 a través de enlaces de datos 8. El controlador 20 se basa en un microprocesador y se muestra en mayor detalle en la figura 2. Incluye varios puertos de entrada 21 a 24 enlazados a los enlaces de datos 8 y, por tanto, a las estaciones receptoras. Los puertos de entrada están conectados a un correlador 25 que forma los datos obteniendo conjuntos que se originan para transmisiones particulares de códigos o eventos. Los eventos están correlacionados mediante referencia al tiempo. Por tanto, si un modo A, modo C, modo S o un código de modo desconocido llegan dentro de un determinado periodo de tiempo entonces se considera que se originan desde la misma aeronave. El correlador también concluye información de tiempo de llegada desde todos los receptores para una transmisión dada como un denominado vector de TOA que puede tener una longitud arbitraria dependiendo de los receptores que recibieron una emisión particular de un código. Los vectores se almacenan entonces en la memoria 26 como tablas de tiempos de llegada y códigos asociados.

Luego se accede al vector almacenado en la memoria 26 mediante un localizador 27. Esto incluye una lógica de decisión 28 que analiza los datos para determinar para cada vector un número de criterios, tal como se describirá más adelante, y luego para seleccionar el proceso de multilateración apropiado que va a aplicarse a los datos. El vector junto con una instrucción en cuanto al proceso que va a aplicarse se pasa entonces a un procesador de multilateración 28 y se aplica el proceso de multilateración pertinente. Entonces se usa la posición para crear una entrada en una tabla de rutas 29. Esto se muestra en la figura 3. Cada fila de la tabla se denomina "ruta" e incluye los códigos ya sean de modo A, C o S de dirección del fuselaje, y una posición expresada como coordenadas x, y y z. Puede accederse a la tabla de rutas a través de un bloque de asociación de representación gráfica 30. Éste puede asociar respuestas diferentes de la aeronave para formar una única entrada de ruta en la tabla de rutas 30 a partir de múltiples entradas de rutas.

El bloque de asociación de representación gráfica 30 proporciona una salida a un formateador 31 que pone las rutas en el formato correcto para su introducción en un sistema de seguimiento 32. El sistema de seguimiento 32 proporciona una salida a un sistema de control del tráfico aéreo 33 para presentar visualmente las rutas a un oficial de control humano del tráfico aéreo.

El criterio de selección al que se ha hecho referencia anteriormente incluye lo siguiente:

1. Tipo de modo, si la señal recibida es de modo A, S o C o un modo desconocido.
2. Número de estaciones receptoras que proporcionan datos al conjunto de datos.
3. Si los datos indican altura o si la altura está disponible a partir de otro sistema o puede suponerse la altura.
4. Precisión deseada para el posicionamiento.

La altura puede determinarse de varias maneras. Si el código recibido es de modo C entonces esto incluye un valor de altura proporcionado por la propia aeronave mediante el uso de un altímetro a bordo, por ejemplo. (En algunas realizaciones, la altura puede proporcionarse a partir de una multilateración anterior en la misma aeronave o del conocimiento de la trayectoria de vuelo de las aeronaves que puede requerir el uso de una altitud particular, por ejemplo.)

Tal como se muestra en la figura 4 explicativa, la altura de la aeronave tiene una incertidumbre y esto se traducirá en una incertidumbre en la posición terrestre correspondiente. A partir de una apreciación de esto, los inventores han determinado que puede conseguirse una multilateración satisfactoria a niveles bajos suponiendo que la aeronave está a altitud cero y es coplanaria con los receptores y, por tanto, puede ser suficiente un proceso de multilateración bidimensional. Para niveles intermedios, puede usarse una multilateración bidimensional aumentada con información de altura y se requerirá una multilateración tridimensional usando cuatro o más receptores a grandes altitudes. Este efecto de banda se muestra esquemáticamente en la figura 5.

La lógica de decisión 28 considera cada vector de la manera ilustrada en la figura 6. Se accede al vector de TOA y,

en la etapa de decisión 60, se considera la longitud de vector. Si la longitud de vector es de cuatro retornos o más, entonces se sigue la rama 61 a la siguiente etapa 62.

En la etapa 62, se considera el vector y se determinan los receptores que realizan los retornos. Se apreciará que aunque están disponibles cuatro retornos en un sistema práctico, éstos pueden no extenderse en el caso ideal. Por tanto, si la geometría del grupo de receptores que proporcionan los retornos en el vector no es tal como para proporcionar suficiente precisión, entonces se sigue una rama negativa 63 a la etapa 64. Si la geometría ofrece suficiente precisión, entonces se sigue la rama 65 a la etapa 66. En la etapa 66, se indica una multilateración tridimensional completa.

Volviendo a la etapa 60, si la longitud de vector es menor que cuatro entonces se sigue la rama negativa 67 a la etapa 64. En la etapa 64, se toma una decisión de si debe realizarse o no una multilateración bidimensional o una multilateración bidimensional aumentada usando la altura barométrica indicada en una emisión de modo C. La etapa se divide en diversas elecciones dependiendo tanto del código de SSR asociado con la entrada de datos como de la certeza de de qué tipo podría ser el código. Existen los siguientes casos:

1. Modo S

2. Modo A

3. Modo C

4. O bien modo A o bien modo C (es decir, no se conoce)

Obsérvese que se han ignorado las variantes militares por motivos de claridad.

Cada uno de estos casos tiene su propia lógica de decisión. La lógica usada depende de la extensión de información en la tabla de rutas. El proceso se ilustra para tres casos tal como se muestra en las figuras 7 a a d.

En la figura 7a, se representa el proceso de primer caso para un examen del código recibido en el que el código es un código de modo S. En una primera etapa de consideración 70, el código recibido tiene una dirección de fuselaje que se compara con las rutas en la tabla de rutas 29 para ver si la dirección de fuselaje ya está presente como entrada. Si es así, entonces el proceso sigue la rama 71 a la siguiente etapa de consideración 72 en la que se examina la tabla de rutas en cuanto a la disponibilidad de la altitud de modo C para la ruta particular. Si está presente la altitud de modo C, entonces se sigue la rama 73 y se realiza la siguiente etapa de consideración 74. En la etapa 74, se realiza la consideración de si la altitud está contenida o no en el código recibido de modo S actual. Si es así, entonces se sigue la rama 75 y se usa la ruta en el proceso 76 para realizar una multilateración bidimensional usando la altitud en el código de modo S y se actualiza la ruta en la tabla de rutas con la posición en términos de coordenadas x, y y z.

Si en la etapa 74 la altitud no está contenida en el modo S actual, entonces se sigue la rama negativa 77 al proceso 78. En este proceso se realiza una multilateración con la altitud a partir de la tabla de rutas disponible del último retorno de modo C. Si el resultado se pasa entonces a un proceso de correspondencia 79 que compara el resultado con uno extrapolado para la ruta. Si hay una correspondencia dentro de un determinado umbral, entonces se actualiza la ruta en la tabla de rutas con la posición nueva. Si no hay ninguna correspondencia, entonces se sigue la rama negativa 80 al proceso 81. (En esencia, esto se debe a que el código recibido es una aeronave nueva que entra en el área de control del tráfico aéreo.) La etapa 81 da como resultado un proceso de multilateración que se realiza a cero pies y se actualiza la tabla de rutas para incluir una ruta nueva que lleva una bandera que indica que no debe salir del sistema puesto que tiene una precisión de posición insuficiente. Esta ruta se actualizará cuando se reciban más códigos y cuando la precisión sea aceptable se bajará la bandera permitiendo que la ruta salga del sistema.

Volviendo a la etapa 70, si la dirección de fuselaje no está presente en la tabla de rutas, entonces se sigue la rama negativa 82 a la etapa 74. Si la altitud está contenida en el código de modo S actual, entonces se sigue la rama positiva 83 a la etapa 76. Si la altitud no está contenida entonces se sigue una rama negativa 84 al proceso 81.

Volviendo a la etapa 72, si el resultado de la consideración de la altitud de modo C que está en la tabla de rutas es negativo, entonces se sigue la rama 85 a la etapa 74.

En la etapa 78, se realiza el proceso de multilateración usando la altitud en la tabla de rutas. Sin embargo, en la etapa 76 se llevará a cabo el proceso de multilateración basándose en el código de modo S actual. El proceso de multilateración que va a aplicarse ya sea en 2D o 2D aumentado se realiza con una consideración de los efectos de banda de la figura 5. Si la altura está entre Hmin y H3d, entonces se sigue un proceso de multilateración asistido en 2D y se añade una bandera que indica una precisión reducida. Si la altura está por debajo de hmin, entonces el proceso de multilateración es un proceso en 2D y el resultado se marca por una bandera como de precisión completa. Si la altura está por encima de h3d, entonces el localizador no proporciona una salida y no se actualiza la tabla de rutas.

ES 2 511 030 T3

5 En el caso 2 mostrado en la figura 7b, el código recibido actualmente es un código de modo A. Este código se compara en la etapa 90 con cada ruta en la tabla de rutas. Entonces a su vez se consideran las correspondencias en la etapa 91 en cuanto a si la ruta incluye o no una altitud de modo C. Si es así, entonces se sigue la rama 92 al proceso 93 o si no la rama 94 al proceso 95. Si no hay ninguna correspondencia, entonces se sigue la rama 96 al proceso 97.

10 En el proceso 93, la altura se compara con el efecto de bandas como antes para seleccionar el proceso de multilateración que va a aplicarse. Si la altura está entre h_{min} y h_{3d} , entonces se aplica un proceso de multilateración asistido en 2D usando la altitud a partir de la tabla de rutas para la ruta de correspondencia que marca el resultado como de precisión reducida. Si la altura de la tabla de rutas está por debajo de h_{min} , entonces se realiza una multilateración en 2D marcando los resultados como de precisión completa. Si la altura está por encima de h_{3d} , entonces no hay ninguna salida del localizador.

15 En el proceso 95, se lleva a cabo una multilateración en 2D y el resultado se marca como que no debe salir del sistema. Los resultados para la posición desde el proceso 93 y 95 se pasan a una etapa de comparación 96. En esta etapa de comparación, la posición en términos de coordenadas x , y y z se compara con una posición extrapolada para la ruta. Si hay una correspondencia, se usan los resultados para actualizar la ruta en la tabla de rutas, si no hay ninguna correspondencia entonces se sigue la rama en bucle a la etapa 90. (La correspondencia puede realizarse en términos de x , y y z o x , y y z determinada a partir de una transmisión de modo C en algunas realizaciones.)

20 En el caso de que no haya correspondencias en el código o en las coordenadas x , y , z en el proceso 96, se lleva a cabo un proceso de multilateración en 2D y se marcan los resultados como que no deben salir del sistema.

25 En el caso de que el código recibido sea un código de modo C, las etapas se muestran en la figura 7c. En una primera etapa 100, se identifican las correspondencias para el código recibido en la tabla de rutas. Entonces cada correspondencia tiene un proceso de multilateración 101 aplicado a la misma usando la altitud a partir de la entrada de ruta en la tabla de rutas. Si la altitud está entre h_{min} y h_{3d} , entonces se lleva a cabo una multilateración asistida en 2D con los resultados marcados como de precisión reducida. Si la altitud está por debajo de h_{min} , entonces se lleva a cabo un proceso de multilateración en 2D y se marca como de precisión completa. Si la altitud está por encima de h_{3d} , entonces no hay ninguna salida del localizador. La posición de multilateración resultante se compara con el proceso 102 a una posición extrapolada para la ruta particular de la tabla de rutas. Si hay una correspondencia, entonces se actualiza la ruta. Si no hay ninguna correspondencia, entonces se sigue la rama negativa de vuelta a la etapa 100.

35 Si no hay ninguna correspondencia para el código o coordenadas, entonces se lleva a cabo la etapa de proceso 104 para el código de modo C recibido puesto que se recibe desde una aeronave que entra en el espacio aéreo monitorizado. En el proceso 104, se lleva a cabo un proceso de multilateración en 2D o asistido en 2D basándose en la altitud en el código de modo C recibido. En este proceso, si la altitud está entre h_{min} y h_{3d} , se lleva a cabo un proceso de multilateración asistido en 2D con el resultado marcado como de precisión reducida. Si la altitud está por debajo de h_{min} , entonces se lleva a cabo un proceso de multilateración en 2D y los resultados se marcan como de precisión completa. Si la altura está por encima de h_{3d} , entonces no hay ninguna salida del localizador.

40 El proceso de multilateración en 3D implicará cuatro o más de los receptores tal como se dan a conocer en los documentos GB225014 o GB 239531, por ejemplo. Sin embargo, si la altura es conocida, es necesario determinar
45 sólo dos cifras de diferencia de tiempo de llegada.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de multilateración que comprende:
 - 5 una pluralidad de estaciones receptoras (2, 3, 4, 5, 6) para recibir señales desde una aeronave (7); y un controlador (20) para aplicar un proceso de multilateración a salidas de las estaciones receptoras, salidas que indican la recepción de la señal, para derivar una posición de la aeronave; en el que:
 - 10 el controlador:
 - determina un valor de la altura de la aeronave;
 - compara la altura determinada con valores umbral para determinar el proceso de multilateración que va a usarse;
 - 15 si la altura está por debajo de un primer umbral (h_{min}) entonces se usa un proceso de multilateración en 2D;
 - si la altura está entre el primer umbral (h_{min}) y un segundo umbral (h_{3D}) entonces se usa un proceso de multilateración asistido en 2D; y
 - realiza el proceso de multilateración seleccionado para proporcionar una posición de la aeronave; en el que
 - 20 el segundo umbral es mayor que el primer umbral.
2. Sistema según la reivindicación 1, en el que el controlador realiza un proceso de multilateración que usa salidas de los receptores y la altura de la aeronave.
3. Sistema según cualquier reivindicación anterior, en el que las salidas se usan para crear una ruta para la aeronave que se almacena en una memoria.
4. Sistema según la reivindicación 3, en el que la ruta comprende al menos uno de un indicador de tipo modo, un código de modo, una posición.
5. Sistema según la reivindicación 3 o 4, que comprende una lógica para comparar una posición determinada actualmente proporcionada por el proceso de multilateración llevado a cabo con una posición predicha extrapolada a partir de una ruta y en el caso de que la comparación esté dentro de un determinado umbral concluir que hay una correspondencia y actualizar la ruta con la posición determinada actualmente.
6. Sistema de control del tráfico aéreo para monitorizar el tráfico aéreo que comprende un sistema de multilateración según cualquier reivindicación anterior y medios para presentar visualmente al menos algo de la información de ruta proporcionada por el sistema de multilateración a un operador.
7. Método de multilateración para determinar la posición de una aeronave que emite un código, comprendiendo el método:
 - 45 recibir el código en una pluralidad de estaciones receptoras (2, 3, 4, 5, 6);
 - determinar un valor de la altura de la aeronave;
 - comparar la altura determinada con valores umbral para determinar el proceso de multilateración que va a usarse;
 - usar un proceso de multilateración en 2D si la altura está por debajo de un primer umbral (h_{min});
 - 50 usar un proceso de multilateración asistido en 2D si la altura está entre el primer umbral (h_{min}) y un segundo umbral (h_{3D}); y
 - aplicar el proceso de multilateración seleccionado a salidas de las estaciones receptoras para derivar una posición de la aeronave; en el que
 - 55 el segundo umbral es mayor que el primer umbral.
8. Método según la reivindicación 7, en el que la altura es una altura barométrica obtenida de un código recibido.
9. Método según las reivindicaciones 7 u 8, en el que los datos se almacenan como ruta.
10. Método según la reivindicación 9, en el que una posición actual proporcionada por el proceso de multilateración usado se compara con posiciones extrapoladas a partir de las rutas para determinar una correspondencia y en el caso de una correspondencia actualizar la ruta con la posición actual.
11. Método de control del tráfico aéreo que comprende determinar posiciones de aeronaves usando un método según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, y presentar visualmente las posiciones de aeronaves a un operador.

FIG 1

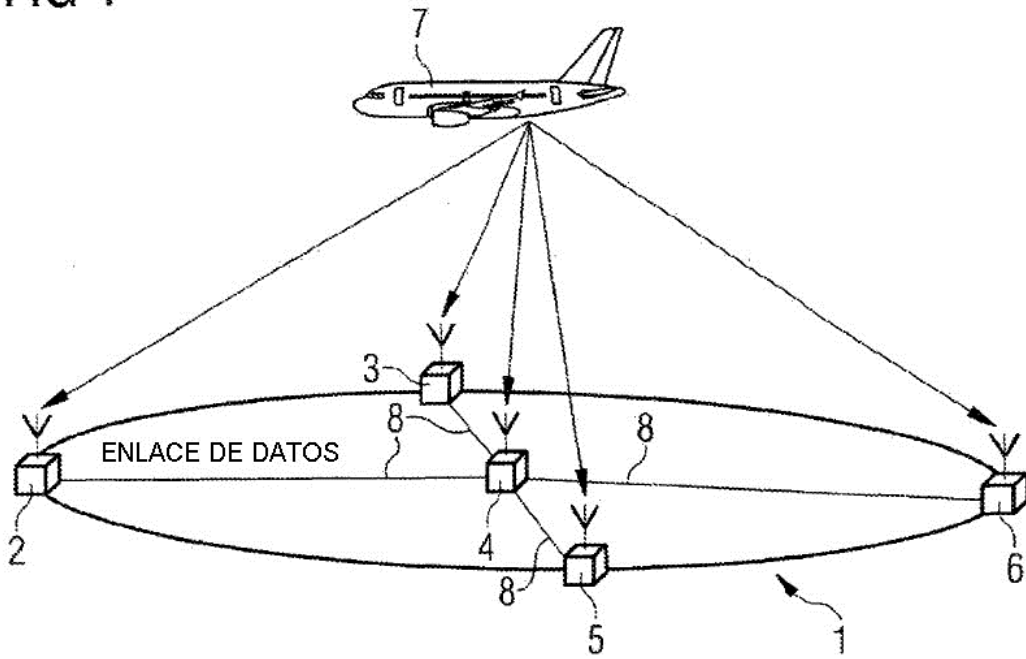


FIG 2

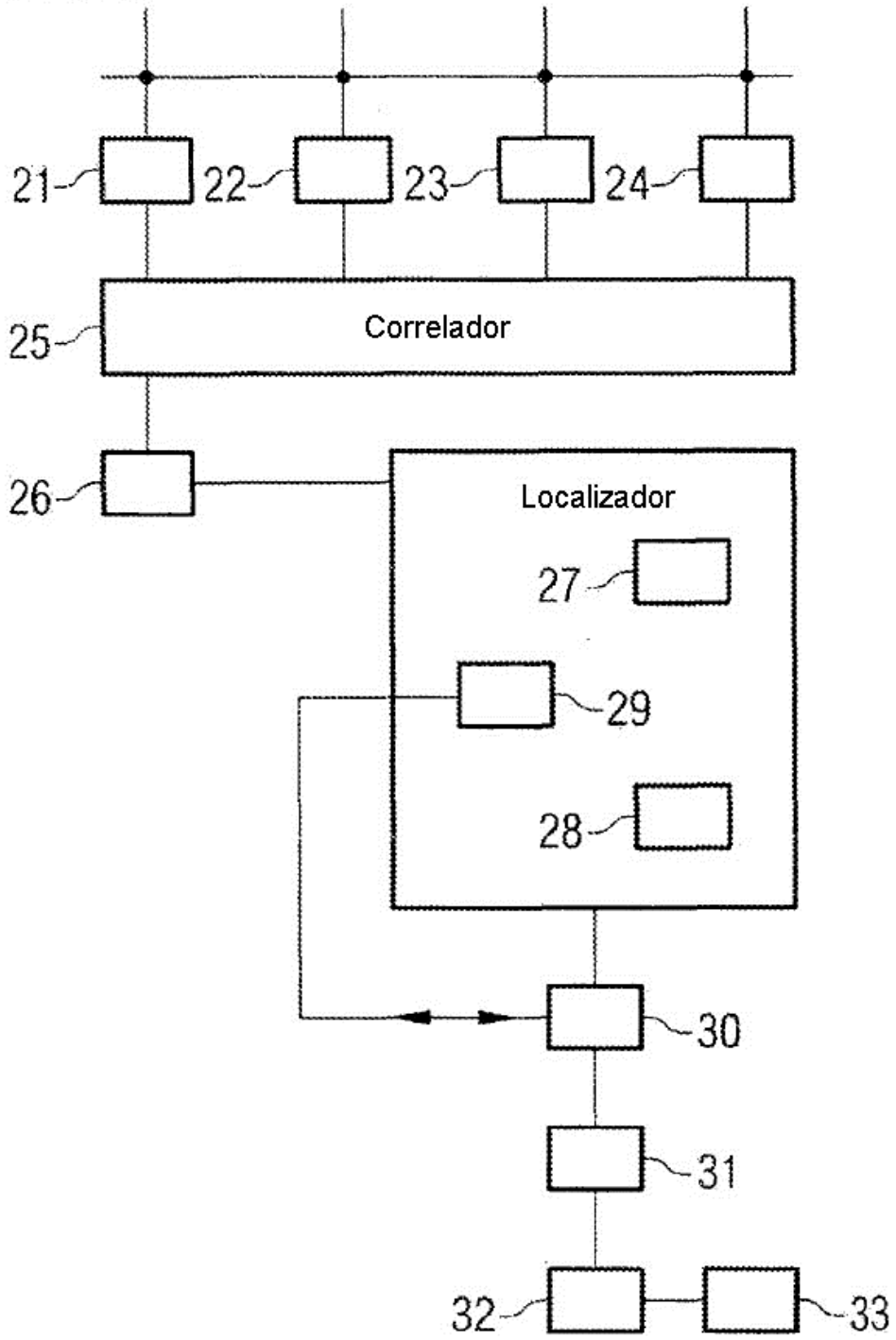


FIG 3

ID de modo A	Altitud de modo C	Modo SAA	X	Y	Z

FIG 4

Correlación de error de distancia y altura

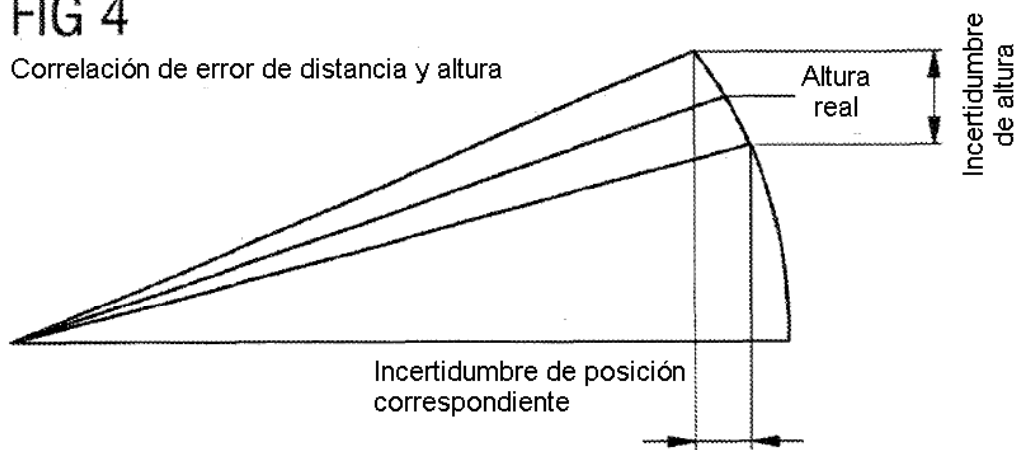


FIG 5

3D

----- h_{3D}

Asistido en 2D (se proporciona la altura)

----- h_{min}

Sólo en 2D (altura cero)

----- 0

FIG 6

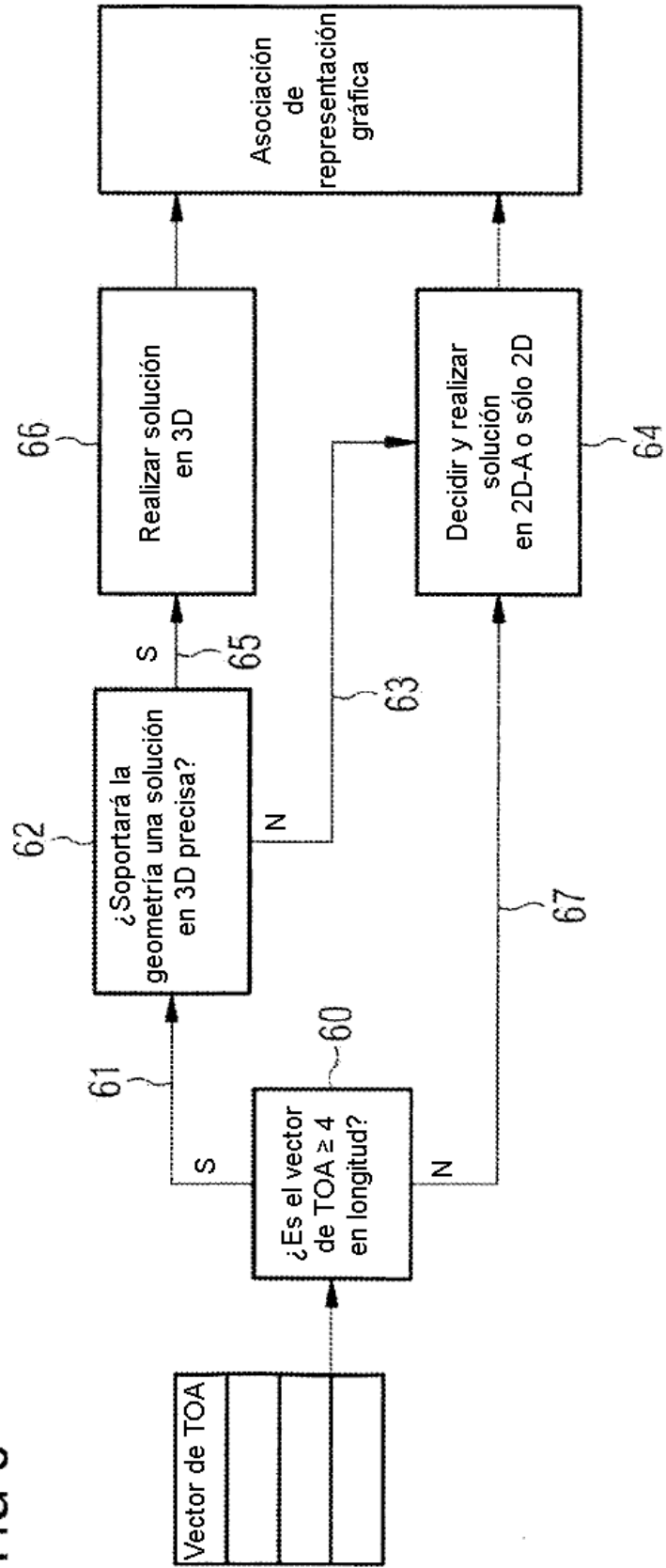
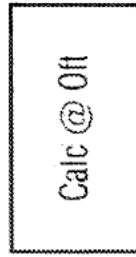
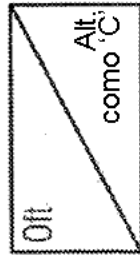


FIG 7A



Si la altitud está:

- Entre h_{min} y h_{3D} , realizar 2D-A con altitud en la tabla de rutas - marcar como de precisión reducida
 - Por debajo de h_{min} , usar altura cero - marcar como de precisión completa
 - Por encima de h_{3D} , no hay salida del localizador
- Si la altitud está:
- Entre h_{min} y h_{3D} , realizar 2D-A con altitud según el modo C - marcar como de precisión reducida
 - Por debajo de h_{min} , usar altura cero - marcar como de precisión completa
 - Por encima de h_{3D} , no hay salida del localizador

Realizar un cálculo de sólo 2D, marcar como que no debe salir del sistema (se usa sólo para asociación de representación gráfica)

Caso 1 - Modo S

