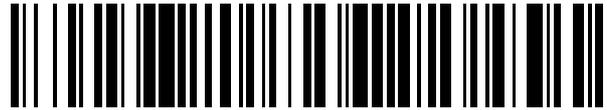


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 525**

51 Int. Cl.:

G01S 13/72 (2006.01)

G01S 13/91 (2006.01)

G08G 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.12.2009 E 09177900 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015 EP 2202534**

54 Título: **Procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor con reducido tiempo de latencia**

30 Prioridad:

16.12.2008 FR 0807061

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

26.05.2015

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
45, RUE DE VILLIERS
92200 NEUILLY SUR SEINE, FR**

72 Inventor/es:

**BAUD, OLIVIER y
HONORE, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 536 525 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

Procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor con reducido tiempo de latencia

La presente invención se refiere a un procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor con reducido tiempo de latencia. Se refiere particularmente a los sistemas de rastreo de aeronaves implementados en la gestión del tráfico aéreo.

El control del tráfico aéreo, o ATC según el acrónimo de Air Traffic Control, permite a unos controladores aéreos asegurar la ejecución segura, rápida y eficaz de los vuelos de las aeronaves en el espacio aéreo bajo supervisión.

Su papel es principalmente prevenir las colisiones entre las aeronaves y el terreno o los vehículos, así como las colisiones en vuelo entre aeronaves. Consiste también en acelerar y ordenar la circulación aérea, en proporcionar a las aeronaves los avisos y notificaciones útiles para la ejecución segura y eficaz del vuelo, tales como las informaciones meteorológicas, la información sobre el estado de los medios de navegación en el terreno y la información sobre el tráfico. Consiste finalmente en proporcionar un servicio de alerta para prevenir a los organismos apropiados cuando las aeronaves tienen necesidad de ayuda de los cuerpos de socorro y de salvamento, y a prestar a estos organismos la colaboración necesaria. El documento EP 0 926 511 describe un ejemplo de sistema ATC en base a un procedimiento mejorado de correlación que se refiere particularmente a unos objetivos cuyas trayectorias se cruzan. Otro ejemplo de sistema ATC se describe en el documento EP 0 351 654 que propone un procedimiento de conversión de coordenadas para un sistema de control de tráfico aéreo.

Los datos necesarios para la gestión del control del tráfico aéreo proceden esencialmente de una pluralidad de sensores. Entre estos sensores, unos radares primarios de vigilancia o PSR según el acrónimo de Primary Surveillance Radars, proporcionan unos ecos de los objetivos, a través de unas informaciones de azimut, de distancia y de instante de detección.

Se proporcionan también unos datos por parte de unos radares secundarios de vigilancia o SSR según el acrónimo de Secondary Surveillance Radars; un SSR envía unas señales a unos objetivos. Cuando estos objetivos son unas aeronaves equipadas con transpondedores, estos últimos envían de vuelta unas informaciones, que son recibidas por el SSR. Las informaciones recibidas por el SSR comprenden la distancia y el azimut, así como las informaciones complementarias proporcionadas por el transpondedor según su tipo. De ese modo un transpondedor compatible con el modo A/C proporciona unos datos de identificación de la aeronave (modo A), y un dato de altitud barométrica (modo C). El conjunto de los datos proporcionados por un SSR permite por lo tanto una identificación de las aeronaves que evolucionan en su campo de visión, así como el conocimiento de sus posiciones respectivas en un espacio tridimensional. Existen además unos transpondedores equipados con un modo perfeccionado o modo S, que proporcionan bajo demanda los mismos datos que el modo A/C, además de una identificación unívoca de la aeronave codificada en 24 bits, y medios de comunicación bilateral de diversos datos. El documento US 6.573.858 propone un procedimiento de seguimiento multi-sensor que utiliza unos sensores PSR y/o SSR de ese tipo.

Otros datos de localización de aeronaves y objetivos en el terreno son proporcionados por unos sensores de multilateralización o MLAT, que consisten en una pluralidad de antenas omnidireccionales diseminadas sobre el terreno, que reciben unas señales enviadas por una aeronave con el fin de localizarla. Estas señales pueden ser no solicitadas, o bien enviadas por la aeronave en respuesta a unas señales procedentes de radares. Unos cálculos que tratan sobre las diferencias entre los tiempos de recepción de estas señales por al menos dos antenas permiten determinar la posición de la aeronave. Este tipo de sensor se utiliza ampliamente para la vigilancia de los movimientos en el terreno en unas zonas del aeropuerto y en las zonas de aproximación. Se utiliza otra técnica que procede de una manera similar para la localización de aeronaves fuera de las zonas de aproximación de los aeropuertos, en base a las señales recibidas por una pluralidad de antenas omnidireccionales dispuestas sobre unas zonas geográficas mucho más amplias; esta técnica lleva el nombre de WAM, según el acrónimo de Wide Area Multilateration.

Existen también unos sistemas de vigilancia automática y dependiente de las aeronaves, conocidos bajo los acrónimos de ADS por Automatic Dependent Surveillance. Un primer sistema de ADS, denominado ADS-C según el acrónimo para Automatic Dependent Surveillance - Contract, se utiliza esencialmente para las zonas en las que están disponibles pocos sensores de otros tipos, por ejemplo las zonas desérticas u oceánicas. Las aeronaves que están equipadas con ellos difunden por radio hacia un satélite de comunicación unos datos relativos a su posición, por ejemplo determinada por un calculador embarcado en base a los datos proporcionados por un receptor de geolocalización por satélite o GPS según el acrónimo de Global Positioning System, y/o por una central de inercia. Se difunden otros datos tales como unos datos sobre la ruta diseñada por la aeronave, las velocidades de la aeronave con relación al aire y al suelo, unos datos meteorológicos (fuerza y dirección del viento, temperatura, etc.). La difusión de estos datos por la aeronave puede hacerse de manera periódica, o bien en relación a ciertos eventos, o incluso en caso de una situación de urgencia. Los datos son transmitidos a continuación por el satélite y son recibidos por una antena dedicada.

Un segundo sistema de ADS se denomina ADS-B según el acrónimo de Automatic Dependent Surveillance - Broadcast. Las aeronaves que están equipadas con ellos difunden por radio los datos descritos anteriormente con

referencia al ADS - C, directamente hacia una antena en el suelo. La transmisión se realiza de manera periódica, a una frecuencia muy elevada, de al menos una emisión por segundo.

El seguimiento multi-sensor o rastreo multi-sensor, es el proceso que, a partir de una pluralidad de detecciones transmitidas por diferentes sensores entre los sensores anteriormente citados, permite:

- 5 • reconocer entre las detecciones a su disposición, aquellas que muestreen la trayectoria de cada aeronave presente en la cobertura de detección de cada sensor,
- reconstituir lo más precisamente posible las trayectorias de las aeronaves, es decir las pistas multi-radares.

Se habla de seguimiento multi-radar, o rastreo multi-radar, cuando los sensores son unos radares, particularmente del tipo PSR o SSR.

- 10 El seguimiento multi-radar se basa generalmente en una técnica de fusión de detecciones de radar o MPVU, según el acrónimo de Multiple Plot - Variable Update. Mediante esta técnica, cada punto, o "contacto", procedente de la detección de una misma aeronave es procesado lo más rápidamente posible, con el fin de poner al día la pista multi-radar correspondiente en los mejores plazos. Existen otros procedimientos conocidos de seguimiento multi-radar, pero entre ellos, la MPVU es la que proporciona una mayor precisión. En cualquier caso esta precisión supone una complejidad relativa de los cálculos ejecutados por el sistema de rastreo. Una complejidad de los cálculos implica una fuerte latencia introducida por el sistema de rastreo, pudiendo ser definida esta latencia como la diferencia de tiempo calculado entre el momento de salida de la información del sistema de rastreo, y el momento de recepción de los datos de entrada.

- 20 El TIS-B, acrónimo de Traffic Information Service - Broadcast, es un servicio que permite difundir unas informaciones de tráfico a unos sistemas aeroportuarios, y particularmente a los pilotos de las aeronaves. La difusión de informaciones se asegura por unas estaciones en el suelo que emiten desde el suelo hacia al aire, unas informaciones de vigilancia. El TIS-B no requiere de transmisión de informaciones o de acuses de recibo de los mensajes TIS-B por parte de las aeronaves. Por el contrario, para que el sistema sea eficaz, es indispensable que el tiempo de latencia de toda la cadena de transmisión de las informaciones sea reducido. El tiempo de latencia de toda la cadena de transmisión comprende el tiempo a contar desde la recepción de la información por los diversos radares y sensores, pasando por el tratamiento de la información por los radares y sensores, la transmisión de la información hasta el centro de control del tráfico aéreo, el tratamiento de los datos de entrada en el centro de control del tráfico aéreo, el tratamiento de los datos propiamente dichos por el sistema de rastreo multi-sensor o MSTs según el acrónimo de Multi-Sensor Tracking System, posteriormente el tratamiento de los datos de salida, su difusión, y hasta la recepción por las aeronaves que evolucionan en el espacio de interés. El tiempo de latencia total máximo aceptable se define por ejemplo en los Estados Unidos por la norma: DO-286B - TIS-B MASPS (Traffic Information Service - Broadcast -- Minimum Aviation System Performance Specifications).

- 35 El tiempo de latencia introducido por un sistema de rastreo multi-radar que funciona en base a unas técnicas actuales es tal que, por sí solo, contribuye de manera insalvable al tiempo de latencia total de toda la cadena de transmisión, haciendo imposible la conformidad con la norma DO-286B - TIS-B MASPS antes citada.

Además, los tiempos de latencia ligados a la línea de transmisión desde un radar hasta el centro ATC pueden ser muy variables para una línea dada, y de ese modo imponer a los sistemas de seguimiento el recurso a unos sectores de memoria tampón adicionales, lo que alarga el tiempo de latencia introducido por el sistema de rastreo; este inconveniente es conocido bajo el nombre de "time disorders".

- 40 Otro inconveniente de los tratamientos de informaciones procedentes de radares, que tiene un impacto negativo sobre el tiempo de latencia introducido por el sistema de rastreo, está ligado al hecho de que es necesario para el sistema esperar a unas señales específicas por parte de los radares, que indican que todos los contactos del sector dado se han enviado, antes de comenzar el tratamiento sobre los contactos de ese sector.

- 45 La obra de S.S. Blackman titulada "Multiple-Target Tracking with Radar Applications" describe los procedimientos de seguimiento de objetivos en unas aplicaciones de radar.

Un objetivo de la presente invención es paliar los inconvenientes antes citados, proponiendo un procedimiento de reducción del tiempo de latencia introducido por el sistema de rastreo multi-sensor en el marco del control del tráfico aéreo, que haga posible la conformidad de los sistemas de rastreo multi-sensor del tipo MPVU con la norma antes citada, en lo que se refiere al tiempo máximo de latencia aceptable en un sistema de tipo TIS-B.

- 50 Además, otra ventaja proporcionada por la presente invención palía un inconveniente ligado a los tratamientos de las informaciones procedentes de radares, tal como unos objetivos que se desplazan particularmente a unas velocidades sobre el terreno elevadas en la proximidad del centro de un radar, que no pueden ser percibidos, o bien que no pueden ser asociados a unas pistas; este inconveniente está ligado al reparto de la zona de vigilancia en células de sectores angulares, cuya superficie es más pequeña en la proximidad del centro del radar.

- 55 Con este fin, la invención tiene por objeto un procedimiento de tratamiento del seguimiento de objetivos aéreos que evolucionan en un espacio de interés, detectados mediante una pluralidad de sensores, caracterizado porque:

- las detecciones procedentes de los sensores se sintetizan bajo la forma de detecciones de un único radar ficticio sincronizado para una pluralidad de sectores virtuales internos de duración determinada,
 - el procedimiento comprende una etapa previa que establece una rejilla bidimensional de un plano de proyección estereográfico del espacio de interés, estando dividida la rejilla bidimensional en una pluralidad de células de forma rectangular,
 - el sistema de rastreo memoriza en una memoria tampón todas las detecciones realizadas durante al menos un sector virtual interno,
 - la función de correlación calcula una correlación de las detecciones con unas pistas sobre la base de un primer criterio de proximidad entre las células de la rejilla bidimensional que contiene las detecciones y las pistas.
- 5
- 10 En un modo de realización de la invención, el procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor descrito más arriba se puede caracterizar porque la función de correlación es activada mediante un mensaje de fin del sector virtual interno, siendo efectuada la correlación en base a unas detecciones memorizadas durante el sector virtual interno.
- 15 En un modo de realización de la invención, el procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor descrito más arriba se puede caracterizar porque comprende una función de asociación que asocia las detecciones de unas pistas en base a un criterio suplementario de diferencia de tiempo entre el instante de recepción de la detección de radar y el instante de recepción del mensaje de fin de sector virtual interno que haya activado los tratamientos de correlación y de asociación, permitiendo el criterio una confirmación de la asociación de la detección con la pista, una puesta al día de la pista y la supresión de la detección de la memoria tampón, si dicha diferencia de tiempos es superior a un umbral determinado, permitiendo el criterio conservar la detección en la memoria tampón para un tratamiento ulterior, si la diferencia de tiempos es inferior al umbral determinado.
- 20
- En un modo de realización de la invención, el procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor descrito más arriba se puede caracterizar porque las células de forma rectangular tienen una forma cuadrada cuyo lado tiene una longitud predeterminada.
- 25 En un modo de realización de la invención, el procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor descrito más arriba se puede caracterizar porque el primer criterio de proximidad permite elegir unas pistas candidatas a la correlación con un punto dado que corresponde a una detección, todas las pistas situadas en las 8 células adyacentes a la célula que contiene el punto dado, y en dicha célula.
- 30 En un modo de realización de la invención, el procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor descrito más arriba se puede caracterizar porque el primer criterio de proximidad permite elegir unas pistas candidatas a la correlación con un punto dado que corresponde a una detección, todas las pistas situadas en las 3 células adyacentes a una de las 4 subdivisiones idénticas de la célula que contiene el punto dado, y en dicha célula.
- La invención tiene también por objeto un sistema de control del tráfico aéreo caracterizado porque realiza un procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor tal como se ha descrito más arriba.
- 35 Aparecerán otras características y ventajas de la invención con la lectura de la descripción, dada a título de ejemplo, realizada en relación a los dibujos adjuntos que representan:
- la figura 1, mediante un esquema sinóptico, la estructura global del sistema de control del tráfico aéreo;
 - la figura 2, mediante un esquema sinóptico, la estructura global del sistema de rastreo del tipo MPVU;
 - la figura 3a, mediante un diagrama, la estructura del nodo del sistema de rastreo multi-radar en un sistema de rastreo del tipo MPVU; la figura 3b, un esquema que representa el reparto por sectores angulares utilizado en el tratamiento de las informaciones proporcionadas por unos radares en el marco del sistema de control del tráfico aéreo conocido en el estado de la técnica;
 - la figura 4, un ejemplo de diagrama temporal que representa un ejemplo de secuenciamiento del tratamiento de los datos entrantes en el marco de un sistema de rastreo multi-sensor según la invención; y
 - las figuras 5a y 5b, unos esquemas representativos de un ejemplo de procedimiento de correlación puesto en práctica en un sistema de rastreo multi-sensor según la invención.
- 40
- 45
- 50 La figura 1 representa, mediante un esquema sinóptico, la estructura global de un sistema de control aéreo. Una aeronave 100 emite y recibe unas informaciones de parte y hacia una pluralidad de emisores y de sensores. La mayor parte de las informaciones son centralizadas y procesadas en un centro de control del tráfico aéreo o ATC 101. En el ejemplo de la figura, un radar primario de vigilancia PSR 102 procesa y transmite los datos al centro 101 de ATC. Un radar secundario de vigilancia 103, en este ejemplo montado con un radar primario de vigilancia, procesa y transmite unos datos al centro 101 de ATC. Un radar 104 en modo S transmite unos datos al centro 101 de ATC. La aeronave 100 emite unas señales específicas captadas por una estación 106 de recepción del tipo ADS situada en el suelo, ella misma procesa las informaciones recibidas y envía a su vez unas informaciones al centro 101 de ATC. La aeronave 100 emite unas señales específicas captadas por unos sensores diseminados en el suelo, de tipo MLAT y/o WAM 107, que procesan las informaciones recibidas y envían a su vez unas informaciones al centro 101 de ATC. Una pluralidad de satélites de geoposicionamiento 108 de tipo GPS o Galileo emite unas señales que son captadas mediante un receptor dedicado de la aeronave 100. La aeronave 100 intercambia unas
- 55

informaciones con un satélite Sat Com 110, particularmente la aeronave 100 envía unos informes de tipo ADS-C al satélite Sat Com 110. El satélite Sat Com 110 intercambia por sí mismo unas informaciones con tierra, a través de una estación 111 de emisión/recepción de satélite en el terreno, comunicando por sí mismo con el centro 101 de ATC. Un satélite 109 comunica con el suelo unas informaciones diversas a través de la estación 111 de emisión/recepción y transmite las informaciones a la aeronave 100.

Una estación 105 de emisión en el suelo del tipo TIS-B emite unas informaciones recibidas por la aeronave 100. Los datos transmitidos por la estación 105 se basan en los datos proporcionados por el centro 101 de ATC, y son una síntesis de todos los datos recibidos por el centro 101 de ATC.

La figura 2 presenta mediante un esquema sinóptico, la estructura global del sistema 201 de rastreo del tipo MPVU conocido en el estado de la técnica. El sistema de rastreo se pone en práctica en una unidad de cálculo en el seno del centro 101 de control del tráfico aéreo. El sistema de rastreo comprende un dispositivo 202 de gestión de los datos de entrada, un nodo o kernel 204, y un dispositivo 203 de gestión de los datos de salida. El dispositivo 202 de gestión de los datos de entrada recibe los datos del conjunto de los radares y sensores implicados en la gestión del tráfico aéreo, entre ellos particularmente el radar 103 SSR, pero también unos radares 102 primarios, unos datos procedentes de balizas 107 MLAT y WAM, informes ADS-B, etc.

El kernel 204 efectúa todos los tratamientos sobre los datos de entrada previamente procesados por el dispositivo 202 de gestión de los datos de entrada, y genera unos datos de salida preparados por el dispositivo 203 de gestión de los datos de salida. El funcionamiento del kernel se describe más precisamente en el presente documento a continuación con referencia a la figura 3a. Los datos procedentes del dispositivo 203 de gestión de los datos de salida se envían por ejemplo hacia una interfaz de visualización destinada a los controladores aéreos, pero también hacia la estación 105 de emisión del tipo TIS-B.

Un primer tiempo de latencia significativo es imputable a la transmisión de los datos aguas arriba del dispositivo 202 de gestión de los datos de entrada. Este primer tiempo de latencia es inherente a los radares y sensores utilizados, a los tratamientos que éstos pueden realizar sobre las señales que reciben, así como a la transmisión de sus datos de salida hasta el centro 101 ATC. Este último tiempo de latencia es generalmente mayor en lo que se refiere a los radares de vigilancia primarios y secundarios. Típicamente, este primer tiempo de latencia puede ser del orden de 2 segundos. Este primer tiempo de latencia es desgraciadamente difícilmente compresible, a menos que se cuestionen la estructura de los radares y de las líneas de transmisión. Ahora bien, el tiempo requerido por la norma DO-286B - TIS-B MASPS antes citada y necesario para la eficacia del sistema TIS-B, en lo que se refiere al tiempo total de latencia que comprende el primer tiempo de latencia aguas arriba del dispositivo 202 de gestión de los datos de entrada, el tiempo de latencia introducido por el tratamiento a nivel del kernel 204, el tiempo de latencia introducido por el dispositivo 203 de gestión de los datos de salida, la transmisión de los datos hasta la estación 105 de emisión TIS-B y la preparación de estos datos antes de la emisión por ésta, es del orden de 3,25 segundos. De ese modo es necesario, para una conformidad con la norma antes mencionada en materia de tiempo de latencia aceptable en un sistema TIS-B, que el tiempo de latencia introducido por el tratamiento al nivel del kernel 204 sea muy corto, típicamente inferior a 850 milisegundos. Sin embargo, los tiempos de latencia introducidos por los kernel actuales, para el tratamiento simple de los datos procedentes de los radares de tipo PSR y SSR, son del orden del segundo, en el mejor de los casos, y puede durar a veces varios segundos según los tipos de radares y la infraestructura de las líneas de transmisión. Las razones por la que los tiempos de latencia introducidos por los kernel actuales son tan importantes se comprenderán mejor con la lectura de la descripción dada con referencia a las figuras 3a y 3b en el presente documento a continuación.

La figura 3a presenta mediante un diagrama, la estructura del nodo de un sistema de rastreo multi-radar en un sistema de rastreo del tipo MPVU, conocido en el estado de la técnica. El diagrama presenta 3 sectores angulares de detección del radar, o sectores de contactos 301. Un bloque 302 representa una función de correlación. Un bloque 303 representa una función de asociación. Un bloque 304 representa una función de puesta al día. Un bloque 305 representa una función de modulación. Un bloque 306 representa una función de gestión de la base de pistas. Un bloque 307 representa la función de inicialización de las pistas.

La función de correlación, representada por el bloque 302, tiene por objeto:

- seleccionar las pistas multi-radares mantenidas que pueden ser puestas al día físicamente con uno de los contactos que pertenecen al sector de contacto N 301 del radar 103 últimamente recibido,
- crear el conjunto de las parejas contacto-pista posibles, correspondiente cada pareja a la hipótesis de puesta al día de la pista con el contacto correlacionado.

La función de asociación, representada por el bloque 303, tiene por objeto resolver, a partir del resultado proporcionado por la función 302 de correlación, unos conflictos potenciales, por ejemplo tales como la atribución de un único contacto a varias pistas.

La función de puesta al día, representada por el bloque 304, tiene por objeto poner al día las características cinemáticas de las pistas procesadas, a partir del resultado proporcionado por la función 303 de asociación.

Los resultados de la función 304 de puesta al día y de la función 303 de asociación permiten una puesta al día de la

base de pistas, a través de la función de gestión de la base de pistas representada por el bloque 306.

La función de modulación, representada por el bloque 305, tiene por objeto corregir los errores sistemáticos, o desviaciones, cometidas por los radares cuando efectúan la detección de un objetivo. Con este fin, un algoritmo de modulación efectúa una estimación, para cada uno de los radares que producen los contactos que ponen al día unas pistas seleccionadas, unas desviaciones de la medición en azimut y en distancia. Esta estimación permite entonces una corrección de las mediciones procedentes de estos radares.

La función de inicialización, representada por el bloque 307, tiene por objeto crear nuevas pistas cuando una nueva aeronave no representada por una pista hasta ese momento, aparece en la zona de interés del sistema de control de tráfico aéreo.

La figura 3b es un esquema que representa el reparto por sectores angulares utilizado en el tratamiento de las informaciones proporcionadas por unos radares en el marco del sistema de control de tráfico aéreo conocido en el estado de la técnica. Una cobertura 310 de detección del radar 103, por ejemplo, se divide en sectores 301 de contactos y sectores 311 de pistas.

La cobertura 310 de detección del radar 103 se divide en sectores de igual valor angular. Por ejemplo, en lo que sigue de la descripción, se considerará que el radar comprende 32 sectores de contactos de $11,25^\circ$, contados en el sentido inverso al sentido trigonométrico, de 0 a 31. De ese modo el valor angular del sector de radar del número S se encuentra comprendido en el intervalo $[S \cdot 11,25^\circ; (S+1) \cdot 11,25^\circ]$. Cada vez que la antena 103 del radar pasa de un sector de contacto a otro, se produce el mensaje de fin del sector. Un mensaje de "norte superior" corresponde al paso de la antena 103 del radar sobre el norte local al radar 103. Existen ciertos radares que no producen un mensaje de fin del sector de contactos, por el contrario, todos los radares producen un mensaje del tipo "norte superior" y/o del tipo "sector 0".

Desde el punto de vista del sistema de rastreo, la cobertura de detección de cada radar que integra se divide en sectores 301 de contactos y sectores 311 de pistas de igual valor angular. Cada radar comprende 16 sectores de contactos y 16 sectores de pista de $22,5^\circ$, contados en el sentido inverso al sentido trigonométrico de 0 a 15. Los sectores 301 de contactos y los sectores 311 de pista están desfasados regularmente relativamente entre sí en un valor angular correspondiente a un semisector. De ese modo el sector 311 de pistas N está recubierto por los sectores 301 de contactos N-1 y N. El sector 301 de contacto N del radar 103 comprende el conjunto de los contactos rastreados procedentes del radar 103, cuyo azimut pertenece al intervalo $[N \cdot 22,5^\circ; (N+1) \cdot 22,5^\circ]$. El sector 311 de la pista N comprende el conjunto de las pistas multi-radar que pertenecen a la cobertura de detección 310 del radar 103, y por tanto el azimut con relación a este radar pertenece al intervalo $[N \cdot 22,5^\circ + 11,25^\circ; (N+1) \cdot 22,5^\circ + 11,25^\circ]$.

Los sectores 301 de contactos y los sectores 311 de pista son las unidades de tratamiento de base del seguimiento para un sistema de rastreo. En lo que sigue de la presente descripción, los términos "sectores de contactos" y "sectores de pistas" designan unos sectores de contactos y unos sectores de pista internos al seguimiento multi-radar.

El recubrimiento de los sectores de contacto y de los sectores de pista permite afirmar que:

- un contacto del sector N se correlaciona con una pista del sector N y/o N+1;
- si un contacto del sector N se correlaciona con una pista del sector N, esta pista puede estar correlacionada con un contacto del sector N-1. De ese modo, con el fin de asegurar que todos los contactos correlacionados con esta pista son tenidos en consideración, es necesario considerar todos los contactos de los sectores de contactos N y N-1, lo que se traduce concretamente en la necesidad de recurrir a la colocación en la memoria tampón de un sector de contacto;
- si un contacto del sector de contacto N se correlaciona con una pista del sector de pista N+1, esta pista puede correlacionarse también con un contacto del sector de contacto N+1. De ese modo, con el fin de asegurar que todos los contactos que se correlacionan con esta pista son tenidos en consideración, es necesario considerar los contactos de los sectores de contactos N y N+1, y también recurrir a la colocación en la memoria tampón de un sector de contacto.

Los contactos de los sectores de contacto N-2 y N-1 se utilizan para poner al día o crear unas pistas de sectores de pista N-2 y N-1. Además, para confirmar la asociación de un contacto del sector de contacto N con una pista del sector de pista N o N+1, es necesario que todas las pistas de todos estos sectores y todos los contactos correlacionados con estas pistas sean tomados en consideración. Se trata del peor caso, en el que son necesarios tres sectores de memoria tampón. En la mayor parte de los casos, el tratamiento de asociación se puede realizar utilizando 1 o 2 sectores. Es necesario en efecto esperar a un sector de contacto con el fin de asegurar la disponibilidad de todos los contactos y todas las pistas a poner en concurrencia. Esta medición permite evitar unos efectos de borde producidos por unas detecciones en la frontera entre dos sectores de contacto: sería posible por ejemplo asociar un contacto del sector N a una pista para la que la detección se realiza en el sector de contacto N-1.

5 En un objetivo de simplificación de los tratamientos, y con el fin de presentar los datos bajo una forma sintética, un sistema de rastreo multi-radar tiene el recurso a un radar ficticio. El radar ficticio es un radar que no existe físicamente, pero que es generado internamente por el sistema de rastreo. Se describe como un radar de alcance infinito, es decir que detecta el conjunto del dominio de interés del sistema de rastreo, centrado sobre el centro del sistema del sistema de rastreo, y su período es ligeramente inferior al periodo del radar más rápido integrado por el sistema de rastreo.

10 El sistema de rastreo genera por tanto internamente unos mensajes de fin de sector de radar ficticio. Estas sincronizaciones permitirán, independientemente de los mensajes de radar recibidos, secuenciar los tratamientos generales del sistema de rastreo. Permite entre otros la gestión de los estados del radar o incluso activar unos tratamientos periódicos de gestión de las pistas multi-radar elaboradas por el seguimiento del sistema.

Se crea y mantiene una pista multi-radar hasta su muerte utilizando unos contactos proporcionados por los diferentes radares.

Una pista puede tener varios estados:

- 15
- Estado “confirmado”: se trata de una pista que ha sido procesada por la función de inicialización automática de las pistas y que se juzga “segura”. En otros términos, esta pista se considera como representativa de una aeronave realmente presente en la cobertura de detección y desconocida hasta el presente por el sistema;
 - Estado “en inicialización”: se trata de una pista en el curso de tratamiento por la función y no confirmada aún.

Si se utiliza un sistema de radares actual en el marco del servicio TIS-B, la latencia teórica introducida por este sistema es dada por la fórmula siguiente:

20
$$t_{\text{latencia}} = ((S_s + R) \times N) / 360) * T_{\text{radar}} + P \text{ segundos,}$$

en la que:

- 25
- S_s es el tamaño del sector en grados,
 - R es el tamaño del recubrimiento de los sectores de contacto/pista en grados,
 - T_{radar} es el periodo de revolución del radar en segundos,
 - N es el número máximo de sectores de memoria también necesarios en la entrada del tratamiento de rastreo; este número es propio de cada radar conectado al sistema de rastreo ($1 < N \leq 8$),
 - P es el retardo en segundos del tratamiento introducido por la sobrecarga de la CPU (típicamente 200 ms).

30 Si se considera, por ejemplo, el caso de un radar cuyo periodo de revolución es de 12 segundos, con un número de sectores de memoria también igual a 1 (esto supone que todos los contactos del radar se reciben en el buen sector, y que todos los contactos son recibidos al mismo tiempo), la latencia mínima introducida es de 2,25 segundos, sin contar el tiempo vinculado a la ejecución del tratamiento.

Si se considera, por ejemplo, el caso de un radar cuyo periodo de revolución es de 4 segundos, con un número de sectores de memoria también igual a 1, la latencia mínima introducida este 750 milisegundos, sin contar el tiempo vinculado a la ejecución del tratamiento.

35 Ahora bien se recuerda aquí que la latencia máxima permitida en un sistema de rastreo en el marco del servicio de TIS-B es de 850 milisegundos.

El secuenciamiento del tratamiento de rastreo multi-radar se puede definir como sigue:

- recepción del sector de contacto N del radar R ,

Tratamiento de las pistas confirmadas:

- 40
- correlación de las pistas confirmadas del sector de pista N del radar R con los contactos de los sectores N y $N-1$,
 - asociación de un contacto a una pista, para los contactos correlacionados,
 - tratamiento de las capturas y gestión de las maniobras,
 - puesta al día de las pistas asociadas a un contacto,
 - gestión de las pistas confirmadas.

45 Tratamiento de las pistas recién confirmadas:

- 50
- correlación de las pistas confirmadas durante la puesta al día anterior, del sector de pista $N-1$ del radar R con los contactos de los sectores $N-1$ y $N-2$,
 - asociación de un contacto a una pista, para los contactos correlacionados,
 - tratamiento de las capturas y gestión de las maniobras,
 - puesta al día de las pistas asociadas a un contacto,
 - gestión de las pistas confirmadas.

Tratamiento de las pistas en inicialización:

- correlación de las pistas en inicialización del sector de pista N-1 del radar R con los contactos de los sectores N-1 y N-2,
- asociación de un contacto a cada pista, para los contactos correlacionados,
- 5 • estimación de las pistas asociadas a un contacto,
- gestión de las pistas en inicialización,
- creación de las pistas con los contactos restantes del sector N-2.

10 Encadenado de las pistas del radar R que pertenecen al sector N+8, que se explica por el hecho de que, como máximo, la colocación en la memoria tampón es de 8 sectores según los tratamientos conocidos en el estado de la técnica. Esto significa que se puede esperar el equivalente temporal de 8 sectores, por lo que ciertas pistas pueden ser puestas al día solamente con el equivalente temporal de 8 sectores después de la recepción del contacto. El encadenado no se efectúa por lo tanto más que cuando se está seguro de que la puesta al día se ha efectuado correctamente para esta pista.

15 La adquisición de un nuevo sector de contacto N desencadena el tratamiento de las pistas confirmadas acotadas en el sector de pista N del radar afectado. En el transcurso de la fase de correlación-asociación, las pistas confirmadas del sector N se comparan con el referencial del radar, en los contactos del nuevo sector de contacto N, así como en los contactos restantes del sector de contacto N-1 (es decir los contactos que no hayan servido para la puesta al día de una pista anteriormente).

20 En la salida de la fase correlación-asociación, se han formado unas parejas contactos-pistas; el algoritmo de prevención de las capturas verifica entonces que estas asociaciones son válidas y se procede eventualmente a los desdoblamientos de hipótesis de pistas con el fin de generar las posibilidades de evolución de los objetivos (componente único o componente principal / componente de maniobra).

25 A continuación, cada pista asociada a un contacto es puesta al día con las informaciones de este contacto. La gestión de las pistas permite completar la puesta al día del conjunto de las informaciones que les afectan: gestión de las maniobras, identificación, gestión de los códigos de tipo IFF, varianza asociada, así como el abandono de ciertas pistas.

30 Al final de los tratamientos, el sector de contacto N no contiene más que los contactos que no hayan sido utilizados para una puesta al día de pistas. Estos contactos pueden corresponder a la detección de objetivos representados por unas pistas confirmadas del sector de pista N+1; serán vueltas a poner en juego durante la recepción del sector de contacto N+1.

Por el contrario, los contactos restantes en el sector N-1, no pueden atribuirse a unas pistas confirmadas puesto que ya han sido comparados con el conjunto de las pistas confirmadas susceptibles de serles asociadas.

35 Como resultado del tratamiento de las pistas confirmadas del sector N, se efectúa el de las pistas que hayan sido confirmadas durante su puesta al día anterior; los tratamientos implementados son los mismos que los de las pistas confirmadas.

Esta fase se hace necesaria para gestionar los problemas en las fronteras durante la transición de pista en inicialización / pista confirmada, y evitar que estas nuevas pistas confirmadas, por el orden de llegada de los sectores de contacto, no sean puestas al día con unas detecciones que les afectan.

40 Entonces, se efectúan los tratamientos de las pistas en curso de inicialización del sector de pista N-1 del radar afectado, con los contactos restantes de los sectores de contacto N-1 y N-2: correlación - asociación, puesta al día de las pistas asociadas a un contacto, y gestión de las pistas en inicialización (promoción: es decir el paso del estado de inicialización al estado confirmado, gestión de los códigos IFF, abandono).

45 En el sector de contacto N-1 no quedan más que los contactos que no se hayan utilizado para una puesta al día de pistas. Estos contactos pueden corresponder a unos objetivos representados por unas pistas en inicialización del sector de pista N y estarán en juego durante la recepción del sector de contacto N+1.

Los contactos restantes del sector N-2 no han servido para la puesta al día de ninguna pista, confirmada o en el curso de inicialización, pero pueden corresponder a unas pistas aún desconocidas para el rastreo: se les atribuye una tentativa de creación de pista.

50 Finalmente, las pistas del sector de pista N+8 del radar son vueltas a encadenar. Los tratamientos desencadenados por la recepción del sector del contacto N se finalizan. El seguimiento está listo ahora para procesar un nuevo sector de contacto.

Los algoritmos de correlación, por sí mismos conocidos para los expertos en la técnica, funcionan en base a unos criterios de proximidad entre contactos y pistas, según un reparto del espacio de interés propio de cada radar, mediante las células que dividen unos sectores angulares que dividen la cobertura del radar. De ese modo las

células situadas en la proximidad del centro del radar, tienen unas dimensiones menores comparadas con las células más alejadas. Esta disparidad implica unos problemas bien conocidos de carencia de detecciones, o bien la imposibilidad de correlación de los contactos con unas pistas, para los objetivos que evolucionan en la proximidad vertical del centro del radar.

5 La figura 4 presenta un diagrama temporal que representa un ejemplo de secuenciamiento del tratamiento de los datos entrantes en el marco del sistema de rastreo multi-sensor según la invención. Un primer diagrama 401 de tiempos representa los datos recibidos procedentes de un radar, entre dos nortes superiores 405. Un conjunto 403 de contactos se detectan durante este intervalo. El intervalo se reparte en sectores virtuales internos o SVI 404. Un segundo diagrama temporal representa el secuenciamiento del tratamiento de seguimiento según la invención.

10 En el sistema de rastreo propuesto por la presente invención, contrariamente a los sistemas de rastreo conocidos en el estado de la técnica, un contacto de radar 403 entrante no se coloca en la memoria tampón, sino que se envía directamente a las funciones de rastreo internas, lo que permite la economía de al menos un sector de memoria tampón.

15 Desde que se recibe un contacto 403 por parte del tratamiento de seguimiento multi-radares, se almacena en una memoria tampón hasta la recepción del sector virtual interno 404. Los SVI 404 se generan internamente a través de la utilización de un contador de tiempos. El periodo de emisión de un evento de ese tipo es por ejemplo de 187,5 milisegundos, lo que corresponde a un radar cuyo periodo de revolución es de 3 segundos, y que comprende 16 SVI.

20 La recepción de un SVI 404 desencadena el tratamiento de seguimiento multi-radar, con la utilización de los contactos anteriormente almacenados. Según la presente invención, los contactos y las pistas no son encadenados y procesados en función de sectores de contacto o sectores de pista, sino en función de su pertenencia a una célula de una rejilla del sistema. Esta rejilla del sistema se describe en el presente documento a continuación con referencia a las figuras 5a y 5b.

25 Con la recepción de un SVI 404 por el sistema de tratamiento, se arrancan los tratamientos de correlación - asociación en base a los contactos 403 almacenados desde el SVI 404 anterior.

En función del retardo de latencia del contacto y en función de la fecha del SVI, el contacto se conserva en la memoria tampón con el fin de esperar a otros contactos concurrentes para la fase de correlación y que pueden ser asociados entonces a la pista.

30 Las figuras 5a y 5b presentan unos esquemas representativos del procedimiento de correlación implementado en un sistema de rastreo multi-sensor según la invención. En la figura 5a, diferentes ejemplos de estimaciones del espacio de interés, representado en proyección, por ejemplo en un plano estereográfico, mediante una rejilla 501 repartida en una pluralidad de células rectangulares. Ventajosamente, las células son de forma cuadrada, por ejemplo de 10 Nm de lado. Un contacto de radar 502 se representa en una célula 510. La célula 510 comprende particularmente unas células 511, 512 y 513 adyacentes. Unas pistas 503 y 504 pertenecen respectivamente a la célula 510 y a una de sus células 504 adyacentes. Unas pistas 505 a 508 pertenecen a otras células más o menos próximas a la célula 510.

Las células adyacentes a una célula cuadrada se definen por ejemplo como las células que tienen un vértice o un lado en común con esta célula.

El secuenciamiento del tratamiento de rastreo multi-radar según la invención se puede definir como sigue:

40 Tratamiento de correlación-asociación:

Con la recepción de un SVI 404, se activan los tratamientos de correlación y de asociación. Según un primer criterio de correlación, las pistas encadenadas en las células de la rejilla 501 más próximas a la 510 en la que se encuentra el contacto de radar 502 se declaran candidatas para una correlación con este contacto: por ejemplo, las pistas situadas en las células adyacentes a la célula 510 en la que se encuentra el contacto de radar 502 se declaran candidatas para la correlación: o sea las pistas 503, 504, 505, 506 y 507 en el ejemplo de la figura.

Ventajosamente, la célula 510 puede subdividirse en 4 subcélulas, y solo las subcélulas de la célula 510 y las células adyacentes a la subcélula que contiene el contacto de radar 502 se declaran candidatas. Las células adyacentes a una subdivisión son las células de la rejilla bidimensional que tienen un lado o un vértice en común con el cuadrado definido por la subdivisión de la célula. En el ejemplo de la figura, las células 510, 511, 512 y 513 son declaradas candidatas. De ese modo las pistas contenidas en estas células, es decir las pistas 503 y 504, se correlacionan potencialmente con el contacto de radar 502.

La figura 5b ilustra un segundo criterio que se puede aplicar en la fase de correlación. En la figura, se representa un contacto de radar 502 en un espacio tridimensional en perspectiva. Se han retenido 6 pistas 520 a 525 según el primer criterio de correlación antes mencionado.

Un segundo criterio de correlación más discriminante, en base a una diferencia en la posición que tiene en cuenta la altitud de las pistas, ayuda a reducir el número de pistas seleccionadas para la correlación siguiendo el primer criterio. Por ejemplo, se pueden discriminar para la correlación las pistas cuya altitud difiere de la altitud del contacto de radar 502 en una altitud superior a un valor determinado Δ_d , y/o están alejadas en el plano estereográfico en una distancia superior a un valor determinado Δ_a . En el ejemplo de la figura, solo se retienen las pistas 522, 523 y 524.

Los contactos retenidos para la correlación son todos los contactos almacenados anteriormente en la memoria tampón, mientras que las pistas retenidas son la unión de todas las pistas retenidas para cada contacto. El tratamiento de correlación, excepto el proceso de selección de los contactos y de las pistas permanece idéntico al proceso conocido del estado de la técnica citado más arriba con referencia las figuras 3a y 3b.

Después de la fase de correlación, se ejecuta la fase de asociación. Se basa en unos principios similares al tratamiento de asociación conocido en el estado de la técnica y descrito más arriba con referencia las figuras 3a y 3b, excepción hecha de la adición de un criterio suplementario en base a la diferencia de tiempos entre la hora de recepción del contacto de radar y la hora de recepción del mensaje SVI que ha desencadenado los tratamientos de correlación-asociación:

- si la diferencia de tiempos es inferior a un umbral determinado, por ejemplo fijado en 400 ms, entonces la asociación del contacto a la pista no se confirma, y el contacto permanece en la memoria tampón. La pista no se pone entonces al día;
- si la diferencia de tiempos es superior al umbral, entonces se confirma la asociación. El contacto se asocia entonces a la pista; se efectúa una puesta al día y el contacto se retira de la memoria tampón.

Después del tratamiento de asociación, un contacto puede por tanto:

- asociarse a una pista: se efectúa entonces una puesta al día (se retira de la memoria tampón),
- no asociarse a una pista a causa de la diferencia de tiempos demasiado reducida: el contacto permanece entonces en la memoria tampón,
- no correlacionarse con ninguna de las pistas existentes en la base de pistas: el contacto se envía entonces al tratamiento de inicialización y está en el origen de la creación de una nueva pista.

La presente invención permite resolver el problema técnico planteado permitiendo una reducción significativa del tiempo de latencia introducido por el sistema de rastreo multi-radar, de manera que lo haga compatible con las exigencias requeridas para un servicio TIS-B.

El tiempo de latencia teórico para un sistema de rastreo según la invención, es dado por la fórmula siguiente:

$$t_{\text{latencia}} = ((SVI_d \times N) + D + P) \text{ segundos,}$$

en la que:

- SVI_d es el periodo de envío de los mensajes SVI en segundos (por ejemplo: 0,1875 s),
- N es el número de SVI de espera (por ejemplo fijado en 1 por defecto),
- D es el retardo en segundos, de latencia de contacto autorizada (por ejemplo fijado en 0,400 s por defecto),
- P es el retardo en segundos, del tratamiento introducido por la sobrecarga de la CPU (típicamente: 0,2 s).

La latencia de un sistema de rastreo multi-radar en base al procedimiento según la presente invención no es dependiente de las características de los radares conectados al sistema, y tiene una duración fija; se ha de tomar nota de que este procedimiento puede aplicarse también a las informaciones proporcionadas por todos los otros tipos de sensores implicados en el control del tráfico aéreo.

Utilizando los valores por defecto citados más arriba a título de ejemplo, la latencia se establece en 787,5 ms, cualquiera que sea el radar considerado. Esta latencia es inferior a la latencia permitida en un sistema de rastreo utilizado en el marco de una aplicación de tipo TIS-B.

El procedimiento de reducción del tiempo de latencia según la invención permite unos rendimientos jamás alcanzados hasta ahora por ningún sistema de rastreo multi-radar, y permite además:

- liberarse de los problemas de “time disorders” introducidos por las redes que transportan los datos de radar,
- no ser dependiente de la sectorización del radar, es decir de envíos por el radar de mensajes de fin de sector,
- un tratamiento al vuelo que asegura la toma en consideración de un máximo de contactos independientemente de los problemas inherentes a la red de transporte de datos de radar y de los problemas de cabecera de radar,
- para unos objetivos situados en la proximidad del centro del radar, resolver una gran parte de los problemas para las trayectorias de gran tráfico.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de tratamiento del seguimiento de objetivos aéreos que evolucionan en un espacio de interés detectados mediante una pluralidad de sensores (102, 103), **caracterizado porque**:
- 5 • las detecciones procedentes de los sensores (102, 103) son sintetizados bajo la forma de detecciones de un único radar ficticio sincronizado para una pluralidad de sectores (404) virtuales internos temporales de duración determinada,
 - el procedimiento comprende una etapa previa que establece una rejilla (501) bidimensional de un plano de proyección estereográfico del espacio de interés, estando dividida la rejilla (501) bidimensional en una pluralidad de células (510, 511, 512) de forma rectangular,
 - 10 • el sistema de rastreo memoriza en una memoria tampón todas las detecciones (403) realizadas durante al menos un sector (404) virtual interno,
 - una función (302) de correlación calcula una correlación (502) de las detecciones con unas pistas (503, 504) sobre la base de un primer criterio de proximidad entre las células de la rejilla (501) bidimensional que contiene las detecciones (502) y las pistas (503, 504), siendo desencadenada la función (302) de correlación mediante un mensaje de fin del sector (404) virtual interno, siendo efectuada la correlación en base a unas detecciones memorizadas durante el sector (404) virtual interno.
2. Procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor según la reivindicación 1, **caracterizado porque** comprende igualmente una función (303) de asociación que asocia las detecciones a unas pistas en base a un criterio suplementario de diferencia de tiempo entre el instante de recepción de la detección de radar y el instante de recepción del mensaje de fin de sector (404) virtual interno que haya activado los tratamientos de correlación y de asociación (302, 303), permitiendo el criterio una confirmación de la asociación (502) de la detección a la pista (503, 504), una puesta al día de la pista (503, 504) y la supresión de la detección (502) de la memoria tampón, si dicha diferencia de tiempos es superior a un umbral determinado, permitiendo el criterio conservar la detección (502) en la memoria tampón para un tratamiento ulterior, si la diferencia de tiempos es inferior al umbral determinado.
- 25 3. Procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las células (510, 511, 512) de forma rectangular tienen una forma cuadrada cuyo lado tiene una longitud predeterminada.
4. Procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el primer criterio de proximidad permite elegir unas pistas (503, 504, 505) candidatas a la correlación con un punto (502) dado que corresponde a una detección, todas las pistas situadas en las 8 células (511, 512, 513) adyacentes a la célula (510) que contiene el punto (502) dado, y en dicha célula (510).
- 30 5. Procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor según la reivindicación 4, **caracterizado porque** el primer criterio de proximidad permite elegir unas pistas (503, 504) candidatas a la correlación con un punto (502) dado que corresponde a una detección, todas las pistas situadas en las 3 células adyacentes a una de las 4 subdivisiones idénticas de la célula (510) que contiene el punto (502) dado, y en dicha célula (510).
- 35 6. Sistema de control del tráfico aéreo **caracterizado porque** pone en práctica un procedimiento de tratamiento del seguimiento multi-sensor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

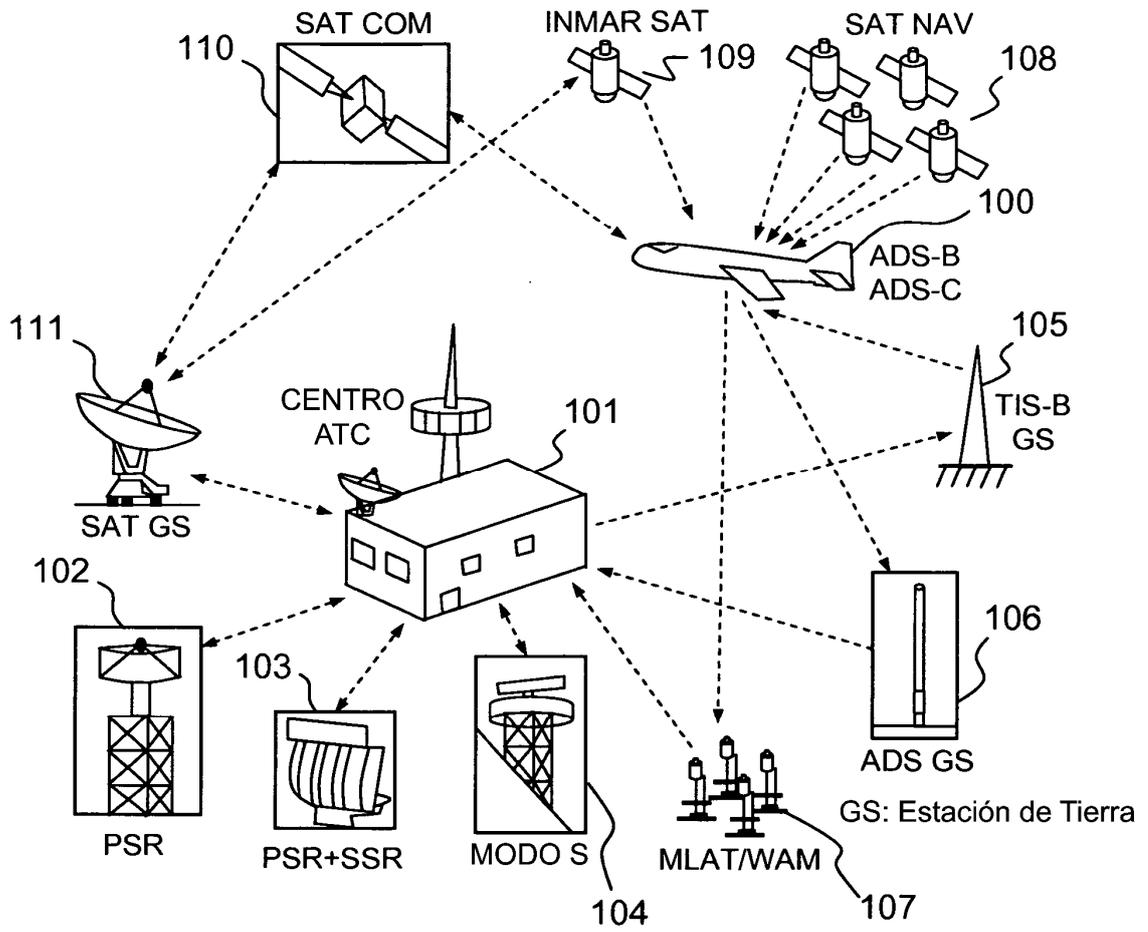


FIG.1

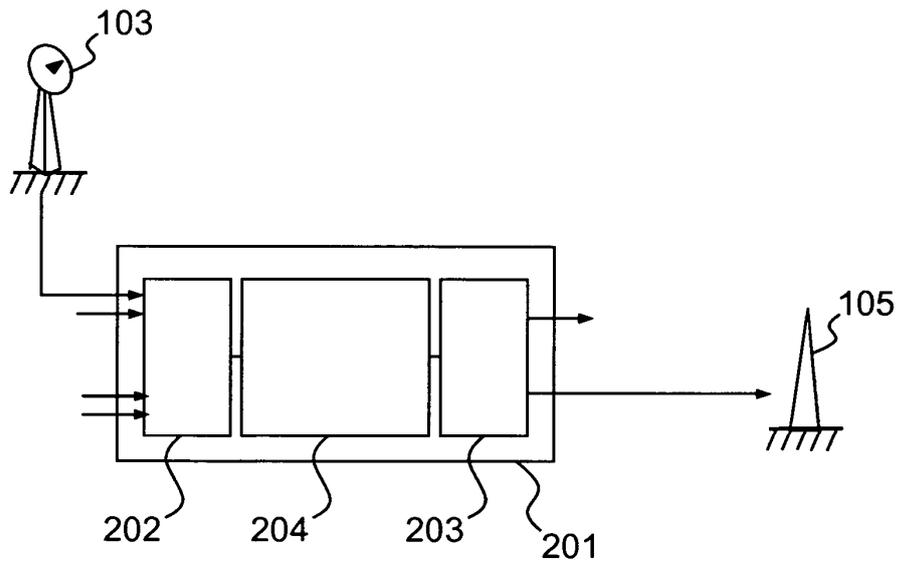


FIG.2

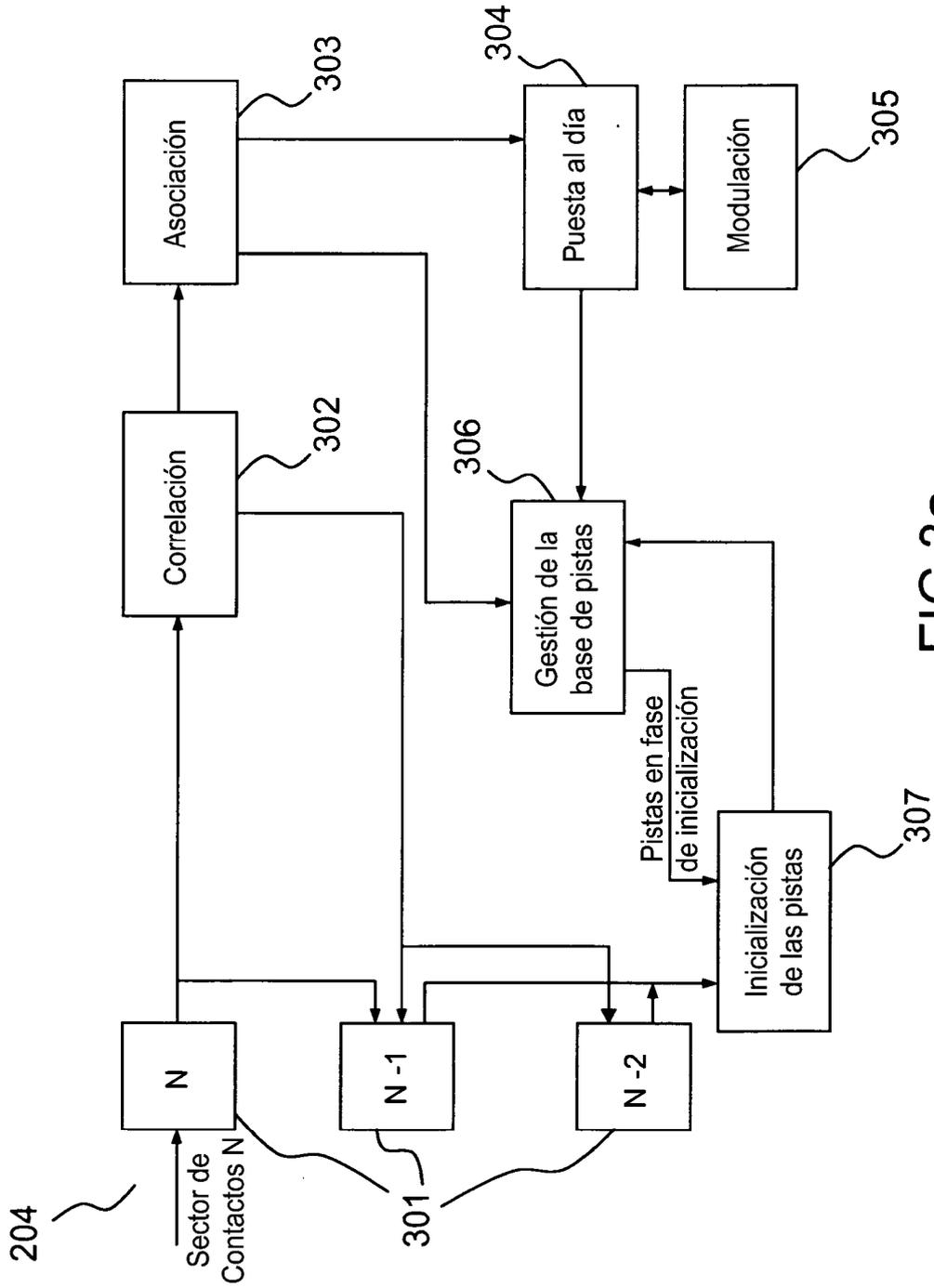


FIG.3a

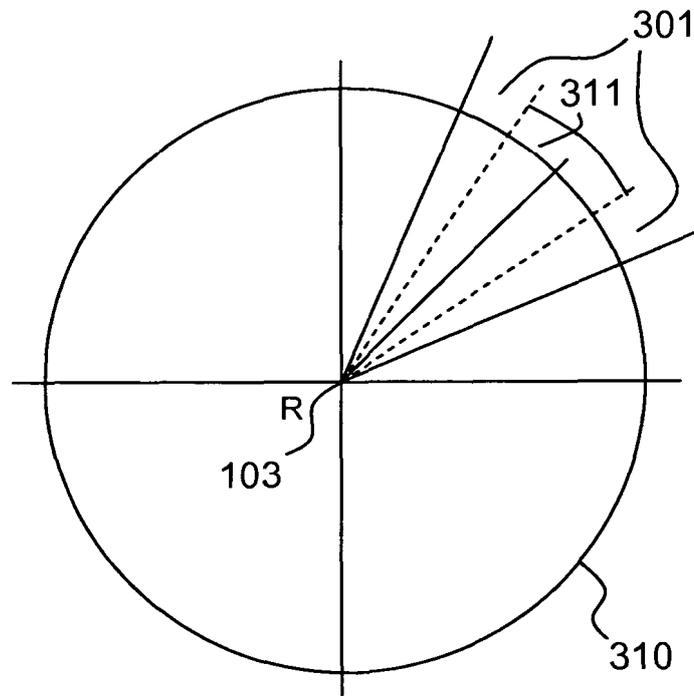


FIG.3b

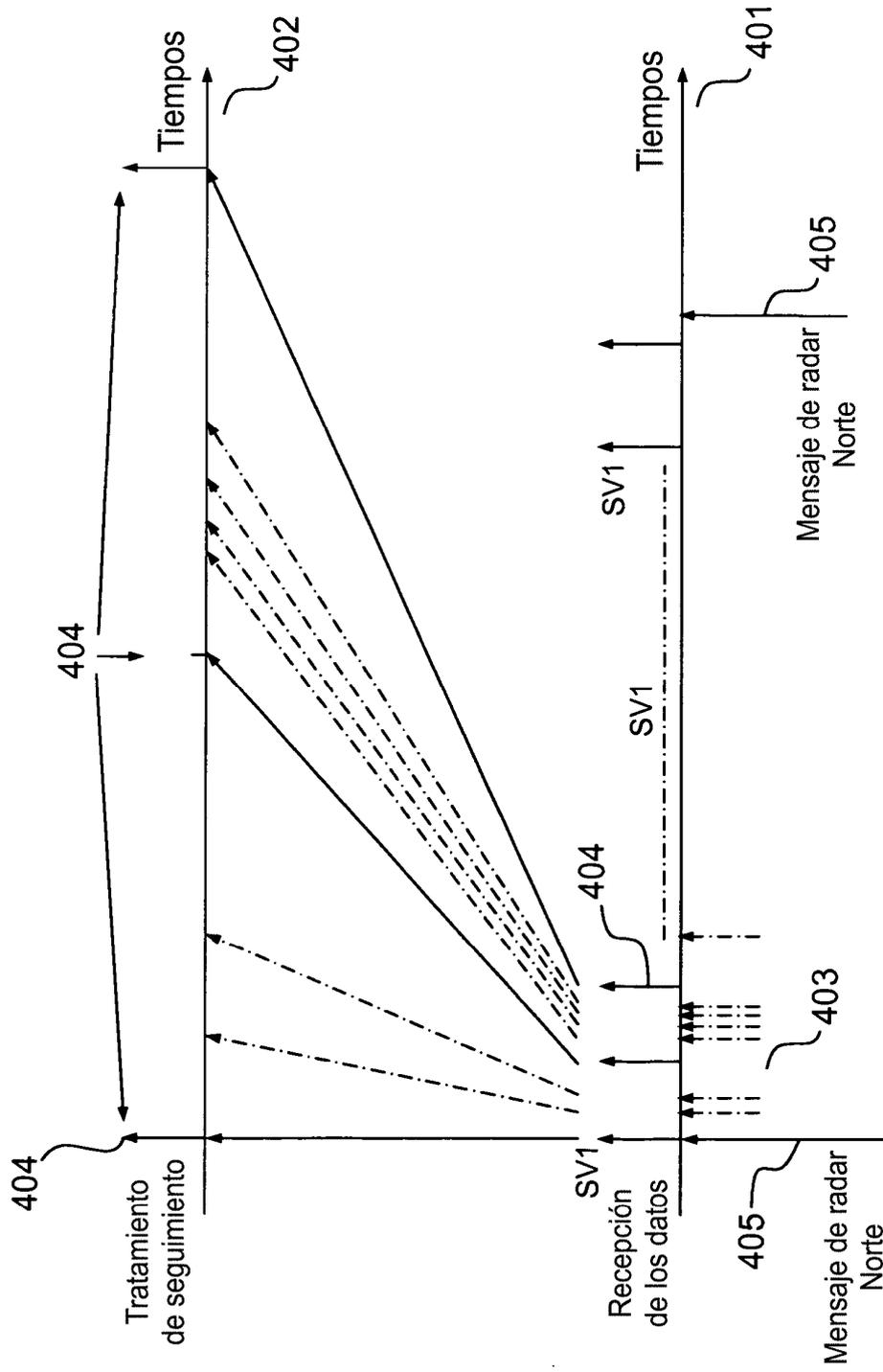


FIG.4

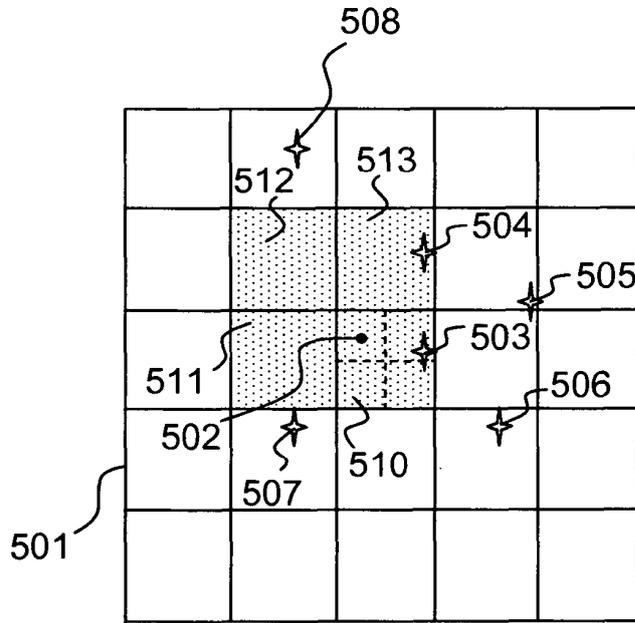


FIG. 5a

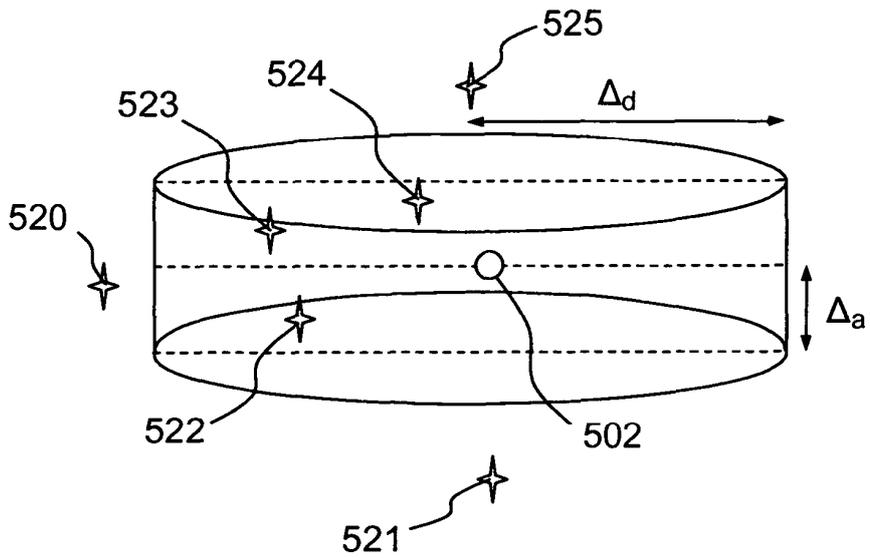


FIG. 5b