

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 376 106**

51 Int. Cl.:
G01S 13/87 (2006.01)
G01S 13/78 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05735198 .3**
96 Fecha de presentación: **10.05.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1751580**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.02.2007**

54 Título: **SISTEMA DE VIGILANCIA DE ALTA PRECISIÓN POR MEDIO DE MULTILATERACIÓN DE SEÑALES DE RADAR SECUNDARIO DE VIGILANCIA (SSR).**

30 Prioridad:
17.05.2004 IT RM20040249

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
09.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
09.03.2012

73 Titular/es:
**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "TOR
VERGATA"
VIA ORAZIO RAIMONDO 18
00173 ROMA, IT**

72 Inventor/es:
Galati, Gaspare

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 376 106 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 de vigilancia de alta precisión por medio de multilateración de señales de radar secundario de vigilancia (SSR)

Campo de la invención

- 5 La invención pertenece al campo de la gestión de tráfico aéreo y de tráfico aeroportuario y de vigilancia e identificación de elementos móviles (aeronaves, vehículos de tierra). En particular, se aplica en vigilancia cooperadores que usa señales de Radar Secundario de Vigilancia transmitidas enlances abajo por transpondedores de a bordo.

Antecedentes y alcance de la invención

- 10 Esta invención se basa en la recepción y procesado, con nuevos medios y métodos, de señales emitidas por un equipo presente a bordo de todas las aeronaves que operan en el espacio aéreo controlado, es decir, el transpondedor del radar secundario de vigilancia, SSR para acortar. La invención aplica tanto a transpondedores con características menos recientes (Modo A y C, no selectivos, con indicación de 12 bit de la identidad del objetivo–
 15 Modo A – y de altitud barométrica – Modo C) como para transpondedores con características más recientes (Modo S selectivo o selectivo, con código de respuesta de 112 o 56 bit), así como para equipos equivalentes (denominados “dispositivos sin transpondedor”) para vehículos incluso aunque no respeten los requerimientos de calidad aérea.

En tal contexto, la presente invención se refiere a un sistema, denominado internacionalmente Multilateración (MLAT) cuyos requerimientos funcionales y operacionales están contenidos en el documento escrito siguiente de la Organización Internacional Eurocac – La Organización Europea para Equipamiento de Aviación Civil:

- 20 [1] Eurocac ED-117 “Minimum operational performance requirements for Mode S multilateración systems for use in A-SMGCS”, Abril 2-003, disponible en Eurocac, 17, rue Hamelin, Paris Cedex 16.

Un sistema MLAT tiene el alcance de localización e identificación, típicamente pero no exclusivamente en el área del aeropuerto, de las aeronaves y los vehículos equipados con un transpondedor apropiado, más exactamente, del transpondedor mencionado arriba del radar secundario de vigilancia (SSR).

- 25 El sistema de radar SSR tanto del tipo tradicional o “modo A/C” como de tipo selectivo o “modo S”, está descrito en varios documentos entre los cuales está el libro:

[2] M. Stevens “Secodary vigilanciailance radar”, Artech House, 1988.

- 30 Un sistema para control y gestión del tráfico aeroportuario que puede incluir Multilateración (MLAT) es conocido internacionalmente con el acrónimo A- SMGCS (Sistema de Control y Guiado de Movimiento en Superficie Avanzado). En un sistema de este tipo, se enmarca la presente invención, desde el punto de vista de sus aplicaciones. A- SMGCS está descrito, entre otros, en el documento:

[3] Eurocac ED-87A “Minimum performance specifications for Advanced-Surface Movement Guidance and Control Systems”, enero 2.001, disponible en la Eurocac, 17, rue Hamelin, Paris Cedex 16.

- 35 Los sistemas MLAT reciben y procesan las respuestas emitidas por transpondedores SSR, una vez interrogados, y/o las “respuestas espontáneas” emitidas periódicamente en ausencia de solicitudes de identificación, y denominadas “señal espontánea”. El procesado de tales señales, según se describe en [1] y [2], permite localizar el transpondedor y por ello la aeronave o el vehículo que lleva éste, por medio de la medida de los tiempos que transcurren desde la emisión –por el transpondedor- de la señal respuesta/señal espontánea (que desde ahora en adelante se denominará simplemente “señal SSR” o abreviadamente “señal”) y su recepción por las estaciones receptoras MLAT
 40 (cuatro o más). La medida de al menos tres diferencias de los tiempos de llegada (técnica TDOA: Diferencia de Tiempo de Llegada también denominada Delta-TOA: (Diferencia en tiempo de llegada) permite localizar el transpondedor en el espacio a través de la intersección de tres hiperboloides. Tal método ha sido aplicado ya desde la mitad del siglo veinte a otros tipos de señales, la denominada navegación hiperbólica con algoritmos clásicos descritos en varios trabajos entre los cuales:

- 45 [4] R.O. Schmidt “A new approach to geometry of rengen difference localización”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-8 N° 6 de noviembre de 1972, pp. 821-835.

La técnica de la multilateración ha sido el objeto de muchas patentes, (empezando por la antigua Patente de EE.UU. 2,972,742 para Ross) entre las cuales:

- 50 [5] Patente de EE.UU. 3,659,085 de 25-04-1972: “Computer determining the localización of objects in a coordinate system”, inventores: B. y Potter; T. K. Bosworth; J. P. Chisholm; J.A. Cadzow, en la cual se proponen métodos con el fin de reducir el error de localización, en un contexto general, que no es específico ni de la aplicación a señales SSR (A/C o Modo), ni del uso para vigilancia aeroportuaria, y

[6] Patente europea número: EP 0466239 del 15-01-1992: "Device for identifying and localizing transponders", inventor Frans Herman De Haan (NL), en la cual el aeropuerto es dividido en un número considerable (100-250) de regiones cada una de las cuales tiene al menos una, mejor dos, emisores y al menos dos receptores con objeto de localizar transpondedores SSR por medio de Multilateración, y en la cual los emisores y los receptores están conectados a una unidad central de proceso.

En el mercado actual hay tres sistemas MLAT diferentes desarrollados respectivamente por las compañías: ERA (República Checa), Sensys (EE.UU.) y Thales (Alemania) y presentadas en las Ferias y Exposiciones Internacionales especializadas, tales como la Exposición sobre Gestión de Tráfico Aéreo de Maastricht que es llevada a cabo todos los años en primavera. Sin embargo, no se han hallado patentes específicas relacionadas con tales sistemas MLAT. En un sistema MLAT genérico, cada estación está equipada con un receptor para señales SSR que le permite medir el tiempo de llegada de cada una de ellas. Tales medidas pueden obtenerse, de acuerdo con dos realizaciones posibles y funcionalmente equivalentes cuya elección depende del conjunto de operaciones, como sigue. La primera solución incluye medidas locales, ejecutadas por ello en cada Estación de medida, equipada con un reloj preciso (enclavado con el de una estación maestra a través de conexión radio o sobre cable), mientras que en la segunda solución las medidas se ejecutan en la estación central de proceso; en esta segunda realización las señales SSR simplemente son transmitidas en tiempo real y modo transparente a la estación central de proceso, en donde se ejecutan las medidas de tiempo. El sistema MLAT desarrollado por ERA usa la segunda solución, con transmisión de la forma de onda de las señales SSR desde las estaciones receptoras hasta el ordenador central de proceso, mientras que los otros dos sistemas (Sensys y Thales) se basan, en cambio, en la segunda solución y tienen estaciones de medida que no solo son receptoras sino también con capacidad de procesado. Los tres sistemas pueden ser considerados sistemas de "primera generación", mientras que el Sistema equipado con transmisión digital y objeto de la presente invención, es un sistema de segunda generación por sus avanzadas características bien descritas más adelante.

El documento de patente de EE.UU. US-A1-6 094 169 describe métodos y aparatos usados para la detección de errores y calibración de sistemas de multilateración. En particular, el documento proporciona una técnica para calibrar sistemas de multilateración usados para seguimiento de aeronaves basados en medidas del tiempo de llegada de señales radio.

Resumen de la invención

Es un objeto específico de esta invención un Sistema para localizar e identificar aeronaves y otros vehículos sobre la base de la recepción – por múltiples Estaciones – de señales SSR transmitidas por el transpondedor SSR estándar que va a bordo; comparado con los sistemas de primera generación descritos en la última parte de la sección de Antecedentes y Alcance previa, este Sistema está caracterizado, desde el punto de vista funcional, por: (a) medidas TOA optimizadas, (b) estimación de la desviación del reloj de las estaciones receptoras, que hace posible implementar estaciones de bajo coste, uso de algoritmos de álgebra lineal basados en soluciones de cuadrados mínimos para separar señales superpuestas, es decir, señales que se solapan en el tiempo, (d) uso compuesto de algoritmos recursivos y no recursivos en el procesador central para implementar Multilateración.

El principio básico de operación para el Sistema objeto de la presente invención es el siguiente: desde un cierto número de Estaciones de medida y recepción, alrededor de diez/veinte (en lo que sigue son denominadas simplemente Estaciones) se reciben señales "respuesta" o "señal espontánea" de transpondedores SSR, cuya operación está ilustrada en [2]. Las señales mencionadas arriba son denominadas "señales SSR" o simplemente "señales" de aquí en adelante. Las Estaciones están equipadas con un programa de detección de la llegada de la señal y con un reloj incorporado al cual es referida la medida de tiempo de detección, denominado Tiempo de Llegada (TOA). Tal medida es enviada a una unidad central de proceso junto con otros datos que caracterizan la señal. Existen varios métodos para la transmisión hasta la unidad central de proceso, bien conocidos para los expertos en el campo, entre los cuales están los basados en redes de transmisión de datos de tecnología bien conocida y ampliamente disponible. Una vez suprimidos los desvíos inevitables entre los relojes de las diferentes Estaciones, las medidas de tiempo son proporcionales – a través de la velocidad de la luz – a las distancias entre el transpondedor y las Estaciones. El desvío de los relojes es un problema importante: un desvío de sólo tres nanosegundos acarrea un error de noventa centímetros. Una estimación de la posición del vehículo a partir de cuatro medidas relacionadas con – al menos – tres diferencias de tiempo de llegada (TDOA – Diferencia de Tiempo de Llegada, muy famoso en la literatura técnica, por ejemplo, en [4]) permite localizar el transpondedor incluso si el instante de tiempo de emisión de la señal por el transpondedor es desconocido. Los algoritmos de localización, también bien conocidos en la literatura, calculan la solución de un sistema de ecuaciones no lineales; entre los métodos posibles, los recursivos, basados en cuadrados mínimos, son los más precisos. La solución sufre de una "dilución geométrica de la precisión" conocida como DOP en la literatura, que convierte la localización en menos precisa que las medias individuales en dependencia de la geometría, esto es de la posición relativa del transpondedor y las estaciones. Este hecho es cuantificado por el factor numérico DOP que multiplicado por el error de las medidas individuales da el error de localización del transpondedor y por ello del vehículo. Los valores de DOP pueden ser, en algunas áreas de operación, más bien altos, acarreado, por ello, una medida imprecisa de utilidad operativa insuficiente.

Las limitaciones del estado de la técnica en el contexto de la presente invención pueden ser atribuibles a la limitada

precisión de las medidas que permiten la localización del transpondedor y por ello del vehículo que lo lleva a bordo. De hecho, en los sistemas MLAT existentes, las medidas del tiempo de llegada de señales SSR en cada Estación se obtienen captando el instante de tiempo correspondiente a la superación de un umbral asignado de amplitud por el frente de avance (o frente posterior) del primer pulso de la señal, con error de cuantización debido al hecho de que tal tiempo es hallado por lectura, en correspondencia a este evento, de un reloj con el cual está equipada la Estación; este procedimiento acarrea, para la media, un paso de cuantización igual al período del reloj (por ejemplo 33 nanosegundos -- que corresponden a 10 metros -- para un reloj a una frecuencia de 30 MHz) con un correspondiente error pico de la misma entidad.

Otro problema de los sistemas MLAT existentes es la sincronización entre los relojes de diferentes Estaciones y la referencia temporal de la unidad central de proceso en la que está implementado el algoritmo de multilateración. En ausencia de la sincronización no sería posible reconstruir la posición del transpondedor porque las medidas de las diferentes Estaciones que contribuyen a la localización del transpondedor estarían afectadas con desviaciones (es decir, sesgo) que, a su vez, afectaría de una manera incontrolable a la propia localización, como es conocido para los expertos en el campo. En el estado de la técnica existente, la sincronización a menudo se realiza controlando el reloj de la Estación con relojes atómicos o usando la hora precisa suministrada por receptores GPS. Estas soluciones tienen, ambas, algunos inconvenientes, de hecho, los relojes atómicos son bastante más caros que los relojes de cuarzo y el uso del GPS convierte al sistema vulnerable a eventuales perturbaciones electromagnéticas en el rango de frecuencia del GPS y a eventuales interrupciones o degradaciones intencionadas del servicio GPS por el gestor del sistema GPS.

Además, los sistemas de Multilateración existentes no son capaces de discriminar señales SSR superpuestas; en el caso de superposición, la medida del tiempo de llegada está limitada a menudo a la primera señal llegada y la decodificación es incompleta o se pierde cuando la superposición corrompe los códigos; por ello, la función de localización e identificación está severamente afectada. Esto es un problema crecientemente importante cuando el uso futuro cada vez más extendido de sistemas basados en Multilateración y otros SSR hará más cada vez más probable la condición de superposición.

Finalmente, un aspecto crítico de los sistemas MLAT existentes es el algoritmo de Multilateración: los algoritmos iterativos (recursivos) introducen problemas de inicialización y convergencia, los algoritmos no iterativos pueden ofrecer una precisión insuficiente.

La presente invención supera, con soluciones técnicas y de arquitectura originales, las limitaciones de los sistemas MLAT preexistentes a la propia invención y permite mejorar considerablemente la operación tanto en términos de rendimiento como en términos de fiabilidad y continuidad del servicio.

En particular, las limitaciones del estado de la técnica previas a la presente invención son superadas a través de: (a) una nueva técnica de medida para el TOA (tiempo de llegada) que permite obtener mucha mayor precisión que el estado de la técnica existente y no está limitada por la frecuencia de los relojes de las Estaciones de medida, (b) el uso, en cada Estación, de un único reloj, de bajo coste y libre de desviación de la referencia temporal de la unidad central de proceso, en la cual los datos temporales de la Estación son estimados, con un procedimiento original, sin la necesidad de sincronizarlo y sin relojes atómicos caros (y complejos) ni receptores GPS, uno de los cuales puede, no obstante, ser usado en la presente invención con el fin de referir los eventos a la "Hora GPS" si introducir ninguna consecuencia crítica para la seguridad y continuidad del servicio, (c) una nueva técnica, basada en la separación en múltiples fuentes por medios del procesado de señales algebraico, para discriminar las señales SSR superpuestas y (d) el uso de algoritmos tanto recursivos como no recursivos para la función de Multilateración.

El concepto básico de la nueva técnica de medida, (a), es la estimación óptima del tiempo de llegada de señales a través de un filtro adaptado a la propia señal seguido de un diferenciador y, finalmente, seguido por un procesador de interpolación que permite obtener una medida de TOA con resolución que no depende de la granularidad del reloj. Tal concepto está basado en la teoría de estimación de probabilidad máxima, para la cual al lector interesado se le refiere a:

[7] G. Galati, F. A. Studer: "Maximum likelihood azimuth estimation applied to SSR/IFF systems", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 26, N. 1, enero 1.990, pp. 27-43.

El concepto básico que permite el uso de relojes simples, punto (b) previo, es reconstruir la referencia temporal precisa y común de los eventos de cada Estación a través de filtrado y predicción, de acuerdo con la metodología Kalman clásica, de medidas TOA hechas por la Estación misma sobre señales que vienen desde transpondedores de posiciones rigurosamente conocidas, los denominados transpondedores de referencia, y tal que cada Estación está a la vista de, al menos, uno de ellos. De tal manera, la parte principal de las desviaciones de los relojes es estimada y compensada, permitiendo el uso de tecnologías simples, fiables y baratas para el reloj que, además, son dejadas evolucionar sin necesidad de procesos de sincronización. El filtrado Kalman es descrito en muchos libros de texto entre los cuales:

[8] K. V. Ramachandra "Kalman filtering techniques for radar tracking", M. Dekker, Inc. (Nueva York), 2.000.

La realización preferida de la separación de múltiples fuentes, punto (c) previo, está basada en el uso de múltiples

(al menos, tres) canales de recepción, es decir, en una arquitectura de antenas colineales. En el caso de señales superpuestas que llegan desde diferentes direcciones, la salida de cada canal es una mezcla lineal de diferentes señales, es decir, el resultado de la multiplicación de señales mediante una matriz de mezcla (generalmente, no conocida a priori). Por ello, fuentes diferentes que pueden ser desmezcladas mediante la aplicación de operadores lineales, o conformadores de haz, dependiendo de una estimación en tiempo real de la matriz de mezcla. Los coeficientes de conformación de haz son obtenidos por la estimación de la matriz de covarianza de los datos recibidos o de forma equivalente, con cálculo más simple, mediante Descomposición en Valores Singulares (SVD) de la matriz de datos cuyas filas son la muestras recibidas por cada canal de recepción. En los intervalos de tiempo en los cuales hay sólo una señal y por ello un valor singular de la matriz domina, la submatriz de datos relacionada en ausencia de ruido tiene rango unidad, por ello su vector singular que corresponde al valor singular dominante es una estimación de la submatriz. Cuando este procedimiento es repetido para otra submatriz relacionada con la presencia de la segunda señal sola, un segundo vector singular es estimado y se obtiene la estimación de la matriz de mezcla entera. Los conformadores de haz son obtenidos por proyección ortogonal de los vectores singulares o de forma equivalente tomando la pseudoinversa de la matriz de mezcla estimada. Cuando una señal está completamente superpuesta a otra y por ello hay una carencia de muestras aisladas desde ella, es necesario estimar el conformador de haz para la otra señal y, por proyección ortogonal, suprimirla antes de estimar el conformador de haz para la primera señal.

Los conceptos básicos de la estimación lineal, SVD y procesado de antenas colineales están en muchos libros de texto que incluyen:

- C. Lawson, R. Hanson "Solving Least Square Problems" Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1.974
- S. Haykin "Radar Array Processing for Angle of Arrival Estimation", Chapter 4 of : S. Haykin, Editor "Array Signal Processing", Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1985.

El uso de tanto algoritmos no recursivos como recursivos para la función de Multilateración, punto (d) previo, es útil cuando la no linealidad de las ecuaciones de localización requieren procedimientos iterativos para la búsqueda de las soluciones óptimas. Es por ello importante escoger algoritmos capaces de garantizar la convergencia, más allá de la precisión, y cuya carga computacional no es excesiva. En la realización preferida de la presente invención, se usan dos algoritmos en secuencia. El primer algoritmo, no recursivo, inicializa la estimación de la posición mientras que el segundo, recursivo y basado en la minimización del error cuadrático, mejora la estimación hasta que se alcanza el nivel requerido de precisión.

El propósito de la presente invención es suministrar un sistema de Multilateración avanzado de segunda generación para localizar e identificar elementos móviles cooperadores y un nuevo método de localización que permite la vigilancia y la identificación de aeronaves y vehículos equipados con un transpondedor SSR estándar o un dispositivo equivalente, en particular (pero no exclusivamente) cuando estos operan en el área del aeropuerto y cerca de él. Tal Sistema es para el control de tráfico evitando, en particular, posibles colisiones. Gracias a este Sistema, objeto de la presente invención, se satisfacen ampliamente los requerimientos más estrictos de exactitud, continuidad de servicio e integridad, con un incremento remarcable de eficiencia mientras que se mantiene o incrementa los niveles de seguridad presente del transporte aéreo también en condiciones meteorológicas adversas y/o en caso de tráfico elevado.

La presente invención es descrita a partir de aquí en referencia a sus formas de realización preferidas actualmente, referidas para propósitos ilustrativos y no limitativos.

Breve descripción de los dibujos

Las figuras adjuntas a la presente descripción son las siguientes:

Figura 1: croquis general del Sistema de vigilancia de alta precisión, objeto de la presente invención; es un diagrama esquemático general de la realización completa de la invención y su entorno circundante.

Figura 2: croquis de una Estación cuya composición constituye una parte de la presente invención; es un diagrama esquemático de una de las Estaciones receptoras de acuerdo con la invención.

Figura 3: croquis de la parte de procesado digital de una Estación, parte de la presente invención; es un diagrama esquemático de una parte, a saber la de procesado digital, de una Estación de recepción de acuerdo con la invención.

Figura 4: croquis de una realización preferida de la Estación para aplicaciones con altas posibilidades de superposición de señales; es un diagrama esquemático de una de las Estaciones receptoras de la realización con muchos (tres en el dibujo) canales de recepción, de acuerdo con la invención.

Descripción detallada

Esta invención describe un Sistema compuesto por varios elementos – según se muestra en la Figura 1 – que operan con referencia a las técnicas y principios descritos arriba:

- 5 • Uno o más Transpondedores de referencia capaces de emitir señales SSR estándar, de acuerdo con una técnica bien conocida en el campo del control de tráfico aéreo y vigilancia de aeropuertos (véase las Referencias [1] y [2]). Estos transpondedores de referencia están indicados con I_a e I_b y su número típico es dos tanto por razones de redundancia como por la necesidad de tener en el campo de visión óptica todas las Estaciones de medida que pueden ser tantas como quince. Los Transpondedores de referencia se pueden obtener a partir de los de aviónica de una manera simple bien conocida par los expertos.
- 10 • Un cierto número (mayor de tres y del orden alrededor de diez o veinte, de acuerdo con las dimensiones del aeropuerto y su configuración) de Estaciones de medida, indicados $2_a, 2_b... 2_n$ en la Figura 1. Cada Estación recibe tanto señales SSR emitidas por los transpondedores estándar de a bordo de las aeronaves como de los dispositivos equivalentes de a bordo de los vehículos que están en el aeropuerto, uno de los cuales se muestra en la Figura 1 y está indicado como bloque 4, como señales SSR emitidas por los Transpondedores de referencia. Cada estación calcula el Tiempo de Llegada (TOA) y decodifica el bloque de datos de las señales SSR recibidas, obteniendo la identidad del elemento móvil y otros datos relevantes de acuerdo con los estándares.
- 15 • Un subsistema central de proceso o simplemente un procesador central, indicado como bloque 3 en la Figura 1 en donde TOA, identidad y otros datos son recibidos desde las Estaciones y son procesados con el fin de ejecutar la localización por Multilateración, es decir, computar la posición, y asociarla con la identidad del elemento móvil, para ser en cada al sistema de vigilancia.

20 Cada Estación está formada por los bloques mostrados en la Figura 2: primero de todo, la antena (bloque 5 en la Figura 2), la cual, en dependencia de la instalación, puede ser omnidireccional (esto es, capaz de recibir sobre 360° en azimut) o capaz de cubrir un campo de extensión azimutal menor, por ejemplo de 90° o múltiplo de 90°, realizada de acuerdo con técnicas bien conocidas. Además, la estación, véase la Figura 2, contiene un receptor de señales SSR, realizado, en su parte de radiofrecuencia (que constituye el bloque 6 en la Figura 2), de acuerdo con técnicas bien conocidas y caracterizado por un Rango dinámico elevado para procesar tanto señales emitidas por un transpondedor relativamente cercano a la antena (por ejemplo a unos pocos decenas de metros) como señales emitidas relativamente lejos de ella (por ejemplo una o unas pocas decenas de kilómetros). La sección de baja frecuencia analógica siguiente (bloque 7 en la Figura 2), incluye la conversión y filtrado en baja frecuencia, ejecutados por métodos bien conocidos. El receptor puede tener una característica o bien lineal o bien logarítmica; la última solución no permite reducir el número de bits en la conversión analógico/digital siguiente pero distorsiona algo las formas de onda que serán procesadas en la sección digital; la primera, que usa técnicas de recepción coherente bien conocidas en la tecnología de radar y radio, permite recibir componentes tanto reales como imaginarios, es decir, I y Q, según se necesite para técnicas de súper resolución y procesado de señal de antena, por eso es preferida. Desde la sección analógica del receptor la señal se envía hasta la sección de detección de envolvente y conversión analógico/digital (bloque 8 en la Figura 2). En este bloque la señal es muestreada en tasa elevada y con rango dinámico elevado y convertida en forma digital para el procesado digital sucesivo. El rango dinámico elevado y la banda ancha de todos los receptores son una característica importante de la presente invención porque permiten obtener una precisión de la medida del tiempo de llegada (TOA) muy superior al estado de la técnica previa a la presente invención.

25 Una implementación particular de la parte de Estación receptora de la presente invención, según se muestra en la Figura 4, se necesita en entornos operativos en donde el número de señales SSR presentes por unidad de tiempo es elevado. En tal implementación, la estación receptora tiene una antena formada por un conjunto de tres elementos, siendo el número de tres no limitativo del alcance de la invención sino sólo un valor preferido cuando el número esperado de señales superpuestas es de dos; de forma más general, el número de elementos de antena es mayor que el número esperado máximo de señales superpuestas. Aguas abajo de cada elemento de antena (bloques 5.1, 5.2 y 5.3) hay una cadena de recepción completa, es decir, las series de bloques 6.1, 6.2, 6.3; 7.1, 7.2, 7.3; y 8.1, 8.2 8.3.

30 Desde la sección de muestreo y conversión, la señal digital es enviada a la sección de proceso, Bloque 9 en la Figura 2, cuya estructura detallada se muestra en la Figura 3. La sección de proceso, realizada con técnicas bien conocidas para los expertos, incluye varios bloques que permiten detectar la señal, tanto para el Modo SSR A/C (que constituye el estándar viejo) como para Modo S (que, como es bien conocido, constituye el estándar más reciente), para medir el tiempo de llegada de la señal y decodificar los mensajes contenidos en ella. En la implementación (como se explicó antes, adecuado para entornos operativos en donde el número de señales SSR presentes por unidad de tiempo es elevado) con la antena formada por un conjunto de tres elementos (o, en posibles implementaciones, por más de tres elementos), la salida digital de cada cadena de recepción relacionada con cada elemento de antena es enviada a un bloque de separación cuya operación está basada en la Descomposición de Valor Singular de la matriz de datos cuyas filas son las muestras recibidas para cada canal de recepción. Los intervalos de tiempo en los cuales hay sólo una señal son detectados comparando los Valores Singulares, cuyo

número es igual al de elementos de antena, con un umbral de ruido; la definición de tal umbral es bien conocida en el campo de procesado de radar. En los intervalos de tiempo en donde sólo un valor singular de la matriz sobrepasa el umbral, el vector singular correspondiente al valor singular dominante es una estimación de la submatriz de rango unidad correspondiente a la fuente única, es decir, a una señal que llega de una dirección dada. Cuando este procedimiento se repite para otra submatriz relacionada con la presencia de la segunda señal sola, un segundo vector singular es estimado y se obtiene la estimación de la matriz de mezcla completa. Los conformadores de haz son – preferiblemente – obtenidos tomando la pseudoinversa de la matriz de mezcla estimada, cuya multiplicación por los datos de la matriz proporciona una estimación de las señales presentes. Cuando una señal está completamente superpuesta por otra y por ello hay una carencia de muestras aisladas de ella, es necesario estimar el conformador de haz para la otra señal y, por proyección ortogonal, suprimirla antes de estimar el conformador de haz para la primera señal.

Una vez detectada mediante técnicas de umbral estándar, la señal es identificada en sus pulsos característicos (el par de pulsos inicial y final, o brackets, para señales del Modo A/C y el grupo estructurado de cuatro pulsos iniciales, o preámbulo, para el Modo S). La medida sucesiva del tiempo de llegada de cada pulso de la señal se obtiene con un método original, elemento significativo de la presente invención y descrito en lo que sigue. Para una medida tal es necesario un reloj de estabilidad elevada, cuya realización preferida es – entre aquellas de coste limitado y altamente estables – la que usa un cristal de cuarzo “oscilador de cristal controlado por horno”, OCXO. El oscilador generado por el cuarzo también se usa, en la realización preferida de la presente invención, con el fin de activar los osciladores de referencia necesarios para la conversión de frecuencia de la señal recibida. En la Figura 2 el conjunto de datos que la Estación de medida suministra en la salida en correspondencia con la detección de la señal SSR está indicado finalmente con D. Las estaciones están conectadas – usando redes de acuerdo con las metodologías bien conocidas de transmisión digital – a un Subsistema central de proceso, bloque 3 de la Figura 1.

El Subsistema de proceso central (bloque 3 en la Figura 1) constituye el elemento del sistema, es decir, de la presente invención, en el cual las varias informaciones son centralizadas; la posición y la identidad de aeronaves y vehículos equipados con un transpondedor SSR en el área del aeropuerto o cerca de él son reconstruidas a partir de los datos de detección y de TOA suministrados por cada Estación de medida e indicados con D en la Figura 2, o D1, D2, D3 en la Figura 4. Tal conjunto de datos, indicados con U en la Figura 1, es enviado al sistema de vigilancia del aeropuerto para ser combinados con otros datos, entre los cuales están los del radar primario, con el fin de construir la representación mas completa del tráfico.

La transmisión de datos en el interior del Sistema objeto de la invención es permitida por un subsistema de comunicaciones (Red de Área Local) que conecta, con técnicas bien conocidas para los expertos, las Estaciones de medida y los transpondedores de referencia con el Subsistema de proceso central.

La operación de la invención se explicará ahora con referencia a sus formas de realización preferidas actualmente, referida de acuerdo con las figuras de los dibujos anexos.

La Figura 1 es el croquis general de la invención. En él, el bloque 4 indica uno de los numerosos transpondedores SSR presentes en el aeropuerto o en sus inmediaciones, a bordo de las aeronaves o vehículos de servicio. Por supuesto, los transpondedores SSR de a bordo son equipos estándar que no pertenecen a la presente invención: ellos son mostrados en el bloque 4 de la Figura 1 por motivos de claridad. Cada uno de los transpondedores emite – bien espontáneamente (de media, una vez por segundo) o, debido a las preguntas por una o más estaciones SSR, en un modo respuesta – señales estándar – sobre frecuencia portadora alrededor de 1.090 MHz – denominadas “señal espontánea” o “respuesta” respectivamente; Las Estaciones de medida, indicadas con $2_a, 2_b \dots 2_n$ en la Figura 1, recibe, si el transpondedor está en la línea de visión, la señal emitida por el transpondedor, mide el tiempo de llegada en referencia con su propia referencia temporal interna obtenida, para cada estación, a partir del reloj indicado con 190 en la Figura 2; el tiempo de llegada obtenido con el código contenido en la señal es enviado por vía de la red de transmisión hasta el Subsistema de proceso central, bloque 3 en la Figura 1, en donde si al menos cuatro estaciones de medida han recibido la misma señal, un algoritmo de Multilateración, basado en el concepto la navegación hiperbólica y en la teoría de estimación óptima, calcula la posición de la antena con la emitida de la señal del transpondedor y, con ello, la posición de la aeronave o vehículo, en tres dimensiones. Uno o más (preferiblemente, dos) Transpondedores de referencia, bloques 1_a y 1_b en la Figura 1, situados en posiciones conocidas, permiten calibrar el sistema de medida de la posición del transpondedor a bordo de aeronaves o vehículos, como se explica con detalle más abajo.

La Figura 2 muestra una Estación de medida en la cual señales “señal espontánea” o “respuesta” son recibidas por una antena – bloque 5 – (preferiblemente una omnidireccional, pero la que sea de acuerdo con la instalación particular puede tener en el plano horizontal una cobertura limitada a un campo de 180° o 90° u otros valores, con el fin de reducir los efectos multipaso), a partir de la cual la señal, vía un cable coaxial, es enviada al receptor de radiofrecuencia – bloque 6 – que es un receptor de banda ancha y rango dinámico elevado – en el cual son llevadas a cabo: la limitación del rango dinámico con el fin de evitar el daño del propio receptor, el filtrado de señales no deseadas fuera de la banda de interés y, finalmente, la amplificación y la conversión hacia abajo de acuerdo con técnicas y métodos bien conocidos por los expertos. Desde el bloque 6, la señal es enviada al bloque 7, que incluye el procesado analógico en baja frecuencia de la señal, obtenido con técnicas y métodos bien conocidos, también. Finalmente, la señal es enviada a hasta el bloque 8 que representa la parte del receptor en la cual la señal es

muestreada a alta frecuencia de muestreo, mucho mayor que su ancho de banda, y convertida en forma digital. Para la realización del bloque existen dos posibilidades. La primera, la preferida, consiste, primero de todo, en una conversión a vídeo de la señal por medio de detección coherente, esto es, con generación de componentes en fase (I) y en cuadratura (Q) del complejo de acuerdo con una técnica muy popular y ampliamente usada descrita, entre otros, en el párrafo 3,1,2 de:

[9] G. Galati, "Radar e Navigazione" – Texmat (Roma), 2.004,

luego convertida, en sus componentes I y Q, en forma digital por medio de convertidores rápidos con un alto número de bits, disponible hoy comercialmente, con extracción sucesiva de los módulos (también llamado envolvente) a través de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de I y Q; la segunda solución, más simple pero menos flexible, consiste en una detección logarítmica del envolvente seguida por la conversión de analógico a digital; se prefiere la primera solución – en la presente invención – por razones de flexibilidad y compatibilidad con la función de separación del solape de señales SSR. Con la realización preferida del bloque de conversión en banda base es posible, añadiendo recurso de cálculo en la parte de procesado de la señal, es decir, en el bloque 9, implementar el algoritmo de súper-resolución que permite discriminar señales SSR solapadas ("señal espontánea" o "respuesta") y que está descrito en la Patente siguiente:

[10] Universidad de Roma Tor Vegata "Super-Resolution Processor/Receiver to discriminate superimposed Secondary Radar Replies and Señal espontánea", documento de patente de EE.UU. 6,819,282 B1, Fecha: 16 de noviembre de 2.004, solicitud de patente italiana n° RM2001A000176, fechada 03/04/2.001, inventores: G. Galati y M. Leonardi.

Como es bien conocido para los expertos del campo, el formato de la señal recibida puede ser SSR Modo A/C o, cada vez más a menudo en el futuro, SSR Modo S.

Desde el bloque 8, la señal, por ahora en forma digital, es enviada a la sección de proceso, bloque 9 de la Figura 2, que recibe como entrada – desde el bloque 10 – también, el reloj necesario para esta operación; el reloj se obtiene desde el oscilador, cuya realización preferida está entre los relojes de cuarzo que tienen coste limitado y alta estabilidad. El oscilador es el bloque 11 de la Figura 2. LA oscilación generada por el cuarzo es también usada, en la realización preferida de la presente invención, para drive los osciladores de referencia necesarios para la conversión de frecuencia de la señal recibida y, por ello, enviados como una entrada al bloque 7, bloque 10 y, a través del bloque 10, al bloque 8.

Como se explicó antes, hay entornos operativos en donde el número de señales SSR presentes por unidad de tiempo es elevado y las posibilidades de solapado de señales SSR es alto; la implementación con la antena formada por un conjunto de tres elementos y un número igual de canales de recepción (o por más de tres elementos y canales) es preferida en este caso; esto es un elemento significativo de la invención y es denominado en lo que sigue multicanal. En tal caso, se necesita la solución anterior que es con generación de componentes en fase (I) y en cuadratura (Q) de la envolvente compleja y se usan tres o más canales de recepción, como se muestra en la Figura 4. La realización y operación de los elementos de antena 5.1, 5.2 y 5.3, de los receptores 6.1, 6.2 y 6.3 de radiofrecuencia, de los procesadores analógicos en baja frecuencia 7.1, 7.2 y 7.3, de los bloques 8.1, 8.2 y 8.3 de muestreo y conversión digital y de la sección de proceso, bloques 9.1, 9.2 y 9.3 son lo mismo que los bloques 5, 6, 7, 8 y 9 de la arquitectura de canal único de la Figura 2, respectivamente. También el oscilador, bloque 11 (cuya salida es enviada a los bloques 7.1, 7.2, 7.3 y 10) y el reloj, bloque 10 (cuya salida es enviada a los bloques 8.1, 8.2, 8.3 y 9.1, 9.2, 9.3) son los mismos. La salida digital de cada una de las cadenas de recepción relacionada con cada uno de los elementos, de antena es enviada a un procesador de separación, bloque 18 de la Figura 4, cuya operación es la inversa del mezclado de las respuestas superpuestas y en la realización preferida está basada en la Descomposición de Valor Singular de la matriz de datos cuyas columnas son las muestras digitales para cada canal de recepción, es decir, las salidas de los bloques 8.1, 8.2 y 8.3 en el caso de tres canales. Un algoritmo adecuado que corre en el procesador de separación, bien conocido por los expertos del proceso de señales estadístico y de problemas de cuadrados mínimos, ejecuta la Descomposición de Valor Singular (SVD) de la matriz de datos, es decir, de la matriz cuyas filas son las muestras recibidas para cada canal de recepción, que suministra como salida los valores singulares y los vectores singulares relacionados de la matriz. Por comparación con un umbral de ruido, es decir, por un método bien conocido en procesado de radar y en teoría de detección, se halla el intervalo de tiempo de inicio en el cual un valor singular sobrepasa el umbral, es decir, domina. Se asume que en este intervalo hay sólo una señal y, por ello, la submatriz de datos relacionada en ausencia de ruido tiene rango unidad. Por tanto, el vector singular que corresponde al valor singular dominante es tomado de la salida del proceso SVD de una estimación de la submatriz. Este procedimiento es repetido para la submatriz relacionada con la presencia de la segunda señal sola, es decir, en el intervalo de tiempo de finalización en el que hay un vector singular dominante; este intervalo es hallado, de nuevo, usando un umbral de ruido. Asumiendo que dos señales están superpuestas, la matriz de datos tiene rango dos (despreciando el ruido) y la estimación de la matriz de mezcla entera es obtenida directamente a partir de los vectores singulares que corresponden a dos vectores singulares según se calculó en los intervalos de inicio y de final. Los conformadores de haz que separan las señales superpuestas se obtienen, en la realización preferida, tomando la pseudoinversa de la matriz de mezcla estimada. Cuando una señal – que es denominada "señal de final" en lo que sigue – está completamente superpuesta por otra (el "inicio") y por ello hay una carencia de muestras aisladas de ella, es necesario estimar el conformador de haz para la señal de inicio

superpuesta a ella. Para hacer eso, es asumida la presencia de una interferencia – parte libre de la señal de inicio; la estimación de la matriz de mezcla para esta porción de rango unidad de la matriz de datos es hecha como se explicó antes y, por proyección ortogonal, la señal inicio es suprimida antes de estimar el conformador de haz para la señal de final.

5 Las señales separadas (más ruido) son las salidas D1 y D2 del bloque 18.

En ambos casos, es decir, o una realización de canal único como la mostrada en la Figura 2 o una realización de canales múltiples como la mostrada en la Figura 4, la sección de proceso, realizable con técnicas bien conocidas para los expertos, incluye varios bloques que permiten detectar los pulsos que forman la señal SSR, para determinar el tiempo de llegada de la señal con precisión elevada y – en caso del Modo S – para decodificar la secuencia de pulsos que constituye el bloque de datos. Para la detección e, incluso más, para la medida es necesario un reloj de alta estabilidad, bloque 10 de la Figura 2, que también se usa para pilotar todas las partes digitales del receptor (bloque 9 de la Figura 2) y la conversión analógico a digital.

El procesado para detección, medida y decodificación es ejecutado en la sección de procesado de señal, bloque 9, que es descrito con detalle en la Figura 3 que refiere a la sección relacionada al procesado de señales Modo S. La sección relacionada con las respuestas SSR Modo A/C tradicionales tiene el mismo croquis y trabaja de modo equivalente, por ello no se muestra. La temporización de los varios bloques de la Figura 3 es controlada a través del reloj de la Estación, generado desde el bloque 10 de la Figura 2, y la señal de reloj es indicada con C en la Figura 3. El bloque 12 de la Figura 3 es el filtro adaptado para la señal de Modo S. El concepto y las realizaciones de tal filtro adaptado están ilustradas en varios libros de texto entre los cuales está la referencia [9] (mencionada arriba). Puesto que en la cadena de recepción aguas arriba el filtro adaptado tiene un ancho de banda mucho mayor que el de la señal, los pulsos que constituyen la señal tienen una forma muy similar a la de los pulsos transmitidos, que es la forma trapezoidal de dimensiones establecidas por los estándares internacionales. Por ello, el filtro adaptado para el pulso simple es un filtro digital simple con respuesta a impulsos finita (en abreviatura: filtro FIR) con una forma aproximadamente trapezoidal y una parte de sus coeficientes – precisamente el central – es aproximadamente constante. El filtro adaptado al preámbulo completo (es decir, una secuencia de cuatro pulsos que caracteriza cada señal de Modo S) reconoce la secuencia de pulsos que forman el preámbulo de Modo S con métodos bien conocidos, siendo el preferido aquí una operación de convolución según se describe, entre otros, en la referencia [9]. La salida del filtro adaptado es enviada a la parte de detección respuesta/señal espontánea, bloque 13, en el cual la detección de la presencia de señal es llevada a cabo a través de la comparación de la señal con un umbral de ruido; una vez detectada, la medida del tiempo de llegada de cada pulso de la señal es habilitada, a través de la señal indicada con A. La medida dicha anteriormente se obtiene con un método original, elemento significativo de la presente invención: sobre cada pulso de la señal que, más allá del bloque 12, también es enviado al bloque 14 de la Figura 3, es ejecutado, dentro del bloque 14, un filtrado que corresponde al filtro adaptado de pulso único, descrito previamente, seguido por un diferenciador (es decir, el cálculo de la primera derivada). El filtro que resulta de la cascada (es decir, la serie) de un filtro adaptado de pulso único y el diferenciador es un filtro FIR simple. Sus coeficientes pueden ser divididos en tres grupos. Un número más pequeño de coeficientes consecutivos, que corresponden al pico positivo de la derivada, tiene valores similares, que pueden ser establecidos todos iguales a la unidad sin afectar significativamente la calidad de la medida. Un mayor número de coeficientes consecutivos tiene valores muy cercanos a cero: como antes, ellos pueden ser establecidos todos iguales a cero. Finalmente un tercer número de coeficientes consecutivos que corresponden al pico negativo de la derivada tiene aproximadamente valores iguales y pueden ser establecidos todos igual a menos uno (es decir, - 1). El número de coeficientes positivos es igual al ratio entre el tiempo de subida y el intervalo de muestreo, y el número de coeficiente negativo es igual al ratio entre el tiempo de caída y el intervalo de muestreo. La salida del bloque 14 será, por ello, un valor que cambia de positivo a negativo (o viceversa) en correspondencia con el máximo del pulso recibido. Ya que la señal es muestreada, tiene que existir un valor positivo en correspondencia con un cierto paso del reloj del sistema, seguido por una muestra negativa (o viceversa), esto es, un cambio de signo (también denominada “cruce por cero”) tiene que ocurrir en la salida del bloque 14. En la presente invención se alcanza una exactitud de tiempo mejor que un intervalo de muestreo: más allá del uso del filtrado “filtro adaptado – diferenciador” descrito arriba, se usa una nueva técnica que permite obtener la estimación del tiempo de cruce por cero incluso si no ocurre en correspondencia con cualquier paso del reloj. Tal resultado se obtiene en el bloque 15 de la Figura 3, que acepta en su entrada los valores de la última amplitud positiva (o negativa respectivamente) con el número de orden asociado de la correspondiente muestra temporal, que es el valor del tiempo discreto pertinente, y la amplitud negativa sucesiva (o positiva respectivamente), con el número de orden asociado de la correspondiente muestra temporal, que es el valor del tiempo discreto pertinente. En el bloque 15 – si la señal A que habilita está presente, lo que indica la detección de un pulso – se lleva a cabo una interpolación lineal, esto es determinar la línea recta que une, en el plano amplitud-tiempo, los dos puntos mencionados arriba y su punto de intersección con el eje de las abscisas, es decir de tiempo, se halla. Este valor de tiempo interpolado es la mejor estimación del tiempo de llegada (TOA) para el pulso único de la señal SSR, cuya precisión y resolución no están limitadas por la duración del paso de reloj sino sólo por el número de bits con el cual decidimos representar y calcular el resultado de la interpolación. El valor mencionado arriba del tiempo es enviado al bloque 16 en el que se lleva a cabo una media aritmética de los valores relativos a los varios pulsos que constituyen la señal con el fin de reducir la varianza del error. La salida del bloque 16 es la estimación del TOA de la señal. En paralelo, a partir de las muestras de las señales SSR, los bits de información, cuya secuencia es hecha disponible como salida, son extraídos, a través de un procedimiento bien

conocido por los expertos: tal proceso de decodificación ocurre en el bloque 17 de la Figura 3. Las salidas de los bloques 16 y 17 con las indicaciones usuales sobre “estatus” de la Estación constituyen la información de salida indicada con D (datos de salida de la Estación de medida) en la Figura 3 (y con D1, D2 y D3 en la Figura 4, como se relaciona con el número de señales superpuestas – tres en el ejemplo de la Figura 4 – que han sido resueltas, medias y decodificadas). Esta información es enviada por la Estación, a través de la red local u otro sistema de transmisión adecuado, al Subsistema de proceso central – bloque 3 de la Figura 1 – para la localización sucesiva – a través del algoritmo de Multilateración – e identificación del elemento móvil (o aeronave o vehículo de tierra). Elementos de demora, no mostrados en la Figura 2 ya que no son esenciales para el entendimiento de la, operación y bien conocidos por los expertos en el campo, permiten compensar las demoras introducidas por los varios elementos de procesamiento presentes y alinear correctamente las señales y sus muestras. Las Estaciones de medida además de recibir y procesar señales SSR de los transpondedores presentes en aeronaves y en vehículos de tierra también reciben señales SSR de uno o más transpondedores de referencia que – bloques 1_a y 1_b de la Figura 1 – cuyas posiciones son conocidas rigurosamente.

Estas señales son procesadas de acuerdo con el mismo procedimiento recién descrito, y los datos que les pertenecen de salida del bloque 16 son enviados al bloque 3, para permitirles referir las medidas de TOA a una referencia temporal única, que es la de una Estación escogida, denominada, en lo que sigue, Estación de Referencia.

La disponibilidad de TOAs relativos al Transpondedor de referencia permite al Sistema calibrar el reloj de las varias Estaciones de medida. En el bloque 3, de hecho, el TDOA, Diferencia de Tiempo de Llegada, es determinada, computando la diferencia entre el TOA de la Estación genérica (a partir de ahora denominada Estación bajo prueba) y la de la Estación de referencia. En ausencia de errores de reloj, los TDOAs obtenidos a través de las señales del transpondedor de referencia sería rigurosamente constante, y proporcional, a través de la velocidad de la luz, a la diferencia entre la distancia de la Estación bajo prueba y la Estación de referencia, media con respecto al transpondedor de referencia. Por ello, en el bloque 3, con el fin de compensar el error de reloj, la diferencia de TOAs mencionada arriba es calculada y restada al tiempo del reloj de la Estación que tiene que ser calibrada. El procedimiento es ejecutado para todas las Estaciones, obviamente excluyendo la de referencia. Tal procedimiento, según se ha descrito hasta ahora, ejecuta la corrección sólo en el instante de tiempo en el cual se mide el TOA de la señal del transpondedor de referencia; con el fin de permitir la corrección en cualquier instante, como es claramente necesario para la operación del Sistema, se ejecuta otro proceso en el bloque 3: el filtrado Kalman. En este filtrado, la diferencia de TOA mencionada arriba es establecida como una entrada a un filtro Kalman que, en la realización preferida, es un filtro de doble estado: error de tiempo y error de frecuencia, y que está realizado con técnicas bien conocidas por los expertos en el campo (véase por ejemplo la referencia [8]). Tal filtro hace disponible, para cada Estación y en cada instante de tiempo, el término de corrección para el reloj de la Estación.

Los varios procedimientos de Multilateración con los cuales es posible obtener las coordenadas en el espacio de una antena de transpondedor a través de un conjunto de al menos cuatro medidas de TOA, y por ello localiza vehículos elemento móvil (aeronaves o vehículos de tierra), han sido conocidos por los expertos en el campo desde hace mucho tiempo, véase por ejemplo la referencia [4]; la no linealidad de las ecuaciones de localización requiere procedimientos iterativos para la búsqueda de las soluciones óptimas. Es por ello importante escoger algoritmos capaces de garantizar la convergencia, más allá de la precisión, y con una carga de cálculo abordable. En la realización preferida de la presente invención, se usa un par de algoritmos en secuencia, dentro del bloque 3. El primer algoritmo, no recursivo, inicializa la estimación de la posición y está descrito en el trabajo:

[11] Y.T. Chan, K.C. Ho “A simple and efficient estimator for hyperbolic localization”, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. SP – 42, N. 8, agosto 1.994,

mientras que el segundo, recursivo y basado en la minimización del error cuadrático, mejora la estimación hasta que se alcanza el nivel requerido de precisión y está descrito en el trabajo:

[12] Don J. Torrieri “Statistical theory of pasive localization systems”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES – 20, N. 2, marzo 1.984.

La ejecución y forma de realización podrían cambiarse con respecto a lo que se ha descrito y explicado aquí, sin salir, por esta razón, del dominio de la presente invención, según se define a partir de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1.- Sistema para localizar e identificar elementos móviles cooperadores que llevan un transpondedor de un radar secundario de vigilancia (SSR) apto para emitir una señal SSR, comprendiendo dicha señal SSR un preámbulo made up por una secuencia de pulsos, dicho sistema que comprende:

- 5 ▪ una pluralidad de estaciones de medida, que comprenden cada una de ellas una sección de procesado,
- uno o más transpondedores de referencia instalados en posiciones conocidas y adaptado para emitir una señal SSR, y
- un subsistema de procesado,

10 en el que la sección de procesado dentro de cada estación de medida está adaptada para procesar señales SSR emitidas por un transpondedor llevado por un elemento móvil o por uno de los transpondedores de referencia, de forma que se obtenga una medida del tiempo de llegada referido a un reloj de dicha estación,

 en el que el subsistema de procesado está adaptado para:

- 15 ▪ recopilar datos relacionados con dicho tiempo de llegada para cada señal SSR detectada asociada a un transpondedor llevado por un elemento móvil o a uno de los transpondedores de referencia y para reconstruir la posición e identidad del transpondedor,
- ejecutar una sincronización de de las estaciones de medida con respecto a estación de medida asignada usada con una referencia temporal, produciendo así una referencia temporal única para el sistema, sobre la base de una diferencia entre le tiempo de llegada de una señal desde un transpondedor de referencia hasta la estación de medida asignada y el tiempo de llegada hasta la estación que debe se va a sincronizada,

 estando caracterizado el sistema porque

 dicha sección de procesado dentro de cada estación de medida está adaptada para:

- 25 ▪ detectar una señal SSR emitida por un elemento móvil mediante el análisis de la salida de un filtro adaptado F, adaptado a un preámbulo de dicha señal;
- filtrar dicha señal SSR mediante la aplicación de una filtro adaptado de pulso único-un solo pulso;
- diferenciar la salida del filtro adaptado de un solo pulso;
- medir el tiempo de llegada de cada uno de los varios pulsos que constituyen el preámbulo de la señal SSR, mediante la determinación del cruce por cero de la señal de filtro adaptado diferenciada, dicha medida siendo habilitada por la detección de la señal SSR; y
- 30 ▪ reducir la varianza de error del tiempo de llegada medido por cálculo de un medio aritmético de los valores relativos a los varios pulsos que constituyen el preámbulo de la señal SSR.

35 2.- Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el procesado es implementado a través de una aproximación de la cascada del filtro adaptado y el diferenciador: en la aproximación la respuesta al impulso del filtrado aproximado mencionado arriba tiene un primer grupo de coeficientes consecutivos iguales a uno (+1), un segundo grupo de coeficientes consecutivos iguales da cero y, finalmente, un tercer grupo de coeficiente consecutivos iguale a menos uno (-1)..

40 3.- Sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque, con el fin de materializar una resolución y precisión elevada en la medida del tiempo de llegada, se lleva a cabo una interpolación entre dos puntos del plano amplitud-tiempo, en el que la amplitud es la de la señal después del procesado usado por la medida, los dos puntos están relacionados con las dos muestras de amplitud consecutivas que tienen signos opuestos, que evidencian un cruce por cero.

 .4.- Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el alineamiento del reloj de cada estación de medida con respecto a la estación de referencia es ejecutado mediante un proceso de filtrado y predicción a través de un filtro Kalman.

45 5.- Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que en las estaciones de medida se obtienen las componentes en fase y en cuadratura (I & Q) de las señales recibidas, haciendo posible con ello los algoritmos de súper-resolución para la discriminación de señales.

6.- Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que, la estación de medida tiene una

antena colineal y un receptor multicanal, con tanto canales como los elementos de antena; la salida de los canales está organizada como una matriz de datos que es procesada de acuerdo con técnicas de cuadrados mínimos con el fin de estimar la matriz de mezcla para los diferentes canales mediante explotar los intervalos de tiempo en los que sólo una señal está presente.

5 7.- Sistema de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la matriz de mezcla estimada se usa para un-mix, es decir separar, mediante proyecciones en el espacio de vectores lineales, las señales superpuestas.

10 8.- Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que cuando una señal está completamente superpuesta por una de "interferencia", es decir, no hay intervalos de tiempo en los que una parte de ella está presente sola, la señal se "interferencia" es separada, mediante proyección el espacio de vectores lineales, y eliminada con el fin de explotar la contribución de la señal anterior a la estimación de la matriz de mezcla.

9.- Sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que en el subsistema de proceso central la posición precisa de la aeronave o vehículo es calculada mediante el procesado de las medidas de los tiempos de llegada, con una referencia temporal única, a través de procesado por Multilateración que incluye una primera parte no recursiva seguida por una parte recursiva.

15

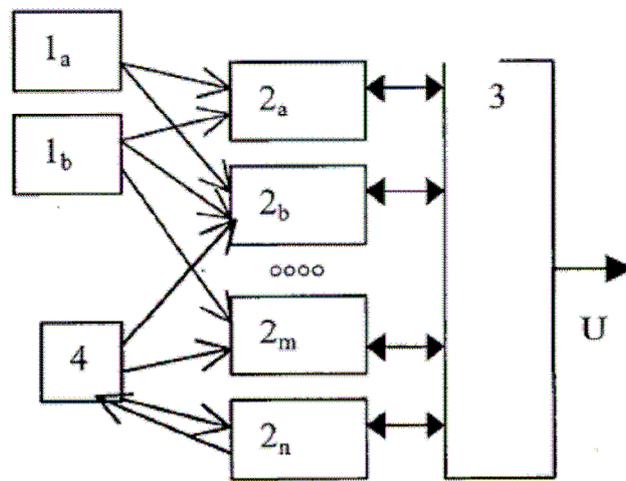


FIG. 1

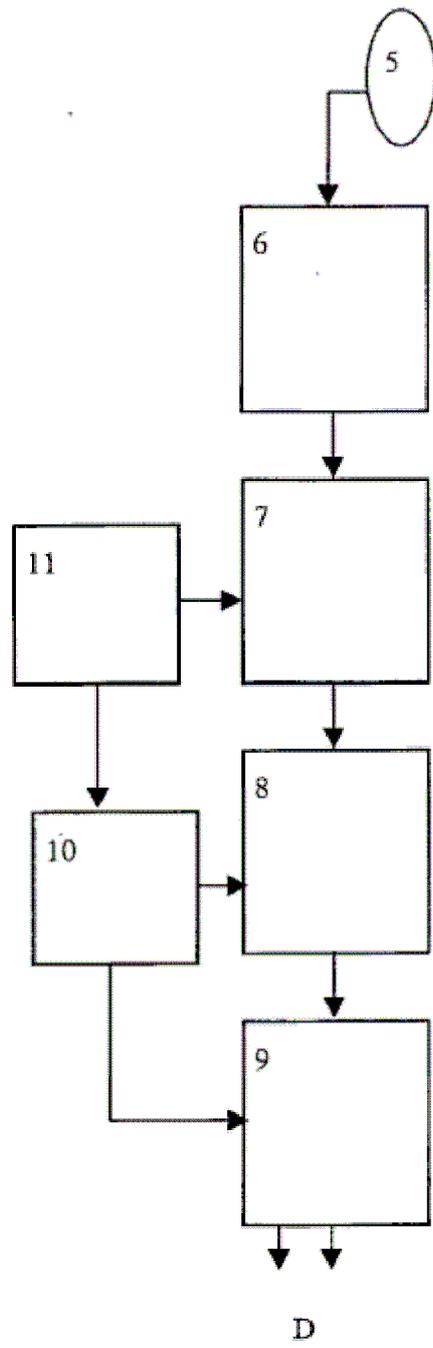


FIG. 2

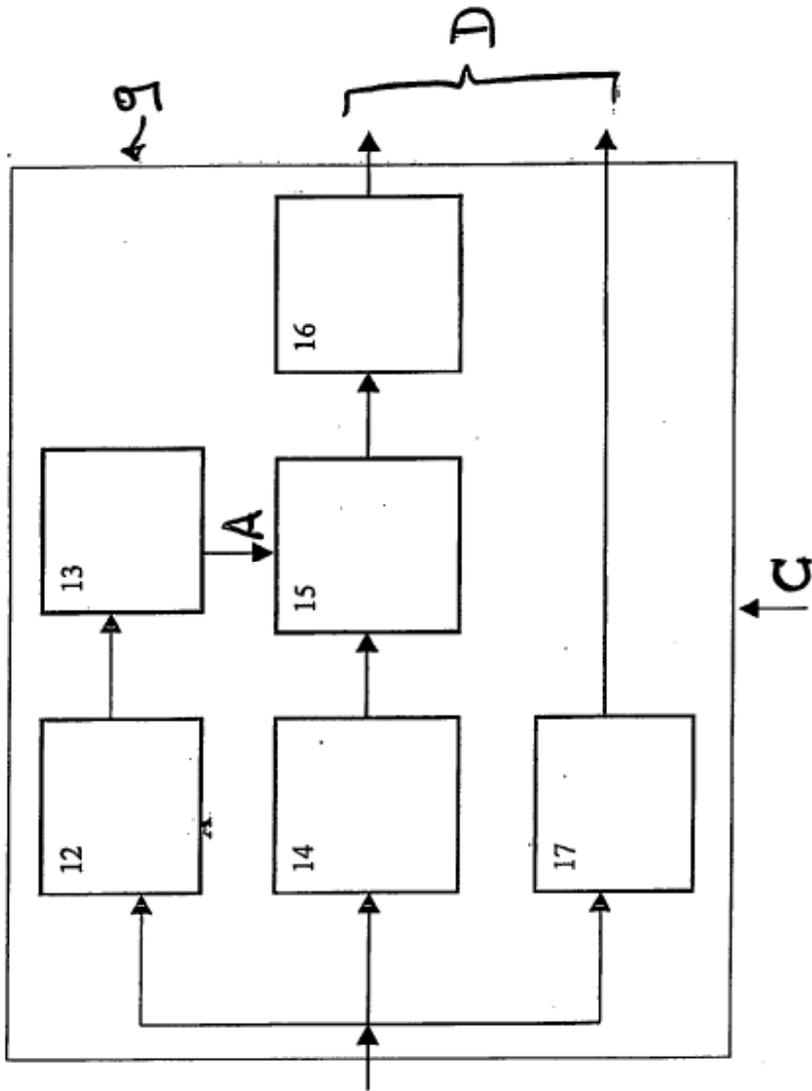


FIG. 3

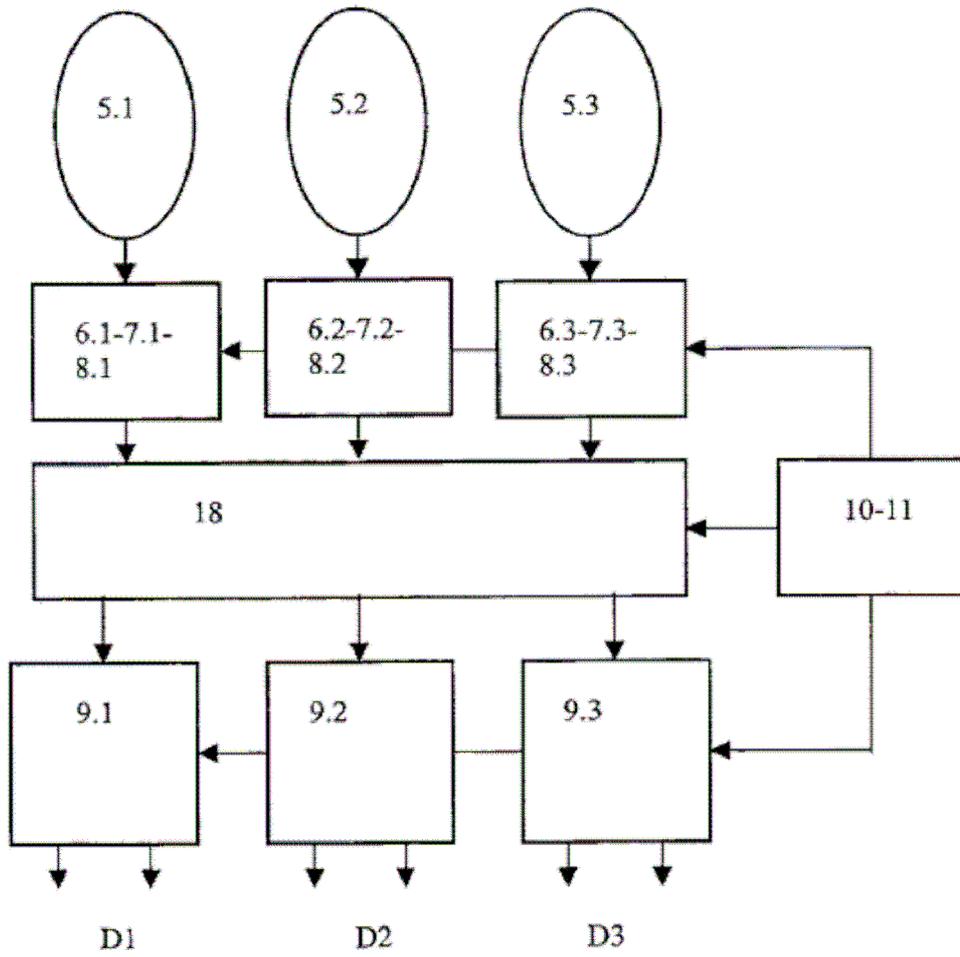


FIG. 4