

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 371 120**

51 Int. Cl.:

**G01S 5/00** (2006.01)

**G01S 5/02** (2010.01)

**G01S 5/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08013326 .7**

96 Fecha de presentación: **24.07.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2148214**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.01.2010**

54 Título: **SISTEMA Y PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN DE POSICIÓN DE NAVE ESPACIAL.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**27.12.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**27.12.2011**

73 Titular/es:  
**SES Astra S.A.**  
**6815 Château de Betzdorf, LU**

72 Inventor/es:  
**Thill, Marc;**  
**Harles, Guy;**  
**Gross, Markus;**  
**Wouters, Jos y**  
**Krier, Georges**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 371 120 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento de estimación de posición de nave espacial

**[Campo de tecnología]**

5 La presente invención se refiere a un sistema para estimar una posición de nave espacial y, especialmente, para estimar la posición de un satélite que orbita la Tierra. La invención también se refiere a un procedimiento para estimar una posición de nave espacial, a una estación receptora y a una estación de procesamiento, para participar en la estimación de una posición de nave espacial, y a un programa de ordenador a ejecutarse en una estación receptora o en una estación de procesamiento, para participar en la estimación de una posición de nave espacial. La invención también se refiere al rastreo de una posición de nave espacial.

10 **[Antecedentes]**

La determinación y el conocimiento de la órbita de un satélite en cualquier momento son de gran importancia para un operador de satélites. La órbita puede obtenerse a partir de estimaciones de posición determinadas por mediciones. Por ejemplo, un satélite geoestacionario está nominalmente localizado (es decir, localizado según un plan o diseño) sobre una posición longitudinal asignada en el arco geosíncrono que circula alrededor de la Tierra.

15 Además, un sistema de estimación de posiciones satelitales permite evaluaciones precisas de maniobras. Las evaluaciones de maniobras implican la planificación y monitorización del impacto sobre la órbita de las maniobras ejecutadas, teniendo en mente el objetivo de usar económicamente (es decir, frugalmente) la cantidad limitada de combustible a bordo de un satélite. Las maniobras son obviamente necesarias para mantener un satélite geoestacionario en su longitud asignada. Esto permite la recepción y transmisión fiable de la telecomunicación  
20 mediante las antenas no isotrópicas del satélite. Tales maniobras son necesarias ya que una órbita geoestacionaria es inestable, en particular debido a las fuerzas gravitatorias de la Luna y el Sol. Las maniobras también se ejecutan para cambiar la órbita del satélite de manera controlada, a fin de modificar, por ejemplo, su posición longitudinal, que se refiere a una deriva satelital, así como su inclinación o excentricidad.

25 En caso de una colocación de múltiples satélites en una única longitud orbital, existe una combinación de separación menor longitudinal, de inclinación y de excentricidad entre los diversos satélites. Este escenario es complejo y requiere la estimación continua y casi en tiempo real de la posición y la determinación orbital para cada satélite.

Además de los satélites geoestacionarios, la estimación precisa de la posición puede ser vital y aplicable a cualquier tipo de satélites o naves espaciales, cualquiera sea su tipo de misión u órbita.

30 Una posición satelital puede ser determinada por mediciones de retardo de ida y vuelta. Una medición de retardo de ida y vuelta implica la transmisión de una señal desde una estación terrestre transmisora a un satélite y de vuelta desde el satélite a una estación terrestre receptora, y la medición del tiempo transcurrido entre la transmisión de la señal desde la estación terrestre transmisora y su recepción en la estación terrestre receptora. En cualquiera de los siguientes procedimientos, se supone que la posición de cada estación terrestre se conoce con precisión.

35 Un procedimiento conocido, el denominado procedimiento de trilateración, implica tres estaciones terrestres, cada una capaz de transmitir y recibir una señal de referencia. Habitualmente, cada estación mide independientemente el retardo entre la transmisión por sí misma de una señal de referencia al satélite y la recepción de la señal de vuelta desde el satélite después de haber sido retransmitida por el satélite. El conjunto de tres estaciones que realizan esta operación en paralelo proporciona tres mediciones absolutas de distancia desde las tres estaciones al satélite, por lo que su posición es calculable.

40 Alternativamente, el procedimiento de trilateración puede convertirse en un procedimiento de pseudo cálculo de distancia. En este procedimiento, los retardos de ida y vuelta no se miden independientemente, sino conjuntamente, entre las estaciones terrestres, de modo tal que sólo una estación terrestre transmita una única señal de referencia. Esta primera estación terrestre recibe la señal de vuelta del satélite. Las otras estaciones también reciben desde el satélite la señal única de referencia que ha sido transmitida por la primera estación terrestre al satélite. Las distancias  
45 entre las otras estaciones terrestres y el satélite, por lo tanto, se calculan indirectamente.

El procedimiento de pseudo cálculo de distancia requiere una referencia temporal común entre las estaciones terrestres, mientras que el procedimiento de trilateración anteriormente descrito no necesariamente requiere una.

50 La estimación de posición satelital puede llevarse a cabo resolviendo un problema de intersección de tres esferas, o usando un algoritmo tal como el descrito en el documento de D. E. Manolakis: Solución eficaz y análisis de prestaciones de la estimación de posiciones tridimensionales por trilateración, transacciones del IEEE en Sistemas Aeroespaciales y Electrónicos, Vol. 32, Nº 4, octubre de 1966, páginas 1239 a 1249.

La técnica anterior incluye adicionalmente el documento US 2006 / 0227043 A1, referido a la determinación de la posición de un satélite usando mensajes con sello temporal transmitidos y redifundidos, y el documento US 2008 / 0062043 A1, que se refiere a la determinación de la posición de un objeto de destino midiendo retardos temporales entre pares de señales de radio recibidas desde el objeto de destino por sensores.

- 5 Hay una necesidad constante de mejorar los sistemas y procedimientos para estimar la posición de una nave espacial, tal como un satélite.

**[Nota léxica]**

Antes de resumir la invención, se explica el uso de la frase “y / o” en el presente documento.

- 10 En cada caso, el término “y / o” se usa para indicar que los términos, características o cláusulas unidos por la misma han de tomarse juntos o individualmente, proporcionando así tres realizaciones enumeradas o especificadas. En otras palabras, siendo A y B dos términos, características o cláusulas, la expresión “A y / o B” abarca tres soluciones alternativas: “A y B”, “A” y “B”.

- 15 Cuando la expresión “A y / o B” se usa primero y luego se usa la expresión “el A y / o el B” (por ejemplo, en una reivindicación, o en una reivindicación y una de sus reivindicaciones dependientes), esto abarca cinco soluciones alternativas:

- primero “A y B” y luego “el A y el B”;
- primero “A y B” y luego “el A”;
- primero “A y B” y luego “el B”;
- primero “A” y luego “el A”; y
- 20 - primero “B” y luego “el B”.

- 25 Los usos adicionales del término “y / o” se entenderán en línea con estos principios, en donde no se abarcan las combinaciones incoherentes. Por ejemplo, cuando “A y / o B” está seguido por “C y / o D”, cada expresión abarca tres soluciones alternativas, abarcando así nueve soluciones alternativas. Sin embargo, por ejemplo, cuando “C” es un “una propiedad del A” sucedáneo y cuando “D” es un “una propiedad del B” sucedáneo, se entenderá que “A y / o B”, seguido por “C y / o D” abarca sólo cinco soluciones alternativas.

**[Resumen]**

La presente invención pretende satisfacer la necesidad precitada, mejorando los sistemas y el procedimiento para estimar una posición de nave espacial, tal como una posición satelital.

- 30 Según la invención, se proporciona un sistema para estimar una posición de nave espacial. Incluye una pluralidad de estaciones receptoras dispuestas para recibir señales transmitidas desde la nave espacial, y una estación de procesamiento dispuesta para recibir datos desde la pluralidad de estaciones receptoras. Cada una de las estaciones receptoras está dispuesta para registrar, durante una ventana temporal, mencionada en el presente documento como una ventana de registro, las señales transmitidas desde la nave espacial, y para transmitir a la estación de procesamiento datos que representan las señales registradas durante la ventana de registro. Las ventanas de registro asociadas a cada una de las estaciones receptoras están dispuestas para estar desplazadas y / o ser de distinto tamaño (es decir, distinta longitud o duración) con respecto a las demás. La estación de procesamiento está dispuesta para correlacionar las señales registradas para estimar, para cada una de al menos un par entre la pluralidad de estaciones receptoras, la diferencia de distancia entre la nave espacial y cada estación receptora del par y, en base a ello, la posición de la nave espacial.

- 40 Así, en una primera solución alternativa, las ventanas de registro asociadas a cada una de las estaciones receptoras se disponen para estar desplazadas entre sí. En una segunda solución alternativa, las ventanas de registro asociadas a cada una de las estaciones receptoras se disponen para ser de distintos tamaños entre sí. En una tercera solución alternativa, las ventanas de registro asociadas a cada una de las estaciones receptoras se disponen para estar desplazadas y ser de distintos tamaños entre sí.

- 45 Esto se explicará ahora en más detalle. Una pluralidad de estaciones receptoras se disponen para recibir señales de radiofrecuencia transmitidas desde la nave espacial. Cada una entre la pluralidad de estaciones receptoras registra, durante una ventana de registro, las señales de radiofrecuencia transmitidas desde la nave espacial.

Consideremos dos de estas estaciones receptoras. Cada una de las dos estaciones receptoras registra, durante una ventana o intervalo de registro, la secuencia de señales de radiofrecuencia que viene desde la nave espacial por la

interfaz aérea. El inicio y el fin de la ventana de registro son conocidos con referencia a una referencia temporal común a las dos estaciones receptoras. A continuación, ambas secuencias de señales de radiofrecuencia registradas en las dos estaciones receptoras se transmiten a la estación de procesamiento. La información acerca del inicio y del fin de la ventana de registro correspondiente a la secuencia de señales de radiofrecuencia transmitidas desde cada una de las dos estaciones receptoras es, o bien conocida a priori por la estación de procesamiento o bien transmitida por las estaciones receptoras a la estación de procesamiento. No se requiere ninguna información acerca de cuándo fue transmitida la secuencia de señales de radiofrecuencia desde la nave espacial en la estación de procesamiento. Análogamente, no se requiere ninguna información acerca de la naturaleza de la secuencia de señales de radiofrecuencia en la estación de procesamiento. La estación de procesamiento determina, con referencia a la base temporal común conocida, la diferencia temporal de llegada (TDOA) de la parte de la secuencia de radiofrecuencia que ha sido recibida y registrada en las dos estaciones receptoras durante las dos respectivas ventanas de registro.

La diferencia temporal de llegada de la secuencia de radiofrecuencia en las estaciones receptoras primera y segunda corresponde a la diferencia de distancia entre la nave espacial y la primera estación receptora, y entre la nave espacial y la segunda estación receptora. Esta diferencia temporal, o desplazamiento, se determina correlacionando, en la estación de procesamiento, las dos secuencias de señales de frecuencia de radio. El pico de correlación corresponde a la diferencia temporal, o desplazamiento.

Correlacionando el par de secuencias de radiofrecuencia registradas, recibidas en las estaciones receptoras primera y segunda, puede determinarse la diferencia en distancia entre la nave espacial y las estaciones receptoras primera y segunda, considerando las propiedades del medio de propagación. Dentro de las ventanas de registro correspondientes al par de secuencias de radiofrecuencia registradas, debería haber un intervalo de solapamiento durante el cual la misma parte de la secuencia de radiofrecuencia original transmitida desde la nave espacial ha sido recibida en las estaciones receptoras primera y segunda. La nave espacial está localizada en el hiperboloide de dos hojas correspondiente al conjunto de puntos en el espacio para el cual la diferencia de distancia entre la nave espacial y las estaciones receptoras primera y segunda es constante.

Repetiendo el mismo proceso en el mismo instante, o esencialmente en el mismo instante, para un segundo par de estaciones receptoras y, si es necesario, para un tercer par de estaciones receptoras, pueden determinarse otros dos hiperboloides sobre los cuales puede localizarse la nave espacial. Puede estimarse que la nave espacial está en la intersección de estos hiperboloides.

Como se ha explicado anteriormente, las señales registradas se correlacionan por pares en la estación de procesamiento. La identificación de la intersección de los hiperboloides proporciona una estimación de la posición de la nave espacial. Este proceso, también conocido como la localización hiperbólica tridimensional, requiere la transmisión de las secuencias efectivas de señales registradas a una estación de procesamiento. Además, las secuencias de señales deberían registrarse durante una ventana de registro suficientemente larga como para obtener un pico de correlación significativo. La ganancia de procesamiento de correlación se obtiene del ancho de banda de señal disponible multiplicado por el tiempo de muestreo.

Este procedimiento es ventajoso en cuanto a que no se requiere que se envíe un patrón de señales de referencia, bien en la capa física, o bien encapsulado en la carga útil modulada, desde la nave espacial. El procedimiento tampoco requiere ninguna secuencia de activación emitida por la nave espacial a fin de habilitar el registro en las estaciones receptoras. Además, no se requiere que la nave espacial esté especialmente adaptada. En este sentido, el procedimiento es pasivo. No requiere una nave espacial que coopere. Sólo se requiere que la nave espacial envíe algunas señales electromagnéticas que puedan ser detectadas por las estaciones receptoras. Habiendo dicho esto, sin embargo, el procedimiento es capaz de afrontar, y hacer uso de, patrones de señales de referencia y secuencias activadoras emitidas por la nave espacial para habilitar el registro en las estaciones receptoras.

Al diseñar tal procedimiento y sistema, tiene lugar una necesidad para la transmisión de secuencias de señales registradas correspondientes a ventanas de registro con una longitud suficiente como para tener en cuenta la diferencia en distancia entre la nave espacial y cada una de las estaciones receptoras primera y segunda, incluyendo aún a la vez un solapamiento temporal suficiente con respecto a la secuencia originalmente transmitida, a fin de proporcionar una correlación significativa. Se ha reconocido ahora que la implementación de un procedimiento o sistema que satisfaga tal necesidad puede aumentar considerablemente la carga sobre los enlaces de comunicación entre cada una de las estaciones receptoras y la estación de procesamiento.

Ha sido adicionalmente reconocido que este es especialmente el caso en que se lleva a cabo el rastreo de la posición de la nave espacial, lo que requiere una sucesión de frecuentes estimaciones de posición, a fin, por ejemplo, de controlar adecuada y oportunamente una maniobra. Se prefiere situar las estaciones receptoras bien lejos entre sí (por ejemplo, separadas por más de 500 kilómetros) que aumentar la resolución angular del proceso y la precisión de estimación de la posición de la nave espacial. Las distancias entre cada una de las estaciones receptoras y la estación de procesamiento, por lo tanto, pueden ser grandes, de modo que no haya ninguna línea directa de visión entre las estaciones receptoras y la estación de procesamiento. Esto aumenta adicionalmente la carga de red causada por la

transmisión de las secuencias registradas.

Desplazando, de manera intencional y controlada, las ventanas de registro, se reduce la cantidad de datos a transmitir a la estación de procesamiento. Además, o alternativamente (proporcionando así tres soluciones alternativas), fijando, de manera intencional y controlada, el tamaño de cada ventana de registro individualmente, de modo tal que las  
 5 ventanas de registro se dispongan para tener un tamaño distinto entre sí, también se reduce la cantidad de datos a transmitir a la estación de procesamiento. En lugar de registrar las secuencias de señales recibidas durante la misma ventana de registro (la misma con respecto a una referencia temporal común) en cada una de las estaciones receptoras, las ventanas de registro se desplazan y / o su tamaño se fija de manera distinta con respecto a las demás. Cómo pueden calcularse los desplazamientos entre las ventanas de registro y / o el tamaño individual de cada ventana  
 10 en algunas realizaciones será evidente a partir de la descripción detallada de las realizaciones específicas, con referencia a los dibujos (por ejemplo, la Fig. 3b).

El sistema de cálculo de distancias revelado en el documento US 2004 / 0140930 A1 (mencionado en el presente documento como "ref. [1]", también está involucrado en la estimación de una posición de nave espacial. Es interesante destacar las diferencias entre la ref. [1] y el sistema y procedimiento de la invención, para comprender mejor la  
 15 invención. En el sistema de la ref. [1], las distancias entre una nave espacial y cada una de las al menos tres estaciones receptoras se determinan en las estaciones receptoras. Los valores de distancia determinados se envían a una estación de procesamiento central, y la posición de la nave espacial se estima en base a los mismos. La estimación se basa un cálculo de trilateración sobre los valores de distancia.

En una realización de la ref. [1], según se ilustra en su Fig. 6, una estación transmisora (número 605 en la Fig. 6) y una  
 20 estación receptora (número 613 en la Fig. 6) se usan conjuntamente para proporcionar un retardo de ida y vuelta (diferencia entre una hora de emisión y una hora de recepción) que proporciona una medición de distancia.

La invención difiere en particular de la ref. [1] en cuanto a que, en la invención, las señales registradas efectivas en dos estaciones receptoras se envían a una estación de procesamiento para ser correlacionadas allí en pares. Además, la invención usa el desplazamiento temporal controlado entre ventanas de registro y / o la determinación de tamaños  
 25 individuales de las ventanas de registro en cada estación receptora para reducir la carga sobre la red causada por la transmisión de las señales registradas. El desplazamiento y / o la determinación del tamaño de las ventanas de registro no se revela, y ni siquiera se necesita, en la ref. [1]. El problema de reducir la carga sobre la red causada por el sistema de cálculo de distancias no surge en la ref. [1], ya que las señales efectivas recibidas y registradas no se envían por la red a una estación central de procesamiento a fin de calcular la diferencia temporal de las copias de señales registradas en las estaciones receptoras. Sólo se envían valores de distancias y sellos temporales (p. ej., una entre una  
 30 hora de emisión y una hora de recepción en la Fig. 6 de la ref. [1]).

En la realización anteriormente descrita de la invención, las ventanas de registro se disponen para desplazarse en el tiempo y / o para diferir en tamaño con respecto a las demás. Como reconocerá un experto, esto no excluye un desplazamiento temporal ocasional que estuviera cerca del valor "0" entre dos ventanas de registro (p. ej., el desplazamiento entre el inicio de dos ventanas de registro). Análogamente, esto no excluye un tamaño ocasional casi  
 35 igual entre dos ventanas de registro. El aspecto de la invención, que consiste en que las ventanas de registro se dispongan para estar desplazadas en el tiempo y / o que difieran en tamaño con respecto a las demás, refleja la capacidad, desde una perspectiva de configuración, del sistema de localización para desplazar y / o variar individualmente el tamaño de las ventanas de registro, intencionalmente y de manera controlada, a fin de reducir la  
 40 cantidad de datos a transmitir a la estación de procesamiento. El desplazamiento y / o determinación de tamaño, intencional y controlado, se basa en un conocimiento a priori de la diferencia en distancia entre una primera estación receptora y la nave espacial, y una segunda estación receptora y la nave espacial.

El desplazamiento asociado a un par de estaciones receptoras es un desplazamiento con respecto a una referencia temporal común. En una realización, las estaciones receptoras están dotadas de relojes sincronizados entre sí.

En una realización, algunas de las estaciones receptoras no están sincronizadas en el tiempo con respecto a las  
 45 demás. Los componentes y la estructura de algunas de las estaciones receptoras también pueden diferir, causando así un desplazamiento temporal con respecto a las demás, debido a los retardos individuales inherentes de la estación. La magnitud de la desincronización entre las estaciones receptoras es conocida por la estación de procesamiento, por lo que la estación de procesamiento es capaz de enviar comandos sensatos de desplazamiento (sensatos desde una perspectiva de referencia temporal). En otras palabras, incluso si no hay ninguna sincronización temporal y / o si hay  
 50 diferencia, en componentes y estructura, entre las estaciones receptoras, la estación de procesamiento puede tener en cuenta la desincronización y las diferencias de componentes y estructura para generar adecuadamente comandos de desplazamiento y / o tamaño de ventana (o comandos de activación) para las estaciones receptoras y para procesar adecuadamente los resultados (datos registrados) para una correlación sensata.

Los problemas resueltos por la invención son significativos para la determinación de una posición de nave espacial y no se aplican directamente (o al menos son muy difíciles de aplicar) a la determinación de la posición de un avión, tal

- como en el contexto del control del tráfico aéreo. En el control del tráfico aéreo, las estaciones receptoras sólo están situadas a varios kilómetros entre sí (más de 50 kilómetros), teniendo a menudo una línea directa de visión entre las estaciones receptoras y la estación central de procesamiento. Además, la posición instantánea del avión puede estar en cualquier parte en la zona geográfica cubierta por el radio de recepción de las estaciones receptoras. Además, la trayectoria del avión puede ser sumamente dinámica e impredecible, en altitud o dirección. El desplazamiento y la variación del tamaño de ventanas de registro resuelven problemas que son propios de las naves espaciales, y especialmente de los satélites geoestacionarios. Esto está vinculado con la geometría de las estaciones receptoras (situadas a gran distancia entre sí, preferiblemente, a más de 500 kilómetros) y con el hecho de que los satélites están en una órbita geosíncrona o cuasi-geosíncrona, 36.000 kilómetros sobre la superficie terrestre (en donde la posición del satélite puede predecirse bastante bien). Debido a las significativas distancias entre las estaciones receptoras y el satélite, las horas de llegada de una señal satelital difieren mucho más en tiempo que el tamaño neto de ventana requerido para obtener un buen pico de correlación. El desplazamiento y / o la variación del tamaño de las ventanas de registro optimiza el sobregasto del tamaño de la ventana, y aborda la cuestión de transferir grandes cantidades de datos a una estación central de procesamiento.
- En una realización particular, la nave espacial está restringida a estar en una "caja" específica. La caja puede ser el arco cuasi-geosíncrono y, por ello, limita dónde puede localizarse la nave espacial, y traduce esto directamente a las diferencias en distancia entre las estaciones receptoras y la nave espacial, y al tamaño de ventana y desplazamiento temporal para las distintas estaciones receptoras.
- En una realización, una de las estaciones receptoras está colocalizada con la estación de procesamiento.
- En una realización, los datos transmitidos desde la estación receptora a la estación de procesamiento se digitalizan para su transmisión. Esto aumenta la fiabilidad del sistema.
- En una realización, la correlación, por parte de la estación de procesamiento, incluye correlacionar pares de señales registradas, detectar la posición del pico de correlación que representa el desplazamiento temporal entre las dos copias, calcular la hipérbola tridimensional o hiperboloide de dos hojas correspondiente a cada par y calcular la intersección de las hipérbolas, que es la ubicación de la nave espacial. Para afrontar casos en donde la intersección de más de dos hiperboloides no lleva a un único punto, el cálculo puede incluir una optimización, que incluye, por ejemplo, un procedimiento de cuadrados mínimos, para hallar el punto de intersección más cercano (más probable) y por ello la posición.
- En una realización, la correlación, por parte de la estación de procesamiento, incluye correlacionar pares de señales registradas, detectar la posición del pico de correlación que representa el desplazamiento temporal entre las dos copias de señal y calcular las diferencias resultantes en tiempos de recorrido de señales desde el satélite a las respectivas estaciones receptoras con posiciones conocidas. Estos datos se proporcionan a un sistema distinto que calcula la ubicación de la nave espacial.
- En una realización, los relojes de cada una entre la pluralidad de estaciones receptoras están sincronizados.
- En una realización, el desplazamiento entre las ventanas de registro asociadas a dos estaciones receptoras y / o el respectivo tamaño de las ventanas de registro está dispuesto para calcularse en base a información sobre la posición de la nave espacial y la posición de las dos estaciones receptoras. El desplazamiento temporal y / o los tamaños de ventana pueden ser calculados por la estación de procesamiento.
- En una realización, el respectivo tamaño de ventana y / o el desplazamiento temporal entre las ventanas de registro asociadas a dos estaciones receptoras está dispuesto para ser conocido a priori por las respectivas estaciones receptoras y no requiere ser proporcionado por la estación de procesamiento.
- En una realización, el sistema no sólo sirve para estimar la posición de la nave espacial, sino también para rastrear su posición a lo largo del tiempo. En esta realización, el desplazamiento entre las ventanas de registro asociadas a dos estaciones receptoras está dispuesto para calcularse en base a, o adicionalmente en base a (si el desplazamiento ya está calculado en base a un conocimiento, de antemano, de la posición de la nave espacial), información sobre la posición de la nave espacial según lo estimado por la misma estación de procesamiento (en una o más etapas operativas anteriores).
- En una realización, el rastreo de la posición de la nave espacial a lo largo del tiempo es gestionado por cada estación receptora independientemente, usando una información a priori representada por el desplazamiento de la ventana y / o las predicciones de valores de tamaño, y no requiere ser proporcionado por la estación de procesamiento.
- Puede proporcionarse un bucle de rastreo o retroalimentación de la siguiente manera. En base al conocimiento de la posición de la nave espacial, obtenido de antemano, o de la diferencia en distancia entre las estaciones receptoras y la nave espacial (la posición de la nave espacial no se requiere necesariamente, la diferencia de distancia / tiempo para el par de estaciones receptoras es suficiente para el bucle de retroalimentación, por lo que el proceso funciona casi

aislado para un único par de estaciones receptoras), y en base al conocimiento predeterminado de la posición de las estaciones receptoras, la estación de procesamiento transmite comandos de fijación del desplazamiento y / o tamaño de ventana a las estaciones receptoras.

5 El término "distancia" se refiere en el presente documento a la distancia entre la nave espacial (o, en una realización, el satélite) y una estación receptora.

Cada estación receptora registra, en base al comando de fijación del desplazamiento y / o tamaño de la ventana, recibido desde la estación de procesamiento, la secuencia de señales recibidas desde la nave espacial, y la secuencia se envía a la estación de procesamiento. La estación de procesamiento recibe secuencias de señales recién registradas. Recalcula, es decir, actualiza, la estimación de la posición de la nave espacial, recalcula la diferencia en  
10 distancia entre las estaciones receptoras y la nave espacial y, finalmente, calcula nuevos desplazamientos de ventana y / o tamaños de ventana a transmitir. El bucle de rastreo se ejecuta luego de nuevo. El sistema y el procedimiento permiten reducir significativamente la cantidad de datos a transmitir por los enlaces de comunicación entre las estaciones receptoras y de procesamiento.

15 Los tamaños de ventana de registro pueden ser adaptados y controlados por la estación de procesamiento, particularmente en base al grado de precisión en cuanto al conocimiento a priori de la posición de la nave espacial. En esta realización, la estación de procesamiento no sólo envía comandos de desplazamiento a las estaciones receptoras, sino también comandos de tamaño de ventana. El comando de desplazamiento determina el inicio de la ventana de registro y el comando de tamaño, su tamaño. En una realización, los tamaños de ventana de registro no se adaptan, sino que, en cambio, se determinan de antemano, para tener en cuenta todos, o la mayoría de, los parámetros desconocidos referidos al tiempo del sistema, incluyendo, por ejemplo, las varianzas temporales causadas por el  
20 movimiento radial del satélite durante un día o después de una maniobra, o las variaciones del retardo introducidas por la atmósfera.

El rastreo de la posición satelital y el uso eficaz del conocimiento de posiciones pasadas, para determinar los desplazamientos y, optativamente, el tamaño de ventana de registro, están íntimamente interrelacionados.

25 En una realización, el rastreo se lleva a cabo en tiempo real. "Tiempo real" significa aquí "con límites operativos absolutos" en cuanto a la respuesta del sistema, para permitir una evaluación de maniobras rápida y exitosa. El rastreo y el control de posición en tiempo real pueden ser críticos para el control de posición y las maniobras usando uno o más motores satelitales a bordo.

30 En una realización, se usa una velocidad de una operación de registro por segundo en las estaciones receptoras, y una estimación de posición resultante para el rastreo. En una realización, se usa una velocidad comprendida entre una operación de registro cada 0,1 segundos y una operación de registro cada 24 horas para el rastreo.

35 Al usar el rastreo de ventanas, se detecta la ubicación del pico de correlación y las ventanas se desplazan para maximizar su respectivo solapamiento en contenido para la próxima iteración, a fin de rastrear, por lo tanto, la diferencia temporal entre las señales. Los satélites permiten la predicción de posición para un tal rastreo, ya que están habitualmente sujetos a movimientos relativamente lentos y constantes a lo largo del tiempo, con respecto a las estaciones receptoras.

40 En una realización, en donde se usa el rastreo, el desplazamiento está dispuesto para calcularse entre una primera operación de registro y una segunda operación de registro, en base a la posición estimada de la nave espacial, obtenida de la primera operación de registro. Las operaciones de registro primera y segunda pueden estar, por ejemplo, separadas por entre 0,1 segundos y 12 horas. Las operaciones de registro primera y segunda pueden ser dos operaciones de registro sucesivas.

45 En una realización, al menos una de las estaciones receptoras está situada fuera de la huella del enlace descendente del lóbulo principal de la nave espacial. Esta configuración está especialmente bien adaptada para estimar la posición de una nave espacial que usa una antena no isotrópica o direccional con un patrón estrecho de haces de radiación para la comunicación hacia un área limitada en la Tierra, mientras permite a la vez que las estaciones receptoras estén suficientemente apartadas entre sí como para proporcionar una buena resolución angular a fin de determinar la posición de la nave espacial. Cuanto más alejadas estén entre sí las estaciones receptoras, mejor es la resolución.

50 Esto puede explicarse adicionalmente de la siguiente manera. El sistema se basa en correlacionar señales registradas. Así, debido a la ganancia inherente de procesamiento de la técnica de correlación, las señales con razón S / N (entre señal y ruido) baja o negativa pueden usarse en el proceso de correlación, ya que la ganancia de correlación se determina principalmente mediante el producto del ancho de banda de la señal con el tiempo de muestreo de las ventanas de registro. La ganancia de correlación, por lo tanto, se usa para compensar la razón S / N baja o negativa de las señales individuales y la correlación aún puede proporcionar un pico significativo.

En una realización, cada ventana de registro tiene una duración suficientemente pequeña como para que el efecto

5 Doppler, los efectos de la atmósfera (que pueden causar distorsiones) y las imperfecciones de las interfaces de usuario receptoras de las estaciones receptoras no tengan un impacto significativo sobre la correlación por parte de la estación de procesamiento o, en otras palabras, como para que el procesamiento de la correlación no se vea significativamente afectado por desplazamientos de frecuencia causados por el efecto Doppler, las distorsiones inducidas por la atmósfera y las imperfecciones de las interfaces de usuario de las estaciones receptoras.

10 En una realización, al menos una de las ventanas de registro tiene un tamaño comprendido entre 4 microsegundos y 10 milisegundos. En una realización, cada una de las ventanas de registro tiene un tamaño comprendido entre 4 microsegundos y 10 milisegundos. Estas realizaciones proporcionan, para aplicaciones de naves espaciales, un buen compromiso entre tener una ventana de registro suficientemente larga para obtener un pico de correlación significativo y tener una ventana de registro suficientemente corta como para reducir la carga sobre los enlaces de comunicaciones entre las estaciones receptoras y de procesamiento.

En una realización, se estima la posición de un satélite no geoestacionario.

En una realización, los datos enviados desde una estación receptora a la estación de procesamiento contienen cualquier forma de información de temporización con respecto a la ventana.

15 La invención también se refiere a un procedimiento para estimar una posición de nave espacial usando una pluralidad de estaciones receptoras dispuestas para recibir señales transmitidas desde la nave espacial y una estación de procesamiento dispuesta para recibir datos desde la pluralidad de estaciones receptoras. El procedimiento incluye un procedimiento de registro y transmisión y un procedimiento de correlación. El procedimiento de registro y transmisión incluye registrar, por parte de las estaciones receptoras, durante una ventana de registro, las señales transmitidas desde la nave espacial, y transmitir, por parte de cada una de las estaciones receptoras, a la estación de procesamiento, datos que representan las señales registradas durante la ventana de registro. Las ventanas de registro asociadas a cada una de las estaciones receptoras están desplazadas y / o son de distinto tamaño (es decir, longitud o duración) con respecto a las demás. El procedimiento de correlación incluye correlacionar, por parte de la estación de procesamiento, las señales registradas para estimar, para cada una de al menos un par entre la pluralidad de estaciones receptoras, la diferencia de distancia entre la nave espacial y cada estación receptora del par y, en base a ello, la posición de la nave espacial.

20 La invención también se refiere a una estación receptora para participar en la estimación de una posición de nave espacial. La estación receptora comprende un primer receptor, un segundo receptor, un registrador y un transmisor. El primer receptor está dispuesto para recibir señales transmitidas desde la nave espacial. El segundo receptor está dispuesto para recibir desde una estación de procesamiento una indicación de hora de activación, como una instrucción para iniciar una ventana de registro y / o una indicación de tamaño de ventana, como una instrucción en cuanto al tamaño de la ventana de registro. El registrador está dispuesto para registrar, durante una ventana de registro iniciada según la indicación de hora de activación recibida, y / o la indicación de tamaño de ventana, las señales transmitidas desde la nave espacial. El transmisor está dispuesto para transmitir a la estación de procesamiento datos que representan las señales registradas durante la ventana de registro.

30 La invención también se refiere a una estación de procesamiento para participar en la estimación de una posición de nave espacial. La estación de procesamiento comprende un transmisor, un receptor y un correlacionador. El transmisor está dispuesto para transmitir, a cada una entre una pluralidad de estaciones receptoras dispuestas para recibir señales transmitidas desde la nave espacial, una indicación de hora de activación referida al inicio de una ventana de registro, y / o una indicación de tamaño de ventana, como una instrucción en cuanto al tamaño de la ventana de registro. El receptor está dispuesto para recibir, desde cada una entre la pluralidad de estaciones receptoras, datos que representan las señales registradas transmitidas desde la nave espacial durante la ventana de registro. Las ventanas de registro asociadas a cada una de las estaciones receptoras están dispuestas para desplazarse y / o ser de distinto tamaño con respecto a las demás. El correlacionador está dispuesto para correlacionar las señales registradas, a fin de estimar, para cada uno de al menos un par entre la pluralidad de estaciones receptoras, la diferencia de distancia entre la nave espacial y cada estación receptora del par y, en base a ello, la posición de la nave espacial.

40 La invención también se refiere a un programa de ordenador configurado, cuando se ejecuta en una estación receptora o en una estación de procesamiento, para llevar a cabo, respectivamente, los procedimientos específicos de la estación receptora o los procedimientos específicos de la estación de procesamiento del procedimiento anteriormente descrito de la invención.

**Breve descripción de los dibujos**

Las realizaciones de la presente invención se describirán ahora, conjuntamente con las Figuras adjuntas, en las cuales:

la Fig. 1 ilustra esquemáticamente un sistema según una realización de la invención, con el desplazamiento de ventanas y la fijación individual del tamaño de ventanas, en la parte inferior de la figura;

las Figs. 2, 3a y 3b ilustran esquemáticamente procedimientos según las realizaciones de la invención;

la Fig. 4 ilustra esquemáticamente una estación receptora según una realización de la invención;

la Fig. 5 ilustra esquemáticamente una estación de procesamiento según una realización de la invención;

5 la Fig. 6 muestra un ejemplo de diferencias de distancia asociadas a tres pares de estaciones receptoras A-B, B-C y C-D, durante un periodo de 48 horas, para ayudar a comprender los problemas asociados al tamaño de la ventana de registro;

la Fig. 7a muestra un ejemplo de diferencias de distancia entre las estaciones receptoras B y C durante 48 horas;

la Fig. 7b muestra ejemplos de ventanas de registro para dos estaciones receptoras B y C; y

10 la Fig. 8 muestra ejemplos de ventanas de registro para dos estaciones receptoras B y C, en el momento  $t$  y  $t+1$ , en el contexto de un sistema de rastreo de posición de nave espacial.

**Descripción detallada**

15 Se describirá ahora la presente invención conjuntamente con realizaciones específicas. Puede observarse que las realizaciones específicas sirven para proporcionar a la persona experta una mejor comprensión, pero no están concebidas para restringir en modo alguno el alcance de la invención, que está definido por las reivindicaciones adjuntas. En particular, la realización descrita independientemente a lo largo de la descripción puede combinarse para formar realizaciones adicionales, en la medida en que no sean mutuamente excluyentes.

20 La Fig. 1 ilustra esquemáticamente una nave espacial 6, las estaciones receptoras 4a, 4b, 4c, 4d situadas sobre la superficie de la Tierra en distintas posiciones, y una estación 2 de procesamiento, según una realización de la invención. La nave espacial 6 emite una señal de radiofrecuencia hacia las estaciones receptoras, según lo ilustrado por las flechas discontinuas originadas en la nave espacial 6. Las señales de radiofrecuencia transmitidas desde la nave espacial 6 son recibidas en las estaciones receptoras 4a, 4b, 4c, 4c.

25 Las estaciones receptoras 4a, 4b, 4c, 4d registran, cada una durante una ventana específica  $\delta_{4a}$ ,  $\delta_{4b}$ ,  $\delta_{4c}$ ,  $\delta_{4d}$  de registro, las secuencias de señales de radiofrecuencia recibidas. La naturaleza o el contenido de las secuencias de señales no son conocidas de antemano por las estaciones receptoras 4a, 4b, 4c, 4d y, por lo tanto, no hay ninguna correlación realizada en las estaciones receptoras entre las secuencias de señales recibidas y una secuencia predeterminada, o un patrón conocido. No se requiere enviar ninguna señal dedicada de cálculo de distancias, secuencia de bits digitales ni secuencia activadora de registros por parte de la nave espacial 6. Cualquier carga útil o señal del canal de comunicación irradiada por la nave espacial 6 puede usarse para el proceso de estimación, incluyendo señales retransmitidas de carga útil digital o analógica, balizas de telemetría o ruido de tubo transpondedor.

30 Las secuencias de señales recibidas se transmiten desde las estaciones receptoras 4a, 4b, 4c, 4d a la estación 2 de procesamiento. Las secuencias de señales pueden digitalizarse para su transmisión. Como se ilustra esquemáticamente en la parte inferior de la Fig. 1, cada una de las estaciones receptoras 4a, 4b, 4c, 4d está dispuesta para registrar las señales recibidas durante una ventana  $\delta_{4a}$ ,  $\delta_{4b}$ ,  $\delta_{4c}$ ,  $\delta_{4d}$  de registro, respectivamente. Con respecto a un instante común (según lo ilustrado por una línea discontinua vertical en la parte inferior izquierda de la Fig. 1), las ventanas  $\delta_{4a}$ ,  $\delta_{4b}$ ,  $\delta_{4c}$ ,  $\delta_{4d}$  de registro están respectivamente desplazadas por un desplazamiento  $\Delta t_{4a}$ ,  $\Delta t_{4b}$ ,  $\Delta t_{4c}$ ,  $\Delta t_{4d}$  (donde  $\Delta$  es la letra griega delta e indica aquí un desplazamiento). Por lo tanto, el desplazamiento entre las ventanas  $\delta_{4a}$ ,  $\delta_{4b}$ ,  $\delta_{4c}$ ,  $\delta_{4d}$  de registro del par de estaciones receptoras 4a, 4b es igual a

$$\Delta t_{4b} - \Delta t_{4a}$$

40 y es un valor negativo en la ilustración ejemplar de la Fig. 1. El desplazamiento entre el inicio de las ventanas  $\delta_{4b}$ ,  $\delta_{4c}$  del segundo par de estaciones receptoras 4b, 4c es igual a

$$\Delta t_{4c} - \Delta t_{4b}$$

y es un valor negativo en la ilustración ejemplar de la Fig. 1. Finalmente, el desplazamiento entre las ventanas  $\delta_{4c}$ ,  $\delta_{4d}$  del tercer par de estaciones receptoras 4c, 4d es igual a

$$\Delta t_{4d} - \Delta t_{4c}$$

45 y es un valor positivo en la ilustración ejemplar de la Fig. 1.

Los tamaños de las ventanas  $\delta_{4a}$ ,  $\delta_{4b}$ ,  $\delta_{4c}$ ,  $\delta_{4d}$  de registro son respectivamente *tamaño<sub>4a</sub>*, *tamaño<sub>4b</sub>*, *tamaño<sub>4c</sub>*, *tamaño<sub>4d</sub>*. Los tamaños pueden fijarse individualmente para cada ventana  $\delta$  de registro y, por lo tanto, pueden ser distintos entre sí, como se ilustra. El uso de distintos tamaños de ventana asociados a las estaciones receptoras 4 reduce el máximo

solapamiento en el contenido de las ventanas 8 de registro para el proceso de correlación.

La Fig. 1 ilustra el uso tanto del desplazamiento de ventana como de la fijación del tamaño individual. El uso de sólo uno de estas dos técnicas también es posible.

5 El número de estaciones receptoras no se limita a cuatro. Si se dispone de información a priori con respecto a la posición de la nave espacial, el sistema de localización de la nave espacial puede incluir un par de estaciones receptoras solamente, o bien dos pares de estaciones receptoras solamente. Análogamente, pueden usarse más de tres pares de estaciones receptoras que formen más de cuatro estaciones receptoras, para aumentar la precisión de la estimación.

10 Las secuencias de señales registradas en las estaciones receptoras 4a, 4b, 4c, 4d se envían a la estación 2 de procesamiento, en donde se lleva a cabo la correlación por pares. También puede determinarse el próximo desplazamiento a usar para las ventanas de registro en cada una de las estaciones receptoras 4.

15 La determinación de la posición de la nave espacial 6 se basa en el cálculo de la diferencia de hora de llegada (TDOA; en las respectivas estaciones receptoras situadas en posiciones conocidas en la Tierra). Puede visualizarse y resolverse matemáticamente como la determinación de la intersección de dos hiperboloides de dos hojas. Cada hiperboloide se obtiene identificando un pico de correlación asociado a un par de estaciones receptoras 4, según lo descrito anteriormente. La determinación de la intersección de dos hiperboloides de dos hojas para estimar la posición de la nave espacial puede llevarse a cabo resolviendo un sistema de ecuaciones no lineales. En el caso de que no pueda hallarse ninguna solución a un sistema de ecuaciones no lineales, puede seleccionarse la solución óptima, o más próxima, en términos del procedimiento de cuadrados mínimos, o similar, como la posición de la nave espacial.

20 La información sobre la posición del satélite puede proporcionarse en una pantalla de ordenador (no ilustrada) para ayudar a un usuario a determinar si debería realizarse una maniobra, o si se ha ejecutado una maniobra según lo predicho, o para calcular la órbita de la nave espacial. La información sobre la posición del satélite puede estar en cualquier forma, incluyendo una visualización o una expresión matemática. Además, la información sobre la posición del satélite y / o sobre las diferencias en la distancia entre la nave espacial y la pluralidad de estaciones receptoras  
25 puede proporcionarse en cualquier forma a cualquier otro sistema, usando la información como entrada a un proceso integrado con, o desacoplado de, el sistema de la invención.

30 La Fig. 2 ilustra un procedimiento según una realización de la invención. El procedimiento incluye un procedimiento 110 de registro y transmisión que incluye el registro 112, por parte de cada una de las estaciones receptoras 4 durante una ventana 8 de registro, las señales transmitidas desde la nave espacial 6 y la transmisión 114, por parte de cada una de las estaciones receptoras 4 a la estación 2 de procesamiento, de datos que representan las señales de registro que se han registrado durante la ventana 8 de registro. Como se ha explicado anteriormente, las ventanas 8 de registro asociadas a cada una de las estaciones receptoras 4 están desplazadas y / o son de distinto tamaño con respecto a las demás.

35 El procedimiento también incluye un procedimiento 120 de correlación que incluye la correlación, por parte de la estación 2 de procesamiento, de las señales registradas para estimar la diferencia de distancia entre la nave espacial 6 y cada una de las estaciones receptoras 4, de un par de estaciones receptoras 4 (y así sucesivamente, de manera similar, para otros pares de estaciones receptoras, si las hubiera) y, en base a ello, la posición de la nave espacial. La correlación se realiza por pares para identificar un pico de correlación. La posición, en el tiempo, del pico de correlación, teniendo en buena cuenta el desplazamiento intencionalmente definido, corresponde a la diferencia  
40 temporal de llegada entre la nave espacial 6 y cada una del par de estaciones receptoras 4 y, por ello, también a la diferencia de distancia entre la nave espacial 6 y cada una del par de estaciones receptoras 4.

45 El procedimiento no requiere que se conozca la distancia efectiva entre una estación receptora 4 y la nave espacial 6 como una entrada al proceso de estimación de posición. El procedimiento tampoco requiere ninguna información con respecto a la hora de transmisión de las señales desde la nave espacial 6, ni que se conozca ninguna información con respecto a la naturaleza de las señales transmitidas desde la nave espacial 6 como entrada al proceso de estimación de posición.

50 La Fig. 3a ilustra un procedimiento según una realización de la invención. Difiere del procedimiento de la Fig. 2 en que, como resultado del procedimiento 120 de correlación, no sólo se obtiene información acerca de la posición de la nave espacial y / o de las diferencias en distancia entre la nave espacial y la pluralidad de estaciones receptoras, sino que también se calculan y envían nuevos comandos de desplazamiento y / o tamaño de ventana desde la estación 2 de procesamiento a las estaciones receptoras 4. Por lo tanto, el desplazamiento entre las ventanas de registro asociadas a dos estaciones receptoras 4 y / o al tamaño de ventana de las ventanas de registro se calcula en base a información sobre la posición de la nave espacial 6 (y la posición conocida de las dos estaciones receptoras 4).

Se explicará ahora el desplazamiento temporal de las ventanas 8 de registro y la determinación de su tamaño, con

referencia a la Fig. 3b en el contexto de un procedimiento según otra realización, incluyendo el rastreo de posición. Los parámetros de desplazamiento y tamaño se adaptan iterativamente. La Fig. 3b muestra el bucle de retroalimentación e ilustra las etapas innovadoras del desplazamiento, la determinación del tamaño (es decir, la fijación del tamaño de las ventanas individuales) y el rastreo.

5 Consideremos ahora dos estaciones receptoras 4a, 4b y sus correspondientes ventanas 8<sub>4a</sub>, 8<sub>4b</sub> de registro. Ambos tamaños de las ventanas 8<sub>4a</sub>, 8<sub>4b</sub> de registro pueden fijarse para que sean suficientemente grandes a fin de cubrir la máxima diferencia de distancia asociada a cada una de las estaciones receptoras 4a, 4b (denominándose dicha distancia en el presente documento “*Máxima diferencia de distancia A-B*”) más un sobregasto. La diferencia “*Máxima diferencia de distancia A-B*” es igual a la distancia de la línea base en tierra entre las estaciones receptoras 4a y 4b. Si se usan más estaciones receptoras 4a, 4b, 4c, 4d, el tamaño de ventana tiene que tener en cuenta la mayor diferencia de distancia, por ejemplo, *Máxima diferencia de distancia C-D*. Si no se tiene 131 (“No”) conocimiento a priori de valores de diferencia de distancia, fijando 132 como el tamaño de las ventanas 8<sub>4a</sub>, 8<sub>4b</sub>, 8<sub>4c</sub>, 8<sub>4d</sub> de registro, puede usarse la misma *Máxima diferencia de distancia C-D* como valores iniciales (pero no por todo el proceso de rastreo).

10 Puede obtenerse un conocimiento a priori de valores de diferencias de distancia a partir de cualquiera, o cualquier combinación, de:

- predicciones de órbitas de satélites (elementos Keplerianos),
- información de la longitud del satélite situado en el arco geoestacionario,
- información de la posición aproximada (en una caja) del satélite en el arco geoestacionario,
- información obtenida de mediciones (pasadas) cualesquiera (p. ej., orientación de antenas),

15 - información obtenida de correlaciones pasadas (que se convierte en conocimiento a priori en el contexto de la iteración actual).

Si se tiene 131 (“Sí”) conocimiento a priori de valores de diferencia de distancia, esto puede usarse para fijar 133 el tamaño de las ventanas 8 de registro y los desplazamientos temporales entre las ventanas 8 de registro. Si no se dispone de ningún conocimiento a priori, no se fija ningún desplazamiento.

20 La optimización 134 de datos ingresados al proceso de correlación puede tener lugar entonces. Esto puede incluir:

a) Ajuste del tamaño de ventana asociada a la estación receptora 4a al mínimo requerido para obtener un pico de correlación suficiente (ancho de banda de señal disponible multiplicado por tiempo de muestreo, o “producto BW\*t”).

b) Selección del tamaño de ventana asociada a la estación receptora 4b para que coincida con la precisión de la predicción de diferencia de distancia obtenida en la etapa 133.

25 El registro 112, la transmisión 114 y la correlación 120 de las secuencias de señales registradas durante la ventana 8<sub>4a</sub> y 8<sub>4b</sub> de registro tienen lugar entonces. La correlación 120 implica la detección de la posición del pico de correlación. La diferencia de distancia es la suma de la posición del pico de correlación y el desplazamiento de ventana (si lo hubiera), según se fija en la etapa 133.

30 La generación 135 de parámetros de rastreo de correlación puede tener lugar entonces. Una vez que se ha hallado la posición del pico, el tamaño de la ventana 8<sub>4b</sub> de registro puede reducirse para eliminar el sobregasto que no porta ningún contenido relevante para la correlación con la ventana 8<sub>4a</sub> de registro. El tamaño de la ventana 8<sub>4b</sub> de registro puede reducirse hasta el tamaño de la ventana 8<sub>4</sub>. Sin embargo, se prefiere mantener algún margen en el tamaño de la ventana 8<sub>4b</sub> de registro, para compensar el movimiento de la nave espacial o el satélite a lo largo del tiempo, hasta la inminente iteración de registro. La diferencia de distancia calculada en la etapa 120 proporciona un valor actualizado del parámetro “desplazamiento de ventana”. El tamaño calculado en la etapa 135 proporciona un valor actualizado del parámetro “desplazamiento de ventana”. Estos nuevos valores pueden usarse luego en la(s) próxima(s) iteración(es), bien sobre el mismo conjunto de datos, o bien sobre un segundo conjunto de datos registrados posteriormente (“rastreo”). El uso de valores de parámetros generados en la(s) próxima(s) iteración(es) se ilustra con la flecha que se origina en la parte inferior de la Fig. 3b, después del cuadro 135, y que conduce al cuadro 133.

35 El rastreo puede hacer uso de una medición previa, o de varias mediciones previas correspondientes a varias iteraciones.

40 La Fig. 4 ilustra una estación receptora 4 según una realización de la invención. La estación receptora 4 participa en la estimación de la posición de una nave espacial 6. Para hacerlo, coopera con una estación 2 de procesamiento. La estación receptora 4 incluye una antena 42 o una unidad 42 de antena, un primer receptor 44 o primera unidad receptora 44, un registrador 48 o unidad registradora 48, un transmisor 49 o unidad transmisora 49, y un segundo receptor 46 o segunda unidad receptora 46.

La antena 42 está configurada para recibir señales desde una nave espacial 6, cuya posición ha de estimarse. La antena 42 está conectada con un primer receptor 44 dispuesto para recibir las señales transmitidas desde la nave espacial 6 a través de la antena 42. Un segundo receptor 46 está dispuesto para recibir, desde una estación 2 de procesamiento, una indicación de hora de activación (correspondiente a un desplazamiento temporal) como una instrucción para el inicio de una ventana 8 de registro y / o una indicación de tamaño de ventana (correspondiente a una duración) como una instrucción para el tamaño de la ventana 8 de registro. El registrador 48 está dispuesto para registrar, durante una ventana 8 de registro iniciada según la indicación de hora de activación y / o la indicación de tamaño de ventana recibida desde la estación 2 de procesamiento, las señales transmitidas desde la nave espacial 6. El registrador 48 puede adaptarse para activar un convertidor de analógico a digital según la indicación de hora de activación recibida desde la estación 2 de procesamiento, en el momento indicado por la indicación de hora de activación, a fin de registrar la señal durante la ventana 8 de registro. La activación del convertidor de analógico a digital puede realizarse en base a una hora sincronizada proporcionada (sincronizada entre las estaciones receptoras 4).

El transmisor 49 está dispuesto para transmitir a la estación 2 de procesamiento datos que representan las señales registradas durante la ventana 8 de registro.

La Fig. 5 ilustra una estación 2 de procesamiento según una realización de la invención. La estación 2 de procesamiento participa en la estimación de la posición de una nave espacial 6. Para hacerlo, coopera con las estaciones receptoras 4. La estación 2 de procesamiento comprende un transmisor 22 o unidad transmisora 22, un receptor 24 o unidad receptora 24 y un correlacionador 26 o unidad correlacionadora 26. El transmisor está dispuesto para transmitir, a cada una entre una pluralidad de estaciones receptoras 24 dispuestas para recibir señales transmitidas desde la nave espacial 6, una indicación de hora de activación referida al inicio de una ventana 8 de registro, y / o una indicación de tamaño de ventana como una instrucción para el tamaño de la ventana 8 de registro. En otras palabras, la indicación de hora de activación es una instrucción a una estación receptora 4, para iniciar el registro de las señales recibidas desde la nave espacial 6. La indicación del tamaño de ventana es una instrucción a una estación receptora 4 para registrar las señales recibidas desde la nave espacial 6 durante el tamaño de la ventana. El tamaño de la ventana 8 de registro puede ser un valor por omisión establecido dentro de las estaciones receptoras 4 (por ejemplo, dentro de su unidad de memoria), o bien puede ser enviado por la estación 2 de procesamiento como una instrucción a las estaciones receptoras 4. El tamaño de la ventana de registro también puede adaptarse para tener en cuenta el conocimiento a priori de la posición de la nave espacial 6.

El receptor 24 está dispuesto para recibir, desde cada una entre la pluralidad de estaciones receptoras 4, datos que representan señales registradas transmitidas desde la nave espacial 6 durante la ventana 8 de registro. La ventana 8 de registro asociada a cada una de las estaciones receptoras 4 y está dispuesta para ser desplazada y / o ser de un tamaño distinto con respecto a las demás. El correlacionador 26 está dispuesto para correlacionar las señales registradas a fin de estimar la posición de la nave espacial 6. La estimación de la posición de la nave espacial es efectuada por el correlacionador 26 de acuerdo al procedimiento tridimensional anteriormente descrito de localización hiperbólica.

Se proporciona un calculador 28 de desplazamiento y / o tamaño, o unidad calculadora 28 de desplazamiento y / o tamaño, para calcular desplazamientos y / o tamaños de ventana asociados a las ventanas 8 de registro de cada una de las estaciones receptoras 4, en base a la posición de la nave espacial y / o a las diferencias en la distancia entre la nave espacial y la pluralidad de estaciones receptoras, calculadas usando la información obtenida del correlacionador 26.

Las ventajas adicionales proporcionadas por las realizaciones de la invención incluyen:

- No se requiere ninguna medición de retardo de ida y vuelta, y no hay ninguna necesidad de ninguna disposición dedicada de enlaces ascendentes de señales de cálculo de distancias;
- No se requiere ningún conocimiento de las condiciones del enlace ascendente (enlace desde las estaciones receptoras hasta la nave espacial 6) con respecto a la temporización, carga, ingreso en cola, acceso, etc.;
- No se requiere el sello temporal de las señales transmitidas, por parte de la unidad transmisora del satélite;
- No se requiere la descodificación ni la demodulación en las estaciones receptoras, reduciendo así los retardos introducidos por las estaciones receptoras 4 antes de asociar la secuencia registrada con información de temporización y de enviar las señales registradas a la estación 2 de procesamiento (la reducción de frecuencia y la conversión de analógico a digital (A / D), sin embargo, pueden llevarse a cabo).

Pasando ahora a la Fig. 6, se explicarán adicionalmente los problemas asociados al tamaño de la ventana 8 de registro. La Fig. 6 muestra los valores de las diferencias de distancia y la deriva en un sistema real (se ilustran muestras; esto explica el carácter intermitente de los datos). El sistema incluye cuatro estaciones receptoras 4 (indicadas en el presente documento como A, B, C y D) que registran y sellan temporalmente una señal común

difundida por un satélite geoestacionario.

El proceso de correlación usa ventanas de registro durante las cuales las estaciones receptoras 4 toman muestras de las señales entrantes. Es posible usar una única ventana común de registro para todas las estaciones receptoras y, por lo tanto, definir una hora común de inicio de registro y un tamaño (duración) común de registro. Sin embargo, el uso de una única ventana común de registro para un sistema basado en satélites genera restricciones de implementación debido a los tiempos de propagación de señales entre el satélite y la estación terrestre (la distancia de ida y vuelta es de aproximadamente 77.000 kilómetros, y el retardo de ida y vuelta es de aproximadamente 258 milisegundos). Las restricciones de implementación incluyen distintas derivas de frecuencia durante el tiempo de registro, causadas por el efecto Doppler (que causa una distorsión que debe ser paliada antes de la correlación), y una gran cantidad de datos muestreados a transmitir a una estación central de procesamiento. El uso de una única ventana común de registro, por lo tanto, es insatisfactorio.

Para la ilustración tanto del problema como de la solución propuesta por la invención, se presenta aquí un ejemplo numérico basado en datos reales recogidos:

- satélite situado en 19,2E sobre el arco geoestacionario;

- cuatro estaciones receptoras distribuidas en Europa en una línea base de 3.000 kilómetros (Luxemburgo, Estocolmo, Roma y Madrid) bajo un haz de satélites paneuropeos; y

- tiempo de observación de 48 horas.

En el ejemplo, una única ventana común de registro para todas las estaciones receptoras llevaría a aproximadamente 2.400 kilómetros, más un margen de seguridad del 10 por ciento, que requiere una ventana de registro de 9 milisegundos de largo. El uso de ventanas desplazadas para cada estación receptora permite reducir este tiempo de registro requerido para cada estación y, por ello, las influencias externas.

Con referencia a la Fig. 7A y 7b, se explicarán adicionalmente las ventanas desplazadas, y la ubicación y tamaño de las ventanas de registro. La Fig. 7a muestra el gráfico de la diferencia de distancia entre las estaciones receptoras B y C (en el ejemplo, un caso con alta variación diaria) durante 48 horas. La estimación de la diferencia promediada de distancias "Promedio (B-C)" determina el desplazamiento entre las ventanas de registro de las estaciones receptoras B y C. Dado que puede identificarse un patrón diario en un movimiento satelital (y en la ecuación B-C de diferencias de distancia), el tamaño de las ventanas de registro ha de determinarse a fin de cubrir la variación diaria de la ecuación alrededor de la posición promedio.

La Fig. 7b muestra las ventanas de registro para las estaciones receptoras B y C, el desplazamiento correspondiente a Promedio (B-C) y el tamaño de ventana. El tamaño de ventana se obtiene de:

**Tamaño de ventana = máx (Variación diaria, margen de estimación de posición) + margen de registro**

La variación diaria para este ejemplo es igual a 3,9 kilómetros. El margen de estimación de posición tiene que cubrir la posibilidad de que el satélite se mueva fuera de la predicción de variación diaria (p. ej., maniobras, órbitas distintas a la geoestacionaria). En este ejemplo, y para dos estaciones receptoras específicas (B y C), puede mostrarse geoméricamente que un satélite, moviéndose en una caja cúbica de 200 kilómetros sobre el arco geoestacionario, causa una diferencia máxima de distancia de 20 kilómetros entre las estaciones receptoras B y C. Ha de fijarse un margen adicional de registro de seguridad para garantizar un suficiente solapamiento de señal entre una parte común de la señal transmitida por satélite para ambas ventanas. El número mínimo de muestras para rechazar falsos picos de correlación se estima en 200 muestras (4 milisegundos a una frecuencia de muestreo de 50 MHz) para una señal de ancho de banda de 25 MHz. El tamaño de ventana es entonces:

$$\text{Tamaño de ventana [km]} = 20 + \{200 \text{ muestras} \cdot c\} / 1,2 \text{ km} = 21,2 \text{ km}$$

$$(f_s = 50 \text{ MHz})$$

Con referencia a la Fig. 8, se explicará adicionalmente el rastreo. El procedimiento según una realización de la invención incluye el proceso de rastrear cambios en la posición del satélite y en las diferencias de distancias para un par de estaciones receptoras, por ejemplo, las estaciones receptoras B y C. Para cada iteración de la correlación de las ventanas B y C de registro, el proceso de correlación emite un pico en un "desplazamiento temporal" específico, que se usa principalmente para calcular la ubicación del satélite. En segundo lugar, estos "desplazamientos temporales" son las entradas al sistema de rastreo que determina una predicción de la próxima posición y, por lo tanto, el próximo desplazamiento entre las ventanas de registro asociadas a las estaciones receptoras B y C.

La actualización del desplazamiento de la ventana, en cada iteración, maximiza la magnitud de la señal solapada entre ventanas de registro. Así, puede reducirse el tamaño de las ventanas de registro. Los diagramas de la Fig. 8 muestran,

con fines ilustrativos, la predicción más sencilla por una extrapolación de primer orden.

Finalmente, sin referencia directa a ningún dibujo, pueden explicarse adicionalmente las ventajas del rastreo, incluyendo especialmente la reducción del tamaño de la ventana de registro para sistemas en tiempo real, de la siguiente manera. La disponibilidad de una predicción fina a corto plazo de la diferencia de retardo, en base a mediciones pasadas, tiene la ventaja de que el tamaño de las ventanas de registro ya no tiene que cubrir un patrón diario y, por lo tanto, puede reducirse. Esta reducción optimiza la cantidad de datos a transmitir por la red a una estación central de procesamiento, para satisfacer las necesidades de un sistema en tiempo real.

La ventana de registro reducida tiene que poder rastrear variaciones de la ecuación de diferencias de distancia segundo a segundo. Por lo tanto, además del número mínimo (representado por el símbolo “#” en la ecuación a continuación) de muestras requeridas para evitar la ambigüedad de señales y correlaciones falsas (es decir, 200 muestras o 4 milisegundos a una frecuencia de muestreo de 50 MHz para una señal de ancho de banda de 25 MHz), el tamaño de la ventana de registro tiene que incluir un margen de error en la estimación de la nueva posición.

**Tamaño de ventana de registro = # muestras para evitar la ambigüedad (200) + Margen de error de estimación**

La equivalencia entre el error en la estimación de la nueva posición y el número de muestras adicionales requeridas para cubrirlo se calcula suponiendo una frecuencia ( $f_s$ ) de registro de 50 MHz y un error de estimación en el peor caso de 1 metro:

$$\text{Margen de error de estimación} = 2 \left[ \frac{\text{Estimación}_{\text{error}}}{c} \cdot fs \right] = 2 \text{ muestras}$$

**=> tamaño de ventana = 202 muestras = 1,21 Km**

Como se muestra a continuación en la Tabla 1, un sistema de rastreo según la invención puede reducir las influencias externas y las velocidades de datos en un factor de 2.000, en comparación con un sistema basado en una ventana única.

**Tabla 1: Prestaciones de las técnicas**

Aspecto / técnica	Ventana única	Ventanas desplazadas	Rastreo
Cobertura de señal a muestra...	Desplazamientos entre 3 ecuaciones	Variación diaria de 1 ecuación	Número mínimo de muestras para evitar ambigüedades en la señal
Tamaño de ventana	2.640 km	21,2 km	1,21 km
Velocidad de datos / segundo	440 kB / estación	3,5 kB / estación*	202 B / estación*
Velocidad de datos del sistema / segundo	1,76 MB	14 kB	808 B
Ganancia	1	~ 1 / 125	~ 1 / 2.000

Nota: “Tamaño de ventana”, “Velocidad de datos” y “Velocidad de datos del sistema” pueden obtenerse unos de otros suponiendo una frecuencia de muestreo de A / D de 8 bits y de 50 MHz.

\* La misma ventana de registro por estación receptora (p. ej., B) puede aplicarse en todas las ecuaciones (p. ej., A-B, B-C)

Allí donde se usa en el presente documento el término “unidad” (por ejemplo, en la unidad 42 de antena, primera unidad receptora 44, unidad registradora 48, unidad transmisora 49, segunda unidad receptora 46, unidad receptora 24, unidad correlacionadora 26, unidad calculadora 28 de desplazamiento y / o tamaño), no se fija ninguna restricción con respecto a cuán distribuidos pueden estar los elementos constituyentes de una unidad. Es decir, los elementos constituyentes de una unidad pueden distribuirse en distintos componentes o dispositivos de software o hardware para llevar a cabo la función concebida. Además, algunas de las unidades pueden reunirse entre sí para realizar sus funciones por medio de una unidad única combinada.

Las unidades anteriormente mencionadas pueden implementarse usando hardware, software, una combinación de hardware y software, ASIC (circuitos integrados específicos para la aplicación) preprogramados, etc. Una unidad puede

incluir una unidad procesadora de ordenador (CPU), una unidad de almacenamiento, unidades de entrada / salida (E / S), unidades de conexión de red, etc.

5 Aunque la presente invención ha sido descrita en base a ejemplos detallados, los ejemplos detallados sólo sirven para proporcionar a la persona experta una mejor comprensión, y no están concebidos para limitar el alcance de la invención. El alcance de la invención está mucho más definido por las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema para estimar una posición de nave espacial (6), que incluye una pluralidad de estaciones receptoras (4) dispuestas para recibir señales transmitidas desde la nave espacial (6); y una estación (2) de procesamiento dispuesta para recibir datos desde la pluralidad de estaciones receptoras (4);
- 5 **caracterizado porque**
- cada una de las estaciones receptoras (4) está dispuesta para registrar, durante una ventana temporal (8), mencionada en el presente documento como una ventana (8) de registro, las señales transmitidas desde la nave espacial (6) y para transmitir a la estación (2) de procesamiento datos que representan las señales registradas durante la ventana (8) de registro;
- 10 las ventanas (8) de registro asociadas a cada una de las estaciones receptoras (4) están dispuestas para desplazarse y / o tener tamaños distintos con respecto a las demás; y
- la estación (2) de procesamiento está dispuesta para correlacionar las señales registradas a fin de estimar, para cada uno de al menos un par entre la pluralidad de estaciones receptoras (4), la diferencia de distancia entre la nave espacial (6) y cada estación receptora (4) del par y, en base a ello, la posición de la nave espacial (6).
- 15 2. El sistema de la reivindicación 1, en el cual el desplazamiento entre las ventanas (8) de registro asociadas a dos estaciones receptoras (4) y / o el tamaño de cada una de las ventanas (8) de registro está dispuesto para ser calculado en base a información sobre la posición de la nave espacial (6) y / o al menos dicha diferencia de distancia, y la posición de las dos estaciones receptoras (4).
- 20 3. El sistema de la reivindicación 2, en el cual el desplazamiento y / o el tamaño está dispuesto para ser calculado por la estación (2) de procesamiento.
4. El sistema según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, para estimar y rastrear la posición de la nave espacial (6), en el cual el desplazamiento entre las ventanas (8) de registro asociadas a dos estaciones receptoras (4) y / o el tamaño de cada una de las ventanas (8) de registro está dispuesto para ser calculado en base a, o adicionalmente en base a, información sobre la posición de la nave espacial (6) y / o al menos dicha diferencia de distancia, según lo estimado por la estación (2) de procesamiento.
- 25 5. El sistema de la reivindicación 4, en el cual el desplazamiento y / o el tamaño está dispuesto para ser calculado entre una primera operación de registro y una segunda operación de registro, en base a la posición estimada de la nave espacial (6) y / o al menos dicha diferencia de distancia, obtenida de la primera operación de registro.
- 30 6. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual al menos una de las estaciones receptoras (4) está situada fuera de la huella del enlace descendente del lóbulo principal de la nave espacial (6).
7. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual cada ventana (8) de registro tiene un tamaño comprendido entre 4 microsegundos y 2 milisegundos.
- 35 8. Un procedimiento para estimar una posición de nave espacial (6) usando una pluralidad de estaciones receptoras (4) dispuestas para recibir señales transmitidas desde la nave espacial (6) y una estación (2) de procesamiento dispuesta para recibir datos desde la pluralidad de estaciones receptoras (4), estando el procedimiento **caracterizado porque** incluye
- un procedimiento (110) de registro y transmisión que incluye el registro (112), por parte de cada una de las estaciones receptoras (4), durante una ventana temporal (8), mencionada en el presente documento como una ventana (8) de registro, de las señales transmitidas desde la nave espacial (6), y la transmisión (114), por parte de cada una de las
- 40 estaciones receptoras (4), a la estación (2) de procesamiento, de datos que representan las señales registradas durante la ventana (8) de registro;
- en el cual las ventanas (8) de registro asociadas a cada una de las estaciones receptoras (4) están desplazadas y / o tienen tamaños distintos con respecto a las demás; y
- un procedimiento (120) de correlación que incluye la correlación, por parte de la estación (2) de procesamiento, de las
- 45 señales registradas, para estimar, para cada uno de al menos un par entre la pluralidad de estaciones receptoras (4), la diferencia de distancia entre la nave espacial (6) y cada estación receptora (4) del par y, en base a ello, la posición (6) de la nave espacial.
9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el cual el desplazamiento entre las ventanas (8) de registro asociadas a

dos estaciones receptoras (4) y / o el tamaño de cada una de las ventanas (8) de registro se calcula en base a información sobre la posición de la nave espacial (6) y / o al menos dicha diferencia de distancia, y la posición de las dos estaciones receptoras (4).

5 10. El procedimiento de la reivindicación 9, en el cual el desplazamiento y / o el tamaño es calculado por la estación (2) de procesamiento.

10 11. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, para estimar y rastrear la posición de la nave espacial (6), en el cual el desplazamiento entre las ventanas (8) de registro asociadas a dos estaciones receptoras (4) y / o el tamaño de cada una de las ventanas (8) de registro se calcula en base a, o adicionalmente en base a, información sobre la posición de la nave espacial (6) y / o al menos dicha diferencia de distancia, según lo estimado por la estación (2) de procesamiento.

12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el cual el desplazamiento y / o el tamaño se calcula entre una primera operación de registro y una segunda operación de registro, en base a la posición estimada de la nave espacial (6) y / o al menos dicha diferencia de distancia, obtenida de la primera operación de registro.

15 13. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el cual al menos una de las estaciones receptoras (4) está situada fuera de la huella del enlace descendente del lóbulo principal de la nave espacial (6).

14. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en el cual cada ventana (8) de registro tiene un tamaño comprendido entre 4 microsegundos y 2 milisegundos.

15. Una estación receptora (4) para participar en la estimación de una posición de nave espacial (6), que comprende un primer receptor (44) dispuesto para recibir señales transmitidas desde la nave espacial (6);

20 **caracterizada porque** la estación receptora (4) incluye adicionalmente:

un segundo receptor (46) dispuesto para recibir, desde una estación (2) de procesamiento, una indicación de hora de activación, como una instrucción para el inicio de una ventana temporal (8), y / o una indicación de tamaño de ventana, como una instrucción para el tamaño de la ventana temporal (8);

25 un registrador (48) dispuesto para registrar, durante una ventana temporal (8) iniciada según la indicación recibida de hora de activación, y / o una indicación de tamaño de ventana, las señales transmitidas desde la nave espacial (6), denominándose en el presente documento la ventana temporal (8) ventana (8) de registro; y

un transmisor (49) dispuesto para transmitir a la estación (2) de procesamiento datos que representan las señales registradas durante la ventana (8) de registro.

30 16. La estación receptora (4) de la reivindicación 15, situada fuera de la huella del enlace descendente del lóbulo principal de la nave espacial (6).

17. Una estación (2) de procesamiento para participar en la estimación de la posición de una nave espacial (6), **caracterizada porque** la estación (2) de procesamiento comprende

35 un transmisor (22) dispuesto para transmitir a cada una entre una pluralidad de estaciones receptoras (4), dispuestas para recibir señales transmitidas desde la nave espacial (6), una indicación de hora de activación referida al inicio de una ventana temporal (8), denominada en el presente documento ventana (8) de registro, y / o una indicación de tamaño de ventana, como una instrucción para el tamaño de la ventana (8) de registro;

un receptor (24) dispuesto para recibir, desde cada una entre la pluralidad de estaciones receptoras (4), datos que representan señales registradas transmitidas desde la nave espacial (6) durante la ventana (8) de registro;

40 en la que las ventanas (8) de registro asociadas a cada una de las estaciones receptoras (4) están dispuestas para ser desplazadas y / o tener tamaño distinto con respecto a las demás; y

un correlacionador (26) dispuesto para correlacionar las señales registradas a fin de estimar, para cada uno de al menos un par entre la pluralidad de estaciones receptoras (4), la diferencia de distancia entre la nave espacial (6) y cada estación receptora (4) del par y, en base a ello, la posición de la nave espacial (6).

45 18. La estación (2) de procesamiento de la reivindicación 17, en la cual el desplazamiento entre las ventanas (8) de registro asociadas a dos estaciones receptoras (4) y / o el tamaño de cada una de las ventanas (8) de registro está dispuesto para ser calculado por la estación (2) de procesamiento, en base a

información sobre la posición de la nave espacial (6) y / o al menos una diferencia de distancia, y la posición de las dos estaciones receptoras (4).

5 19. La estación (2) de procesamiento de la reivindicación 17 o 18, para estimar y rastrear la posición de la nave espacial (6), en la cual el desplazamiento de las ventanas (8) de registro asociadas a dos estaciones receptoras (4) y / o el tamaño de cada una de las ventanas (8) de registro está dispuesto para ser calculado por la estación (2) de procesamiento, en base a, o adicionalmente en base a, información sobre la posición de la nave espacial (6) y / o al menos dicha diferencia de distancia, según lo estimado por la estación (2) de procesamiento.

10 20. La estación (2) de procesamiento de la reivindicación 19, en el cual el desplazamiento y / o el tamaño está dispuesto para ser calculado entre una primera operación de registro y una segunda operación de registro, en base a la posición estimada de la nave espacial (6) y / o al menos dicha diferencia de distancia, obtenida de la primera operación de registro.

21. La estación (2) de procesamiento de una cualquiera de las reivindicaciones 17 a 20, en la cual cada ventana (8) de registro tiene un tamaño comprendido entre 4 microsegundos y 2 milisegundos.

15 22. Un programa de ordenador configurado, cuando es ejecutado en una estación receptora (4) o en una estación (2) de procesamiento, para llevar a cabo, respectivamente, los procedimientos específicos de estaciones receptoras, o los procedimientos específicos de la estación de procesamiento del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14.

20

25

30

35

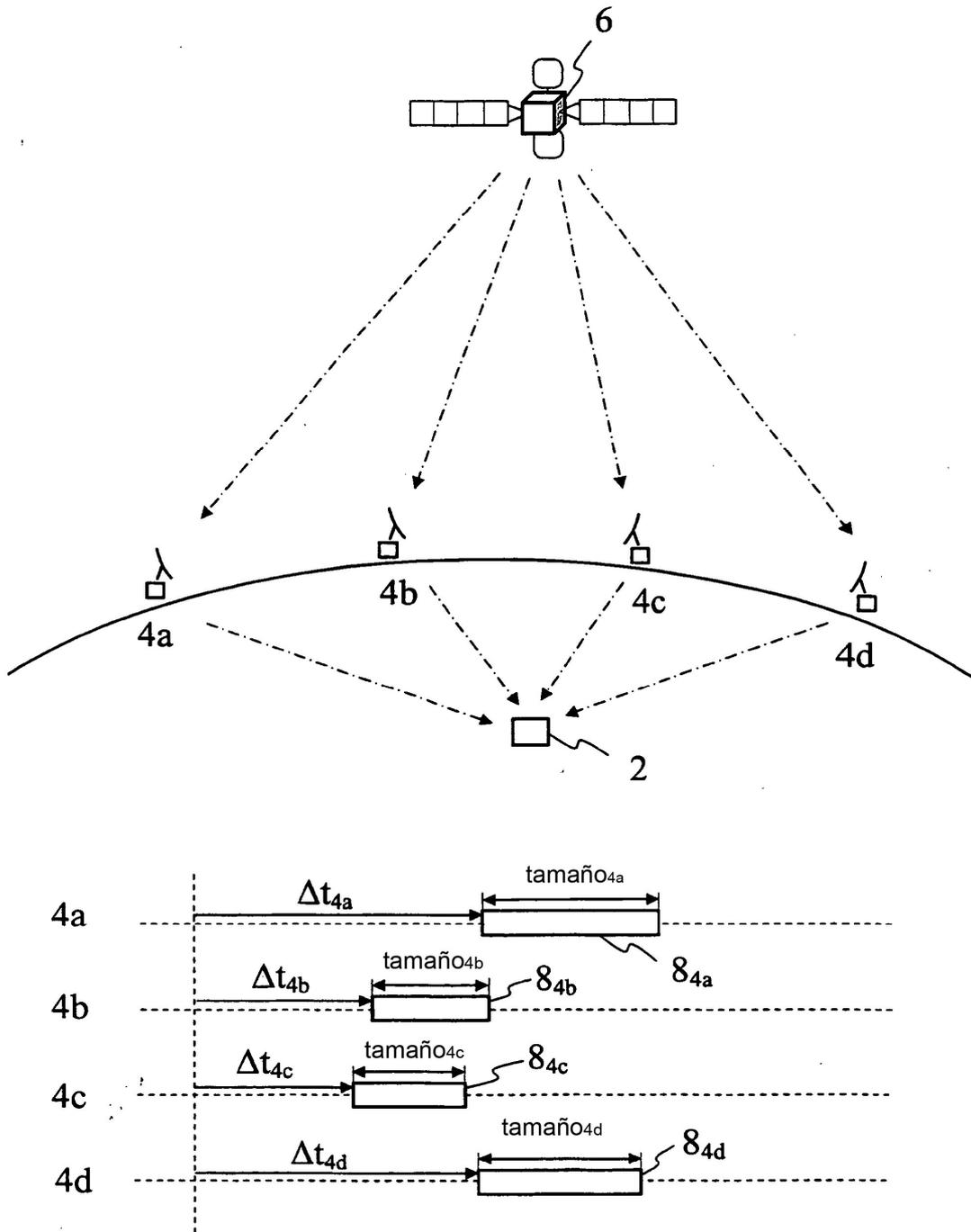


Fig. 1

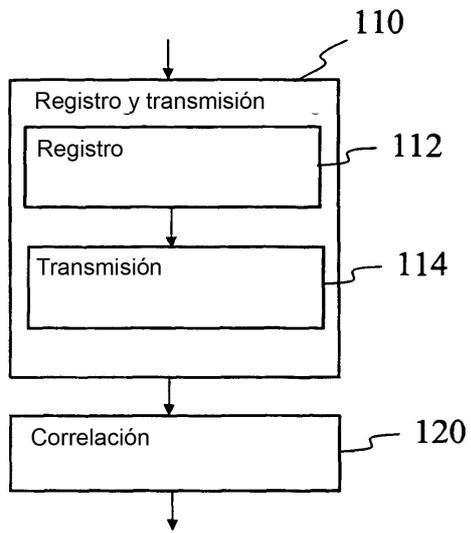


Fig. 2

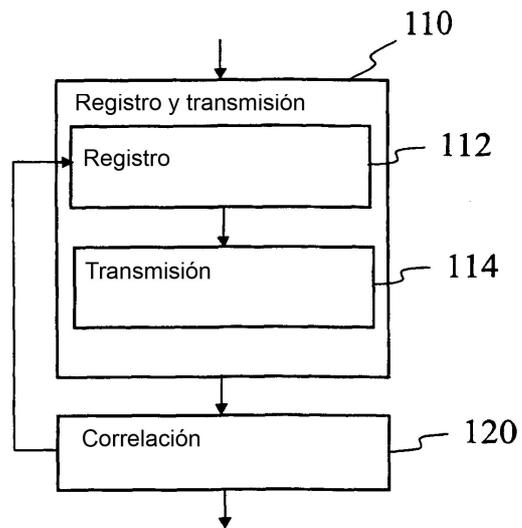


Fig. 3a

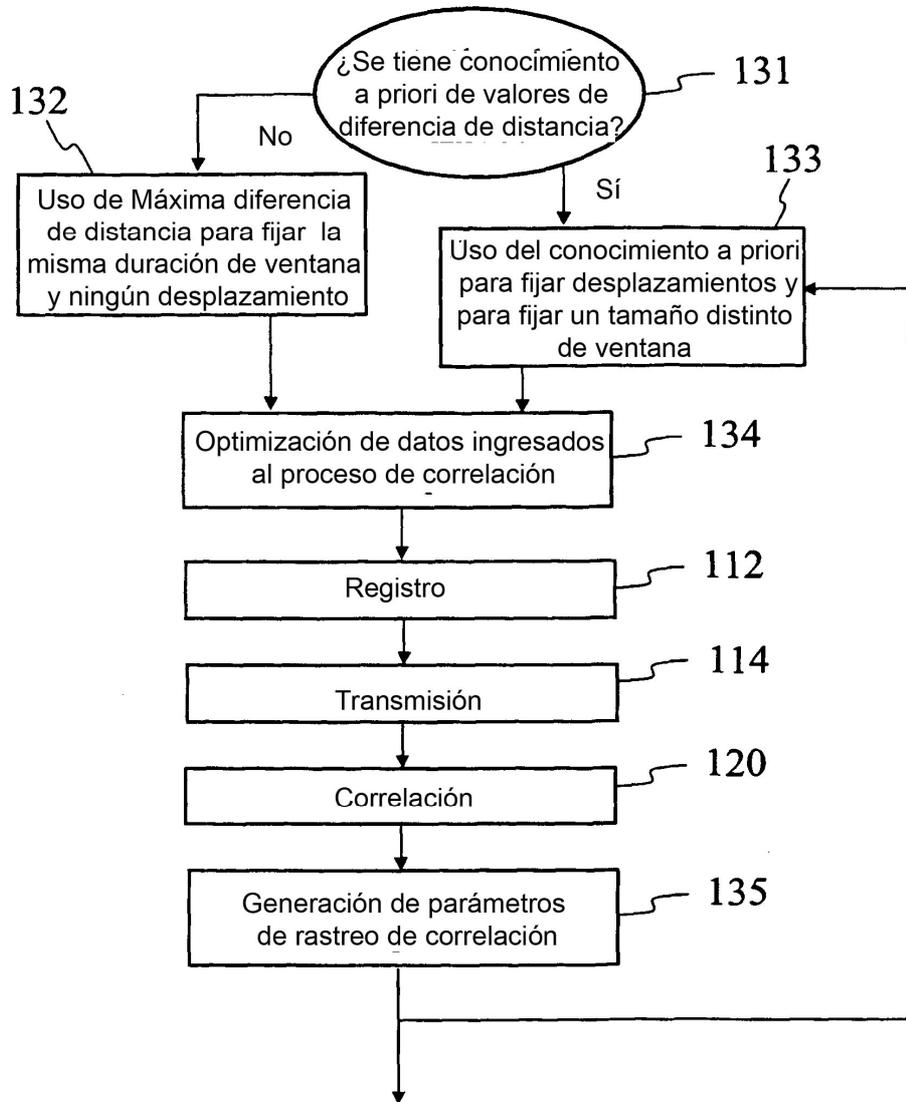


Fig. 3b

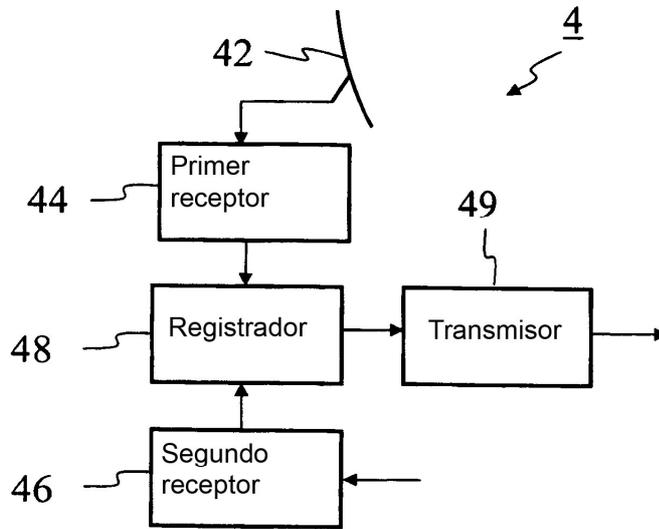


Fig. 4

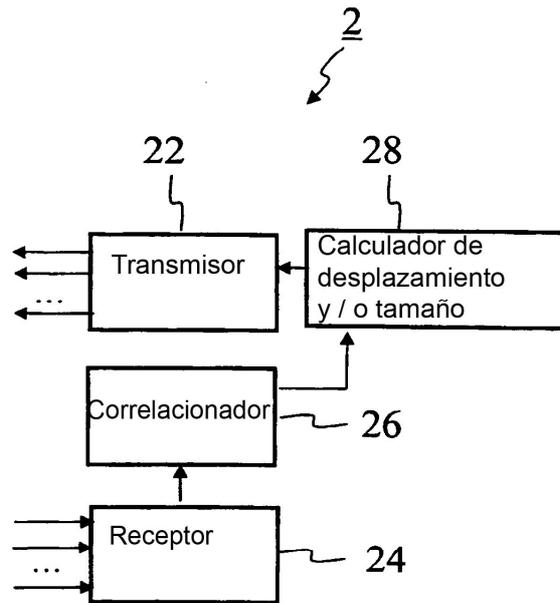


Fig. 5

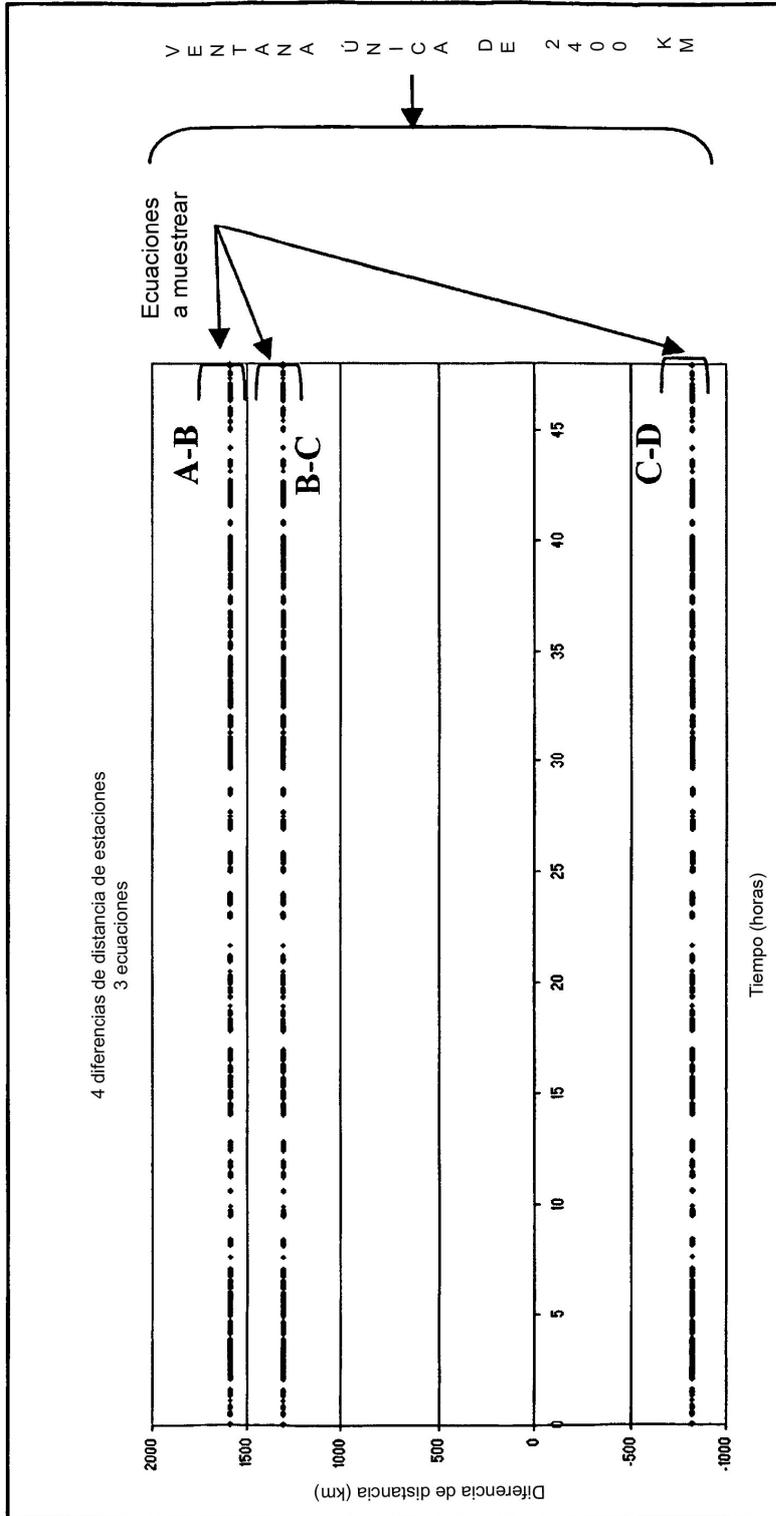
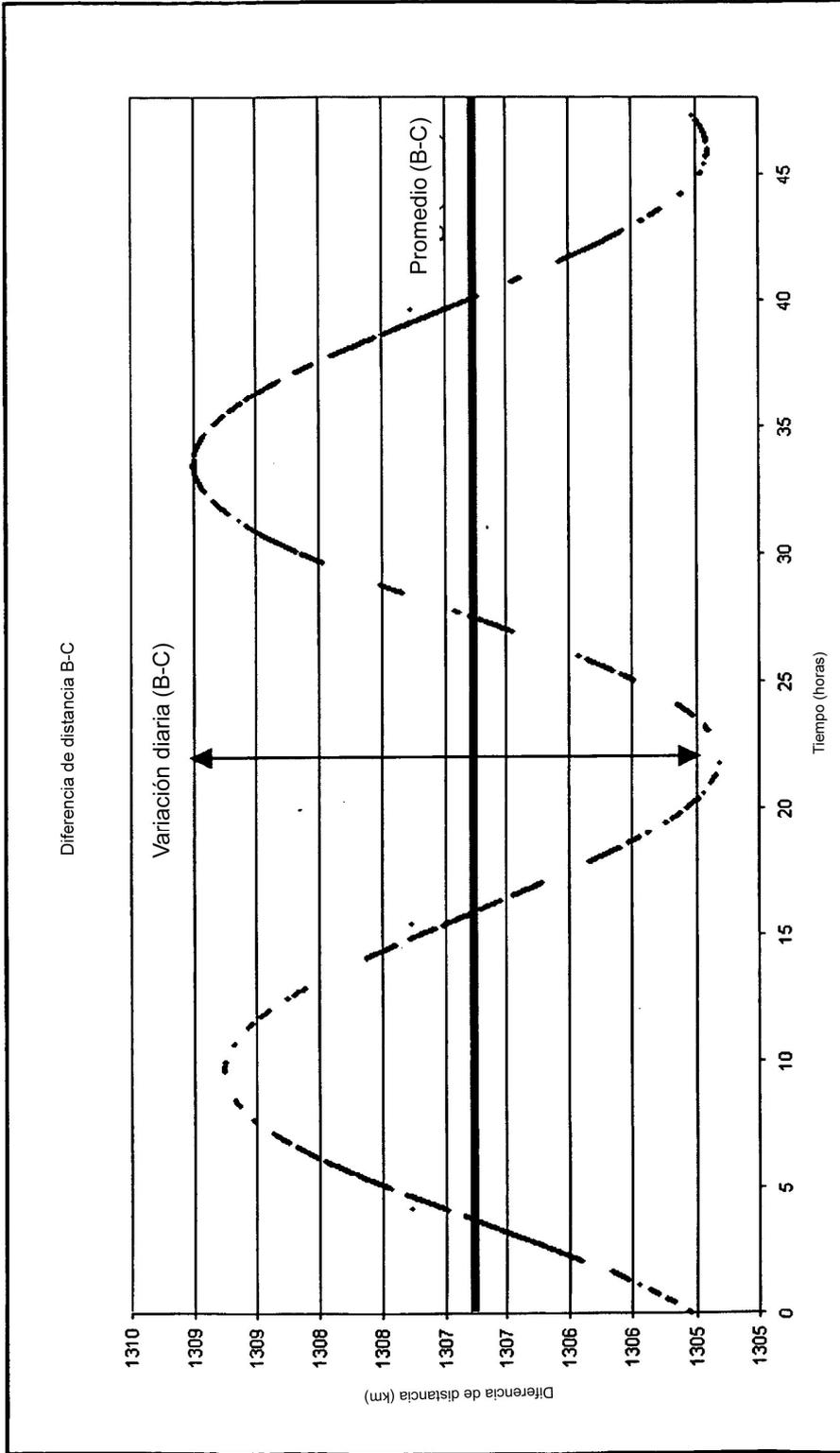


Fig. 6

Gráfico de diferencias de distancias de 4 estaciones durante 48 horas



**Fig. 7a**  
Gráfico de diferencia de distancia B-C durante 48 horas

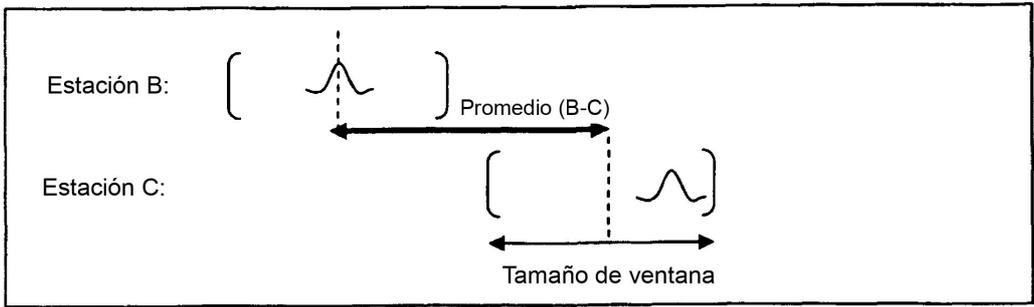


Fig. 7b

Correlación:

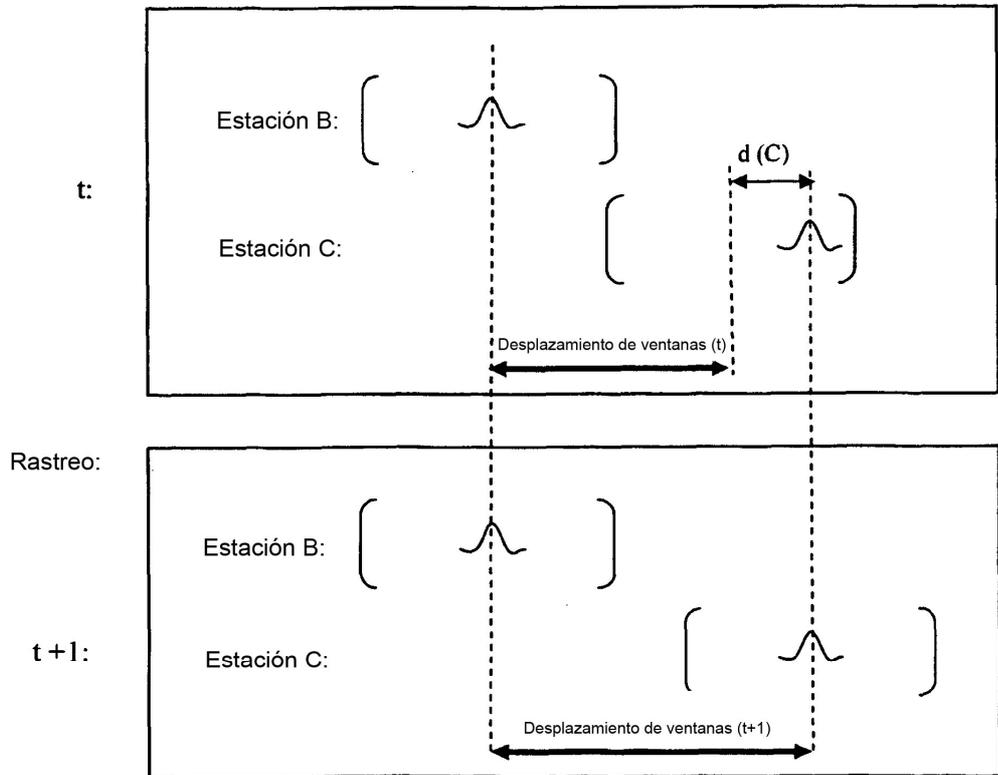


Fig. 8