

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 853 199**

51 Int. Cl.:

G01S 19/22

(2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.08.2017** **E 17184536 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.11.2020** **EP 3438700**

54 Título: **Método para operar un receptor GNSS, con desección de señal GNSS**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
15.09.2021

73 Titular/es:

**THALES MANAGEMENT & SERVICES
DEUTSCHLAND GMBH (100.0%)
Thalesplatz 1
71254 Ditzingen, DE**

72 Inventor/es:

**SCHÜTTPELZ, ANDRÉ y
KÄLBERER, ULRICH**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 853 199 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

Método para operar un receptor GNSS, con desección de señal GNSS

La invención se relaciona con un método para operar un receptor GNSS (= Sistema satélite de navegación global), en donde para una determinación de la posición, el receptor GNSS recibe de una multitud de satélites una señal de código GNSS respectiva, y en donde para cada señal de un satélite, la señal de código GNSS recibida se correlaciona con una señal de código de referencia generada por el receptor GNSS para obtener una función de autocorrelación, en donde se analizan y usan una multitud de valores de función de la función de autocorrelación a diferentes espaciados discretos de chips en la obtención de una métrica de prueba.

Dicho método es conocido del documento EP 2 793 050 B1.

Los receptores GNSS (=Sistema satélite de navegación global) se usan para determinar la posición de, por ejemplo, vehículos en movimiento tales como un avión o un barco. Un cierto número de satélites que orbitan en el espacio envían de manera regular señales de código GNSS, que son correlacionadas con señales de referencia (también denominadas señales de réplica) para determinar un retardo de tiempo entre la transmisión y la llegada en el receptor GNSS. Estos retardos de tiempo se pueden usar para determinar las distancias a los respectivos satélites, que se mueven en trayectorias conocidas, de manera que se puede calcular la información de posición (tal como la longitud, latitud y altura geográfica).

Idealmente, la única ruta de señal de las señales de código GNSS es directamente desde el satélite al receptor GNSS. Sin embargo, en la práctica, la misma señal GNSS desde un satélite puede llegar múltiples veces al receptor GNSS, ya que se pueden producir reflexiones de la señal, por ejemplo, en los edificios o en el suelo. Los trayectos de las señales indirectas son más largas que el trayecto de la señal directa. En el receptor, se obtiene una superposición de la señal directa y las señales indirectas, lo que hace más difícil la determinación del retardo de tiempo de la señal directa.

Para determinar el retardo de tiempo de la señal de código GNSS recibida (superposición) y una señal de referencia, se calcula una función de autocorrelación para los diferentes espaciados de chips (desplazamientos de tiempo). Si la señal indirecta es de lejos la señal más fuerte, entonces el espaciado de chip del máximo de la función de autocorrelación puede ser tomado como el espaciado de chip puntual (sin retraso). Sin embargo, las componentes de la señal multitrayecto pueden desplazar el máximo de la función de autocorrelación con respecto al espaciado de chip puntual, lo que puede resultar en errores en la determinación de la posición.

El documento EP 2 793 050 B1 propone obtener en un método de procesamiento de señal GNSS valores de autocorrelación para una primera y una segunda señal de réplica temprana, y una primera y segunda señal de réplica tardía, y calcular un valor diferencial ΔCV_{EL} temprana tardía a partir de un primer valor de correlación CV_L tardía y un primer valor de correlación CV_E temprana. Además se calculan una señal diferencial ΔCV_E temprana y una señal diferencial ΔCV_L tardía. Después se calcula un valor de detección de error usando ΔCV_{EL} y también ΔCV_L y ΔCV_E . Dependiendo de la comparación de ΔCV_E , ΔCV_L y ΔCV_{EL} con algunos umbrales, se aplican diferentes métodos para calcular el valor de detección de error. El valor de detección de error se usa para controlar una fase de código de la señal de réplica inmediata.

Por consiguiente, el procedimiento del documento EP 2 793 050 B1 está destinado a aumentar la fiabilidad de la determinación de la señal de réplica inmediata "verdadera" cuando hay presentes considerables componentes de la señal multitrayecto en una señal de código GNSS recibida.

En caso de una aplicación GBAS aeronáutica, se ha propuesto tener en cuenta los efectos locales mediante una monitorización de sigma-media en base a la determinación de la varianza media y estimaciones de media de los indicadores (valores B) de calidad de PRC (=corrección de pseudo rango). Este proceso necesita mucho tiempo para recopilar suficientes muestras para construir las estimaciones estadísticas. Esto puede ser apoyado por métodos de integración / CUSUM (=suma acumulativa), pero aún es un proceso bastante lento (compare la referencia "LAAS Sigma-Mean Monitor Analysis and Failure-Test Verification". Jiyun Lee, San Pullen, Gang Xie, y Per Enge. Universidad de Stanford, Transacciones IEEE en Sistemas Aeroespaciales y Electrónicos, Abril 2006, Volumen: 42, Tema:2).

En las aplicaciones de posicionamiento de VB(=baliza virtual) de trenes, se propone una doble diferenciación de fase de código para dos receptores GPS y dos satélites (compare la referencia A. Neri, P. Enge et al., A METHOD FOR MULTIPATH DETECTION AND MITIGATION IN RAILWAY CONTROL APPLICATIONS, actas de la 29ª Reunión Técnica Internacional del Satélite ION, División, ION GNSS+ 2016, Portland, Oregon, Septiembre 12-16, 2016). El algoritmo puede detectar multitrayectos NLOS (=no línea de visión), sin embargo sólo se detectan las diferencias de los multitrayectos entre los dos receptores. El multitrayecto correlacionado no se detectará.

El documento US 2006/0140254 A1 se refiere a la detección y eliminación de señales multitrayecto en un receptor GNSS/CDMA y describe las características del preámbulo de la reivindicación 1.

Objetivo de la invención

Es el objetivo de la presente invención proporcionar un método simple para operar un receptor GNSS, que minimice los errores en la determinación de la posición provocados por las componentes de la señal multitrayecto.

Breve descripción de la invención

Este objetivo se consigue, de acuerdo con la invención y la reivindicación 1 mediante un método conocido a partir de la técnica anterior y caracterizado además en que durante el análisis de la multitud de valores de función de la función de autocorrelación, se realiza una eliminación de sesgo, eliminando los valores de función correspondientes de una función de autocorrelación que resultaría a partir de una señal de código GNSS recibida del satélite no afectado por las componentes de la señal multitrayecto, y que la multitud de valores de función contribuye a la métrica de prueba en un orden superior que el primer orden.

Según la presente invención, las señales de código GNSS que son afectadas por demasiadas componentes de la señal multitrayecto se excluyen de la determinación de la posición. De este modo, se reducen de manera significativa los errores en la determinación de la posición. En general, un receptor GNSS tiene contacto con más satélites de los necesarios para la determinación de la posición. En general, son necesarios cuatro satélites para la determinación de la posición (tres para las coordenadas de espacio, y uno para la sincronización de reloj), pero normalmente tienen contacto con el receptor seis o más, y a menudo ocho o más satélites. Por lo tanto, la exclusión de algunas señales de código GNSS de los satélites disponibles, la mayor parte de las veces no obstaculizará la determinación de la posición. Por otro lado, incluir una señal de código GNSS con significativas componentes de la señal multitrayecto puede distorsionar gravemente la determinación de la posición.

Para decidir si una señal GNSS puede ser usada para la determinación de la posición o no, se obtiene (o calcula) una métrica (o "monitor") de prueba, que está basada en valores de función de la función autocorrelación. La métrica de prueba mide básicamente las desviaciones de la función de autocorrelación por medio de los valores de función en los espaciados de chip elegidos en comparación con una función de autocorrelación libre de errores de multitrayecto. Para aumentar el valor informativo de la métrica de prueba, la invención aplica lo siguiente:

Los valores de función se eligen de manera asimétrica con respecto al espaciado de chip puntual. Los inventores encontraron que esto lleva a una detección más fiable de las componentes de la señal multitrayecto. Normalmente, la asimetría elegida aplica a tanto el número de valores funcionales en ambos lados del espaciado de chip puntual, como a los intervalos de espaciado de chip cubiertos en ambos lados del espaciado de chip puntual. Observe que el espaciado de chip puntual se puede suponer como el máximo de la función de autocorrelación para este propósito; su localización se determina normalmente con un discriminador temprano menos tardío cuyo cruce por cero de la curva S se puede usar para determinar el espaciado de chip puntual. En la práctica, las componentes de la señal multitrayecto llevan a distorsiones asimétricas de la función de autocorrelación; este comportamiento se puede capturar e investigar mejor con valores funcionales elegidos de manera asimétrica. Observe que la función de autocorrelación se obtiene (calcula) normalmente sólo para un número limitado de espaciados de chip discretos (posiciones de chips).

Además, se realiza una eliminación de sesgo sobre los valores de función, restando los valores correspondientes de una función de autocorrelación que resultaría de una señal de código GNSS sin distorsión ("sólo directa"). Esto reduce o evita las contribuciones a la métrica de prueba resultantes de la elección asimétrica de los valores funcionales como tales, y puede reducir el ruido en la métrica de prueba de manera significativa. Normalmente, se hace una eliminación de un "sesgo nominal". El sesgo nominal corresponde a una desviación de una función de autocorrelación real para una señal GNSS recibida no afectada por las componentes de la señal de multitrayecto, en comparación con una función de autocorrelación ideal (triangular). El sesgo nominal está compuesto normalmente de las propiedades de correlacionador inherentes del receptor y retardos de hardware, así como una componente específica de satélite. Es en general constante durante largos periodos de tiempo y puede estar bien configurado como valor de calibración o determinado de manera automática a partir de periodos de operación sin fallos. El sesgo nominal puede ocultar (es decir, impedir la detección de) las componentes de la señal de multitrayecto, y tenerla en cuenta (en concreto restándola) a su vez facilita la detección de las componentes de la señal de multitrayecto en consecuencia. Se debería observar que es posible también usar una función de autocorrelación real para una señal GNSS recibida no afectada por las componentes de la señal multitrayecto de manera directa como un sesgo a ser restado de la función de autocorrelación obtenida con la señal de código GNSS recibida que (posiblemente) contenga las componentes de la señal multitrayecto. Normalmente se hace una normalización en este paso, también. En general, la función de autocorrelación que resultaría a partir de una señal de código GNSS del satélite no afectado por las componentes de la señal multitrayecto se registra o simula de manera experimental por adelantado.

Finalmente, la multitud de valores contribuye a la métrica de prueba en un orden mayor que el primer orden. La métrica (o monitor) de prueba como una función de la cantidad de "error" contenido resulta más pronunciada en comparación con una métrica lineal. Esto hace que sea mucho más fácil detectar y cuantificar las componentes de la señal multitrayecto, y mucho menos probable la detección errónea de las componentes de la señal multitrayecto.

La señal de código GNSS es normalmente un código de difusión (que se establece de manera individual para cada satélite) y código modulado en una onda portadora que tiene una frecuencia predeterminada.

La determinación de la posición de acuerdo con la invención puede comprender la determinación de las coordenadas espaciales, en concreto las tres coordenadas espaciales (tales como la longitud, latitud y altura geográficas por encima de una elipsoide de referencia) del receptor GNSS a partir de las señales de código GNSS adecuadas, o puede comprender la determinación de los datos de corrección (tales como el error de reloj o los errores diferenciales de rango), que contienen una información de posición sobre el receptor GNSS obtenida a partir de las señales de código GNSS, y que se proporciona a otros receptores GNSS.

La determinación de la posición es "instantánea", y normalmente se repite de manera consecutiva, de manera que se puede actualizar una información de posición de manera casi continua. La información de posición como tal se puede derivar a partir del tiempo de propagación de las señales de código GNSS recibidas (es decir, los desplazamientos de las señales de código GNSS recibidas con respecto a las señales de referencia correspondientes, lo que indica una distancia del receptor GNSS al satélite respectivo).

Una señal de código GNSS se puede considerar adecuada para la determinación de la posición si está suficientemente libre de errores (corrupción) debido a las componentes de la señal multitrayecto, en concreto de manera que el tiempo de propagación se pueda determinar con una buena precisión y fiabilidad.

El receptor GNSS comprende una antena y un sensor. El receptor GNSS se instala normalmente en un vehículo (tal como un tren o un avión), pero puede ser estacionario también, o puede ser transportado por una persona.

Variantes preferidas de la invención

En una variante preferida del método inventivo, se escoge el espaciado de chip puntual en el máximo de la función de autocorrelación. Esto es particularmente simple. Los errores de determinación de la posición debido al espaciado de chip puntual erróneo son poco probables ya que se han excluido las señales de código GNSS fuertemente afectadas por las componentes de la señal de multitrayecto (las cuales podrían desplazar el espaciado de chip puntual con respecto al máximo).

En una variante ventajosa, los espaciados de chip de la multitud de valores de función de la función de autocorrelación se eligen de manera predominante, preferible, completa, en el lado tardío con respecto al espaciado de chip puntual. Esto ha demostrado una detección particularmente fiable de las componentes de la señal de multitrayecto. Los trayectos de señal que incluyen una reflexión son mayores que el trayecto directo de la señal, y por lo tanto aparecerán en el lado tardío. Con esta variante, se cubrirá mejor esta asimetría en la función autocorrelación.

Se prefiere además una variante en donde al menos 3, preferiblemente 6, más preferiblemente al menos 8, valores funcionales contribuyen a la métrica de prueba. Esto aumenta la fiabilidad de la detección de las componentes de la señal multitrayecto.

En una variante ventajosa, durante el análisis de los valores funcionales, se calculan las diferencias de par de los valores funcionales con sucesivos espaciados de chip, y estas diferencias se usan para calcular la métrica de prueba. Se ha encontrado que esto reduce el ruido de señal en la métrica de prueba en muchas situaciones. La eliminación de sesgo se puede hacer en los valores funcionales antes de calcular la diferencia, o se puede hacer sobre las diferencias. De manera alternativa, los valores funcionales en sí (después de la eliminación de sesgo) se pueden usar de manera directa para calcular la métrica de prueba.

Se prefiere además una variante en la que la eliminación de sesgo abarca una normalización y/o escalado de varianza. Esto puede reducir el ruido y hace la contribución de los diversos valores de función comparables.

Se prefiere de manera particular una variante en la que los valores funcionales contribuyen a la métrica de prueba en un segundo o superior orden, en concreto en donde los valores funcionales contribuyen a la métrica de prueba de manera exponencial. Esto hace a las componentes de la señal de multitrayecto incluso más fáciles de detectar. Es posible también que los valores funcionales contribuyan en tercer orden (cúbico), o cuarto orden, o incluso mayores. Por ejemplo la métrica de prueba se puede calcular como un valor cuadrático medio. Se prefieren órdenes pares. En general, y en concreto en el caso de órdenes impares, se deberían calcular los valores absolutos de las contribuciones a la métrica de prueba.

Una variante particularmente ventajosa proporciona que en dicha decisión se usa la métrica de prueba de manera que en el caso de que la métrica de prueba sea mayor que un valor crítico, la señal de código GNSS recibida no se considera adecuada para la determinación de la posición. Este es un procedimiento particularmente simple, si es necesario, se puede generar un valor absoluto antes de hacer la comparación con el valor crítico. De manera alternativa, se puede definir un rango o rangos de valores para la métrica de prueba, y no se considera una señal de código GNSS recibida adecuada para la determinación de la posición si su métrica de prueba está fuera de dicho rango o rangos ("permitidos").

Se prefiere además una variante que se caracteriza por que las determinaciones de la posición se hacen de manera repetida, esas ondas portadoras que transportan las señales de código GNSS se someten a un filtrado paso bajo, y en caso de que se haya encontrado una señal de código GNSS recibida de un satélite no adecuada para la

determinación de la posición usando la métrica de prueba, se considerarán un número de señales de código GNSS recibidas posteriores del mismo satélite como no adecuadas para la determinación de la posición tampoco, independientemente de las métricas de pruebas obtenidas para estas señales de código GNSS posteriores. El filtrado paso bajo de la onda portadora reduce el ruido. En esta variante, la métrica de prueba no se filtra paso bajo o no se filtra paso bajo con una constante de tiempo menor que la constante de tiempo del filtrado paso bajo de la onda portadora, lo que resulta en una métrica de prueba “no coherente”. La corrupción multitrayecto detectada afecta a la determinación de la posición con retardo, y el bloqueo del número de señales de código GNSS posteriores evita la entrada de la corrupción multitrayecto en la determinación de la posición. El número de señales de código GNSS posteriores recibidas depende de la constante de tiempo del filtrado (o suavizado) paso bajo de la onda portadora (o de la diferencia de las constantes de tiempo, en el caso de que la métrica de prueba se filtre también paso bajo). Observe que en cada repetición de la determinación de posición, se usan señales de código GNSS recibidas nuevamente.

Otra variante se caracteriza por que las determinaciones de la posición se hacen de manera repetida, las ondas portadoras que transportan las señales de código GNSS se someten a un filtrado paso bajo, y por que dicho filtrado paso bajo se reproduce en la métrica de prueba. El filtrado paso bajo de la onda portadora reduce el ruido. El filtrado paso bajo de la onda portadora y el filtrado paso bajo reproducido de la métrica de prueba tienen básicamente las mismas propiedades de señal en términos de densidad espectral y comportamiento temporal. El filtro paso bajo aplicado a la métrica de prueba no será en muchos casos idéntico al filtro paso bajo usado en el procesamiento de la señal de código GNSS en el procesamiento del receptor para la determinación de la posición. En esta situación, el filtro paso bajo aplicado a la métrica de prueba modela las características de señal relevantes del filtro aplicado al procesamiento de la señal de código GNSS. Por tanto, se puede obtener una métrica de prueba “coherente”, a pesar de la llegada retrasada de la corrupción multitrayecto en la determinación de la posición.

Una variante altamente preferida permite que se operen de manera simultánea un número N de receptores GNSS, con $N \geq 2$, en donde los diferentes receptores GNSS reciben señales de código GNSS de un número J de satélites, con $J \geq 2$, y que la decisión de si una señal de código GNSS concreta de un satélite concreto recibida en un receptor GNSS concreto es adecuada para una determinación de la posición o no es adecuada para una determinación de la posición debido a que las componentes de la señal de multitrayecto no sólo dependen de la métrica de prueba de esta señal de código GNSS concreta, sino que dependen también de las métricas de prueba de las señales de código GNSS recibidas por los otros receptores GNSS y/o desde los otros satélites. Operando múltiples receptores GNSS, se puede mejorar en precisión la determinación de la posición. Se pueden reducir errores no comunes en los diferentes receptores GNSS, por ejemplo promediando la señal de información obtenida. Al menos algunas de las señales de código GNSS recibidas en los N receptores GNSS diferentes son originadas en los mismos J satélites. Analizando otras métricas de prueba distintas de la señal de código GNSS concreta, se pueden encontrar defectos en los receptores o los satélites que corrompen la determinación de la posición. En esta variante, además de un control directo de la métrica de prueba de una señal de código GNSS concreta, al menos se aplica un discriminador adicional para encontrar si la señal de código GNSS concreta puede estar corrupta (debido a las componentes de la señal de multitrayecto u otras causas). Esto aumenta la precisión y fiabilidad de la determinación de la posición. En general, se aplica el discriminador adicional a todas las señales de código GNSS recibidas. Normalmente, $J \geq 4$ y $N \geq 4$. Son de particular importancia las métricas de prueba de las señales de código GNSS recibidas por los otros receptores GNSS y/o desde los otros satélites que exceden un umbral, lo que indica un error de multitrayecto; estas se usan (analizan) de manera preferente en esta variante.

En un desarrollo adicional de esta variante, en el caso de que la covarianza de las métricas de prueba de los diferentes receptores GNSS que pertenecen a las señales de código GNSS recibidas del mismo satélite exceda un umbral, todas las señales de código GNSS recibidas desde ese satélite se consideran no adecuadas para la determinación de la posición. En este caso, es probable un defecto en el satélite concreto, y sus señales de código GNSS no son más de confianza. Su exclusión mejora la fiabilidad de la determinación de la posición. Observe que la covarianza de las métricas de prueba puede ser bivariable o multivariable. En concreto, se aplica un segundo discriminador, o, que describe el grado de coincidencia del error de todos los receptores, $1 \dots N$, en un receptor específico. En los ambientes con $N > 3$ el uso del discriminador adicional reduce el número de pruebas a realizar para identificar un receptor defectuoso hasta N pruebas en comparación con $(N^2 - N)/2$. Si la métrica de prueba para un satélite concreto recibida en los diferentes receptores GNSS corresponde a una covarianza multivariable determinada para más de 2 receptores, el discriminador múltiple se puede usar para aumentar la confianza de si una condición de error es local al receptor o si es debida a un fallo de satélite.

En otro desarrollo adicional, en el caso de que la covarianza de las métricas de prueba del mismo receptor GNSS que pertenece a las señales de código GNSS de diferentes satélites exceda un umbral, todas las señales de código GNSS recibidas en el receptor GNSS se consideran no adecuadas para la determinación de la posición. En este caso, es probable un defecto en el receptor GNSS concreto, y las señales de código GNSS recibidas no son más de confianza. Su exclusión mejora la fiabilidad de la determinación de la posición. La covarianza de las métricas de prueba puede ser bivariable o multivariable.

En otro desarrollo preferido, en el caso de que en un receptor GNSS concreto, una fracción crítica de las señales de código GNSS recibidas se considere no adecuada debido a la métrica de prueba de la señal de código GNSS

recibida en cada caso, entonces todas las señales de código GNSS recibidas en el receptor GNSS concreto se consideran no adecuadas para la determinación de la posición. En este caso, es probable un defecto en el receptor GNSS concreto, y las señales de código GNSS recibidas no son más de confianza. Su exclusión mejora la fiabilidad de la determinación de la posición. Si $J \geq 4$, entonces la fracción crítica normalmente corresponde a 2 señales de código GNSS no adecuadas.

Un desarrollo adicional proporciona que en el caso de que en un satélite concreto, una fracción crítica de las señales de código GNSS del satélite concreto recibidas en diferentes receptores GNSS se considere no adecuada debido a la métrica de prueba de la respectiva señal de código GNSS recibida en cada caso, entonces todas las señales de código GNSS del satélite se consideran no adecuadas para la determinación de la posición. En este caso, es probable un defecto en el satélite concreto, y sus señales de código GNSS no son más de confianza. Su exclusión mejora la fiabilidad de la determinación de la posición. Si $N \geq 4$, entonces la fracción crítica normalmente corresponde a 2 señales de código GNSS no adecuadas.

En una variante ventajosa, uno o una pluralidad de receptores GNSS se colocan en un tren, en concreto un tren en movimiento. Los receptores GNSS en los trenes son probables que sean afectados por las componentes significativas de la señal de multitrayecto, ya que los trenes a menudo viajan en cañones urbanos o geográficos, donde son probables las reflexiones de la señal. Aquí la invención puede ser particularmente útil al aumentar la fiabilidad de la determinación de la posición.

También dentro del alcance de la presente invención, y según la reivindicación 17, está un receptor GNSS o un conjunto de receptores GNSS, adaptados para realizar un método inventivo anteriormente descrito. Se pueden extraer ventajas adicionales a partir de la descripción y los dibujos adjuntos. Las características mencionadas anteriormente y a continuación se pueden usar de acuerdo con la invención de manera bien individual o colectiva en cualquier combinación. Las realizaciones mencionadas no se han de entender como una enumeración exhaustiva sino más bien tienen un carácter ejemplar para la descripción de la invención.

Dibujos

La invención se muestra en los dibujos.

La Fig. 1 muestra una ilustración esquemática de un multitrayecto como la recepción combinada de una señal directa y reflejada;

La Fig. 2 muestra una ilustración esquemática del principio monitor multitrayecto inventivo;

La Fig. 3 muestra una ilustración esquemática de la determinación del tiempo de ejecución de la señal alineando el código local y recibido;

La Fig. 4 muestra una ilustración esquemática del criterio para el alineamiento del código local y recibida mediante el máximo de la función de autocorrelación;

La Fig. 5 muestra una ilustración esquemática de una curva S de discriminador temprano menos tardío de bucle de seguimiento de código;

La FIG. 6 muestra una ilustración esquemática de un pico de la función de autocorrelación en condiciones libres de fallos;

La Fig. 7 muestra una ilustración esquemática de una función de autocorrelación con componentes de multitrayecto;

La Fig. 8 muestra una ilustración esquemática de un pico de una función de autocorrelación de código bajo la influencia del multitrayecto;

La Fig. 9 muestra una ilustración esquemática de una curva de discriminador de código para diferentes espaciados de correlacionador del seguimiento de código;

La Fig. 10 muestra una ilustración esquemática del principio monitor general, vistas en el tiempo (izquierda) y estadística (derecha);

La Fig. 11 muestra una ilustración esquemática de una oscilación del error de multitrayecto sobre a lo largo del tiempo;

La Fig. 12 muestra una ilustración esquemática de cambio en las propiedades estadísticas de la distribución de error bajo la influencia del multitrayecto;

La Fig. 13 muestra una ilustración esquemática del principio de las métricas de prueba del monitor no lineal;

La Fig. 14a-14b muestran una ilustración esquemática del resumen del procesamiento del monitor inventivo a modo de ejemplo.

1. Problemas abordados por la invención

Errores de multitrayecto

Los errores locales pueden resultar de la recepción de las señales reflejadas (multitrayecto) que entran al receptor GNSS con un retardo en comparación a la señal directa. El multitrayecto es conocido como la recepción de señal combinada de la señal de alcance de la línea de visión directa y una o más señales de alcance reflejadas del mismo satélite, que están viajando por una ruta más larga.

La Figura 1 muestra el multitrayecto como una recepción combinada de las señales directas y reflejadas. Un satélite 10 envía una señal 11. En el receptor 12 GNSS, una señal 13 (o componente de la señal) directa, una señal (o componente de la señal) 14 reflejada en el suelo 15, y una señal (o componente de la señal) 16 reflejada por un reflector 17, aquí llega y se superpone un obstáculo vertical tal como un edificio, de manera que la señal de código GNSS recibida total contiene componentes de la señal de multitrayecto. El receptor GNSS se puede colocar en un vehículo, tal como un tren (no mostrado).

El multitrayecto no correlacionado local (satélite único sobre antena única) o el multitrayecto correlacionado (satélite único sobre más de una antena) son parte de las consideraciones. Además, el multitrayecto sin Línea de Visión (NLOS) está caracterizado por la ausencia del trayecto directo (señal enmascarada) y la presencia de señales de multitrayecto.

La recepción de las señales afectadas por el multitrayecto debido a reflexiones en el entorno local de la antena GNSS lleva a errores de medición de código muy elevados y finalmente errores en la determinación de posición. En los sistemas GNSS que aplican o general correcciones diferenciales para el proceso de determinación de la posición (GBAS, SBAS, VB) el multitrayecto es la mayor fuente de errores.

La amenaza GNSS dominante para las aplicaciones ferroviarias es el multitrayecto, que depende enormemente del entorno local por donde el tren viaja. En concreto el entorno multitrayecto ferroviario urbano es más duro en comparación a otras aplicaciones debido a que las fuentes de reflexión multitrayecto tales como pero no limitadas a las reflexiones desde objetos metálicos, edificios y reflexiones en el suelo, pueden provocar errores de pseudorango significativos que transforman la solución de posicionamiento.

En aplicaciones GNSS críticas de seguridad es deseable detectar el multitrayecto para evitar el uso de mediciones afectadas en la determinación del error de la posición. En otro caso se producirán soluciones de posición errónea.

Ya que las fuentes de error como los fallos de satélite (tales como la generación imperfecta de código dentro del satélite) pueden aparecer con efectos similares, es deseable distinguir el multitrayecto de otros errores para aplicar las acciones correctas (con especial relevancia para GBAS/SBAS, VB).

2. El método inventivo

General

Para la aplicación GBAS aeronáutica la invención propone múltiples antenas GNSS distribuidas en el suelo, conectadas cada una o siendo parte de un receptor o sensor GNSS, que a su vez emite diversos datos de medición en un comportamiento en tiempo real tal como de una o dos veces por segundo. Los datos de medición pueden incluir mediciones GNSS relevantes tales como las salidas de amplitud del correlacionador, medición de fase de portadora de medición de pseudorango, mediciones de tiempo u otras mediciones de alcance. La invención propone también uno o múltiples dispositivos de procesamiento que se conectan o incluyen en los receptores GNSS y son capaces de ejecutar los algoritmos y métodos descritos a continuación.

Para la aplicación VB de tren, la invención propone múltiples antenas GNSS distribuidas en el tren, conectadas cada una o siendo parte de un receptor o sensor GNSS, que a su vez emite diversos datos de medición en un comportamiento en tiempo real tal como una o dos veces por segundo. Los datos de medición pueden incluir mediciones GNSS relevantes tales como salidas de amplitud del correlacionador, medición de fase de portadora de medición de pseudorango, mediciones de tiempo u otras mediciones de alcance. La invención puede incluir también otros sensores tales como un odómetro, radar o sensores inerciales que están entregando también datos de medición. Además la invención propone uno o múltiples dispositivos de procesamiento que están conectados o incluidos en los receptores GNSS y los dispositivos de sensor son capaces de ejecutar los algoritmos y métodos descritos a continuación.

Principio

La metodología propone un medio monitor de multitrayecto para deseleccionar los receptores/antenas o las señales de código GNSS correspondientes.

El monitor de multitrayecto se puede aplicar a GNSS en general. El monitor puede realizar diversas acciones ejecutivas: la inflación de los parámetros de integridad, fijar una máscara para la elevación del rango azimut, la exclusión de un satélite, la exclusión de un receptor.

5 El seleccionador de receptor/antena de manera adicional permite preferiblemente deshabilitar de manera manual los receptores individuales en los casos en que se instalen múltiples receptores.

La Figura 2 ilustra el principio monitor de multitrayecto inventivo a modo de ejemplo.

10 El monitor de multitrayecto verifica de manera continua que la señal recibida es adecuada para la determinación de la posición. La verificación está basada en una métrica de monitor (o métrica de prueba) en base a las mediciones específicas del receptor y valores de calibración adicionales. En caso de que la métrica de monitor exceda un cierto umbral, el satélite o el receptor se elimina de la determinación de la posición. Además se puede realizar la desección manual de un receptor.

Mediciones GNSS del receptor GNSS

15 Durante la determinación de la posición el receptor GNSS determina el tiempo de ejecución de la señal del satélite j al receptor i GNSS. La determinación de la posición se puede realizar de manera simultánea con múltiples receptores GNSS (1... n_i).

La señal de satélite es representada normalmente mediante una onda portadora de alta frecuencia dentro de la cual se modula un código conocido (difusión), que se establece de manera individual por satélite, con las características de señal definidas dentro de una portadora de alta frecuencia con una frecuencia predeterminada.

20 La Figura 3 ilustra la determinación del tiempo de ejecución de la señal alineando el código recibido (o la señal 30 de código GNSS) y el código local (o la señal 31 de referencia). En el ejemplo mostrado, hay un desplazamiento de tiempo $\Delta\tau$ de aproximadamente 10 chips entre el código recibido y el código de referencia.

Las características de señal del código modulado normalmente son representadas por un máximo único de la función de autocorrelación de código (ACF) para todos los retardos τ de tiempo sobre la longitud de código.

25 La Figura 4 ilustra el criterio para el alineamiento del código recibido y local mediante el máximo de la función de autocorrelación.

30 La determinación del tiempo de ejecución de señal está basada después en la determinación de la diferencia de tiempo entre un ACF de retardo cero del código conocido dentro del receptor (curva continua en la Fig. 4) y el ACF del código recibido desde el satélite (línea discontinua en la Fig. 4). Esto desplaza por tanto el código local hasta que la ACF entre el código local y recibido muestra el máximo. Sin embargo la ACF no se evalúa de manera directa por el receptor.

35 Para determinar el tiempo de ejecución de señal el código recibido desde el satélite está siendo seguido de manera que sea coherente con una réplica de código local. Esto se consigue mediante un bucle de seguimiento de señal, el bucle de retardo bloqueado (DLL), que determine el retardo de código de la señal GNSS recibida desde el satélite. El DLL proporciona el valor del retardo actualmente determinado que es usado por el generador de código de los receptores GNSS para mantener el código generado de manera local correspondido al código recibido. Dentro del DLL se usa la diferencia entre dos correlacionadores adicionales. Estos correlacionadores adicionales son avanzados "Tempranos" (E) y retrasados, "Tardíos" (L) en relación con el retardo cero "Puntual" (P). Como resultado de la diferenciación se obtiene la curva S y el DLL mantiene el cruce por cero de la curva S.

La Figura 5 ilustra el bucle de seguimiento de código temprano menos la curva S de discriminador tardío.

40 El DLL puede ser apoyado por un bucle cerrado de fase (PLL) que evalúa la fase de la onda de portadora de satélites de alta frecuencia y que reduce el ruido de código.

45 El desplazamiento $\Delta\tau$ de tiempo es una medida para el tiempo de ejecución de señal desde el satélite con el tiempo de transmisión (T_{OT}) al receptor donde llegó al momento de la llegada (T_{OA}). El tiempo de ejecución de señal a su vez es una medida de la distancia R entre el satélite y el receptor. Ambos están relacionados el uno al otro por la velocidad de la luz c a través de la siguiente ecuación:

$$R = c \Delta\tau = c (T_{OA} - T_{OT}) \quad \text{Ec 1}$$

En la descripción anteriormente mencionada las diferencias de reloj entre el reloj del receptor GNSS y el satélite no se consideran.

50 Fuentes de error adicionales como los retardos de señal debido a la refracción en la ionosfera y la troposfera así como los errores en la posición del satélite y la generación imperfecta de código por el satélite y los errores que resultan en la vecindad del receptor GNSS no se consideran.

Preparación de la detección de las componentes de la señal multitrayecto

El receptor GNSS evalúa por tanto la ACF en tres puntos de correlación; temprano, tardío, puntual.

El espaciado de chip entre la ACF temprana y tardía puede variar. Un espaciado de chip reducido resultará en una susceptibilidad reducida a los errores de multitrayecto.

- 5 Debido a los filtros normalmente aplicados en el receptor GNSS en diferentes etapas de su procesamiento de señal interno, especialmente debido al filtrado de precorrelación, la ACF se desvía de la ideal. La ACF real normalmente muestra un pico redondeado. La normalización de la ACF del receptor se puede conseguir mediante la normalización en relación con el valor máximo de la ACF real inmediata (P).
- 10 El monitor de multitrayecto descrito en la presente memoria aplica correlacionadores adicionales más allá de aquellos necesarios para el seguimiento de código DLL.

Estas mediciones de ACF adicionales pueden mostrar un sesgo nominal bajo las condiciones libres de fallo debidas a la normalización anteriormente mencionada. Los sesgos nominales adicionales pueden resultar a partir de las imperfecciones típicas en la generación de código de los satélites, que son típicas para su diseño real y no representan un fallo de satélite.
- 15 La Figura 6 ilustra el pico de una función 60 de autocorrelación real (línea continua) en condiciones libres de fallo, en comparación con una función 61 de autocorrelación ideal (línea discontinua), ambas normalizadas. Para los espaciados P_1 a P_5 (posiciones) de chip, también se muestra el sesgo $b_{nom, 1}$ a $b_{nom, 5}$ nominal. El espaciado P_0 de chip puntual es en los chips cero.
- 20 Con estos correlacionadores adicionales en cada instante de tiempo de la determinación de posición se toman una multitud de valores de función (en la Fig. 6 de P_1 a P_5) de la función de autocorrelación en el receptor GNSS durante la determinación del tiempo de ejecución de la señal de satélite.

Bajo la presencia del multitrayecto la ACF dentro del receptor será representada por la suma compleja de la señal directa / libre de fallos y la señal de multitrayecto reflejada. Debido a la señal de multitrayecto la ACF en el receptor se deformará y el pico se desviará de $T = 0$ a $T = T_{MP}$.
- 25 Debido a esta deformación las mediciones tomadas desde los espaciados de chip de los correlacionadores adicionales se desviarán de su rango nominal de valores.

La Figura 7 ilustra una función de autocorrelación de código con componente de multitrayecto (MP). La función de autocorrelación ACF recibida de la señal 70 combinada es la superposición de una ACF 71 libre de errores y una ACF de la señal 72 de multitrayecto reflejada.
- 30 La Figura 8 ilustra el pico de la función de autocorrelación de código bajo la influencia del multitrayecto (ACF con error MP). La información sobre las componentes del error de multitrayecto está contenida en las diferencias b_{LMP} de la curva ACF con error de MP (negrita continua, triangular), en comparación con la curva ACF ideal (negrita discontinua, triangular) con multitrayecto. Observe que la parte de esta diferencia está causada por el sesgo nominal, es decir, la diferencia entre la curva ACF libre de error (fina discontinua) en comparación con la curva ACF ideal (compare la Fig. 6), que debería tenerse en cuenta al eliminar el sesgo nominal. En la Fig. 8, es fácilmente observable también el desplazamiento T_{MP} temporal provocado por las componentes de la señal multitrayecto entre la ACF libre de error y la curva ACF con error de MP.
- 35 La métrica de prueba de monitor se construye sobre la base de derivación observable de la función de autocorrelación de un receptor en diferentes espaciados de chip de autocorrelación.
- 40 Los ejemplos son válidos para un tipo DLL coherente E-L (=temprano-tardío) con 0,1 espaciado de chip para el bucle de seguimiento DLL. Sin embargo, la metodología funciona también con otros receptores.

Los espaciados de chip pueden ser arbitrarios. Las señales de multitrayecto llevan a una desviación más fuerte en el lado tardío (a la derecha en la Fig. 8) de la ACF. Por lo tanto las mediciones del correlacionador adicional se toman principalmente en el lado tardío y se han de configurar según los retardos T_{MP} esperables del multitrayecto. Para un receptor con un correlacionador amplio serán útiles más puntos de medición en un rango de desplazamiento temporal más amplio, en comparación con un correlacionador estrecho, donde hay que medir una región más cercana al cruce por cero.
- 45 La Figura 9 ilustra la curva de discriminador de código para diferentes espaciados de correlacionador del seguimiento de código.
- 50 En el caso investigado de un receptor GNSS con un espaciado de chip de 0,1 chips, se usaron ocho puntos de correlacionador con el siguiente espaciado de chip (fracciones de la longitud de código GPS L1 C/A).

$P_1 = -0,5; P_2 = -0,025; P_3 = 0; P_4 = +0,025; P_5 = +0,05; P_6 = +0,075; P_7 = +0,1; P_8 = +0,125$. En el caso general se toman n mediciones $P_1 \dots P_n$.

La amplitud ACF normalizada (valores funcionales) en los puntos respectivos son $A_1; A_2; A_3; A_4; A_5; A_6; A_7; A_8 \dots A_m$

5 En el procesamiento adicional estas pueden utilizarse directamente tal cual o las mediciones del correlacionador adyacente también pueden diferenciarse en la dirección de aumento de la longitud de chip, lo que resulta en:

$$CDV_1 = A_1 - A_2$$

Ec 2

$$CDV_2 = A_2 - A_3$$

$$CDV_3 = A_3 - A_4$$

...

$$CDV_n = A_{m-1} - A_m$$

10 Se puede realizar una normalización con respecto a las condiciones nominales. Durante esta normalización se puede realizar al menos la eliminación del sesgo b_n nominal. El sesgo nominal puede ser determinado mediante un modelo o a través de mediciones en condiciones libres de fallos (véase la Fig. 6, donde el sesgo $b_{nom,i}$ nominal es la diferencia entre la función de autocorrelación ideal y real bajo condiciones libres de fallos para las posiciones P_i de chip; observe que al usar los valores CDV_i funcionales diferenciados estos tienen un sesgo $b_{i,nom}$ nominal que se origina a partir de la diferencia de los valores $b_{nom,i}$ de las posiciones P_i).

De manera adicional se puede realizar una escala de varianza mediante la varianza σ_m^2 de manera tal que los $CDV_{nom,1}$ tienen una media cero y una varianza de uno resulta en condiciones libres de fallos .

$$CDV_{1,nom} = (CDV_1 - b_{1,nom}) / \sigma_{1,nom}$$

Ec 3

...

$$CDV_{m,nom} = (CDV_m - b_{m,nom}) / \sigma_{m,nom}$$

15 Los valores de normalización para cada CDV son predeterminados en condiciones libres de fallos y almacenados en una memoria no volátil del monitor.

20 El sesgo nominal está compuesto de propiedades del correlacionador inherente del receptor nominal y retardos de hardware, así como una componente específica del satélite. Es constante a lo largo de largos periodos de tiempo y puede ser configurado bien como valor de calibración o determinado de manera automática a partir de periodos de operación libres de fallo.

Principio general del monitor

25 Un detector o monitor de cambio tal como se aplica en la presente invención, y aplicable en aplicaciones críticas de seguridad, detecta mediciones erróneas y elimina estas mediciones erróneas del procesamiento posterior, es decir, de la determinación de posición.

El detector aplicado realiza una prueba de hipótesis estadística para las dos hipótesis:

H0: la medición está libre de fallos

H1: la medición es errónea

30 La decisión de prueba se realiza sobre una métrica de prueba. La métrica de prueba normalmente se muestra bajo condiciones libres de fallos de media cero. Bajo la influencia de una condición errónea la métrica de prueba muestra un sesgo.

En el caso más simple, la métrica de prueba podría estar basada en un proceso de primer orden y se detectarían los cambios en la media de la métrica de prueba. Este caso más simple no es parte de la presente invención.

La Figura 10 ilustra una vista en el tiempo (izquierda) y estadística (derecha) del principio general del monitor.

35 Antecedentes y ventajas al usar métricas de mayor orden para detectar el multitrayecto

Debido al movimiento del satélite y los movimientos potenciales del receptor y el reflector, la geometría multitrayecto varía constantemente. Con esta variación los ángulos bajo los cuales las reflexiones entran al receptor cambian constantemente. Con el cambio angular también cambia constantemente el retardo de la señal reflejada constantemente. Ya que la señal combinada dentro del receptor es la suma de la señal directa y reflejada, se producirá una componente oscilatoria en la señal combinada. Con la componente oscilatoria debida al error del multitrayecto sólo hay presente un cambio de sesgo por una fracción de tiempo. Con la señal oscilatoria combinada además de la media, también cambian los parámetros de varianza y de forma de distribución de la probabilidad.

La Figura 11 ilustra la oscilación del error del multitrayecto a lo largo del tiempo.

En condiciones libres de fallos los valores de la ACF varían alrededor de su media debido al ruido térmico.

- 10 El ruido térmico se puede describir como ruido blanco que sigue a una distribución normal (Gaussiana) con media cero (después de la eliminación del sesgo) y por tanto un máximo en cero.

La función de densidad de probabilidad de una onda sinusoidal pura (componente de multitrayecto única) tiene su mínimo en cero y los valores máximos de densidad de la probabilidad en -1 y +1 y por tanto una forma completamente diferente de la función de densidad de la probabilidad.

- 15 Con la componente multitrayecto la distribución de error de la señal cambiará.

La Figura 12 ilustra el cambio en las propiedades estadísticas de la distribución de error bajo la influencia del multitrayecto.

Los parámetros de forma de la distribución se describen con momentos de orden mayor (3er orden – asimetría, 4º orden – curtosis).

- 20 En general el n-ésimo momento estadístico se define como:

$$m_n = E(x - \mu)^n \quad \text{Ec 4}$$

con el valor $E(x)$ esperado.

Para valores distribuidos de media cero, como el ruido blanco, el valor esperado es cero.

- 25 Debido al cambio en las propiedades estadísticas de una señal afectada por el multitrayecto los momentos de orden superior aumentarán sobre este ruido blanco.

Por tanto, y según la invención, una métrica de prueba basada en estadísticas de prueba de orden superior puede proporcionar una capacidad de detección aumentada para los errores de multitrayecto. En paralelo se producirá una susceptibilidad no aumentada para los errores de sesgo puros (errores de 1er orden). Además, el aumento en la métrica de prueba será más proporcional en comparación con un detector de sesgo puro (detector de 1er orden).

- 30 Normalmente dichos errores de sesgo puro resultarán en errores en la generación de señal de los satélites, como código imperfecto.

Especialmente en entornos de receptores multiGNSS es deseable separar ambos tipos de errores.

Detección de las componentes de señal multitrayecto para el procesamiento base del momento t_k de tiempo de medición actual y el receptor R_{xj} actual

- 35 La detección se basa en una prueba estadística. Una manera de detectar los cambios en las características estadísticas de orden superior de la señal subyacente (varianza, simetría, curtosis) es recopilar muestras sobre un cierto periodo de medición y realizar una prueba estadística sobre estas muestras.

El principio de medición aplicado en la presente memoria permite determinar estadísticas de orden superior en base a la multitud de mediciones de correlacionador instantáneas.

- 40 La métrica TM_2 de segundo orden de las siete mediciones de correlacionador diferenciadas se determina como sigue:

$$TM_2(t_k) = CDV_1^2(t_k) + CDV_2^2(t_k) + \dots + CDV_m^2(t_k) \sim \text{var}(CDV_{1\dots m}(t_k)) \quad \text{Ec 5}$$

La métrica de segundo orden es proporcional a la varianza de los siete valores de medición del correlacionador (la métrica de segundo orden se puede aplicar también como valor cuadrático medio (RMS)).

- 45 La determinación del RMS es un proceso de segundo orden, que lleva a unas métricas de prueba chi-cuadradas.

El proceso de segundo orden proporciona una mejor capacidad de detección (relación detección a ruido) en comparación con un proceso de primer orden (suma, diferencias, relaciones o suma de valores de correlacionador absolutos).

- 5 Los procesos de orden superior se pueden aplicar también. Se pueden aplicar polinomios de tercer, cuarto y orden superior así como un proceso exponencial.

Es factible además un aumento adicional usando órdenes superiores.

La métrica TM_n de n-ésimo orden construida a partir de siete mediciones de correlacionador diferenciadas se determina por consiguiente:

$$TM_n(t_k) = CDV_1^n(t_k) + CDV_2^n(t_k) + \dots + CDV_m^n(t_k) = \sum_{i=1}^m CDV_i^n(t_k) \quad \text{Ec 6}$$

- 10 En equivalencia al proceso de 2º orden, la raíz n-ésima se puede aplicar a TM_n .

Para métricas de prueba polinómicas se prefieren polinomios de orden par, ya que no producirán valores negativos – la estadística de la prueba es entonces unilateral.

Lo mismo aplica para las métricas de prueba exponenciales.

La métrica exponencial se puede construir como sigue:

$$TM_{\text{exp}}(t_k) = \left(e^{CDV_1(t_k)} + e^{CDV_2(t_k)} + \dots + e^{CDV_m(t_k)} \right) = \sum_{l=1}^m e^{CDV_l(t_k)} \quad \text{Ec 7}$$

15

La base para calcular la exponencial se puede adaptar. No necesita ser igual a la constante “e”.

Se denotará entonces como “lambda”.

20

Esta variación proporciona otro grado de libertad en la construcción de la métrica de prueba. Cambiará el comportamiento de cola de la distribución y permite la adaptación según la compensación realmente requerida entre la falsa alarma y las tasas de detección perdidas.

La métrica exponencial está relacionada con polinomios de orden superior ya que la función exponencial se puede expresar mediante un polinomio Taylor:

$$\exp(x) = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \dots + \frac{x^n}{n!} \quad \text{Ec 8}$$

25

Por tanto la métrica exponencial contiene todos los momentos de la distribución y es capaz de proporcionar una detección óptima de la relación detección a ruido.

La detección se realiza contra un umbral TRH predefinido.

El umbral se define según la falsa alarma deseadas y las tasas de detección perdidas en base a la distribución estadística.

La Figura 13 ilustra el principio de las métricas de prueba de monitor no lineales.

30

El umbral depende de un máximo error tolerable o una inflación fija en comparación con las características de medición sin fallos nominales.

El umbral está en todos los casos determinado a partir de la inversa de una función de distribución. En caso de derivación a partir del caso libre de fallos – derivación para la probabilidad de falsa alarma (P_{FA}), o distribución de errores detectados perdidos – derivación para la probabilidad de detección perdida (P_{MD}).

35

En el caso de derivación basada en P_{FA} la forma general es:

$$THR \sim k \cdot CDF^{-1}(1 - P_{FA}, TM) \quad \text{Ec 9}$$

Ejemplos:

1er orden:

$$THR_1 = N^{-1}(1 - P_{FA}, \mu = 0, k_{FA} \sigma_{TM})$$

Ec

10

Para la expresión de los órdenes superiores es necesario expresar las distribuciones usando la función gamma:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

Ec

11

La distribución gamma es:

$$f_{\Gamma}(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x}$$

Ec

12

5

La métrica de 2º orden es distribuida chi-cuadrado: $THR_2 = (\chi^2)^{-1}(1 - P_{FA}, f_{TM})$ con f_{TM} como los grados de libertad de la métrica de prueba, que es igual a n, el número de valores en la métrica de prueba.

La distribución chi-cuadrada está relacionada con la distribución gamma como:

Distribución $\Gamma\left(\frac{f_{TM}}{2}, \frac{1}{2}\right)$ con la función de densidad:

$$CDF_{\chi^2} = P\left(\frac{f_{TM}}{2}, \frac{x^2}{2}\right)$$

Ec

13

10

La métrica de cuarto orden es distribuida chi-cúbica, según el aumento en el orden, etc.

$$CDF_{\chi^n} = P\left(\frac{f_{TM}}{n}, \frac{x^n}{n}\right)$$

Ec

14

La distribución exponencial se expresa con el parámetro lambda usado para definir la compensación entre P_{md} y P_{FA} (con la base para relacionar la lambda $\sim f_{TM}$);

$$Exp(\lambda) = \Gamma(1, \lambda)$$

Ec

15

$$THR_{exp} = Exp^{-1}(\lambda) = \Gamma^{-1}(1, \lambda)$$

Ec

16

15

La métrica de prueba calculada a partir de las mediciones del autocorrelacionador se compara contra el umbral predefinido. El umbral es fijo para unas condiciones operacionales constantes (se puede aplicar una adaptación al modo operacional).

La métrica de prueba se determina para cada receptor y para cada medición de código usada en el sistema.

20 Por tanto en el caso con cuatro antenas/receptores de referencia y n_j satélites siendo seguidos, hay $4 \times n_j$ mediciones, que serán comparadas con su umbral de manera individual.

Cuando se excede el umbral, la medición de pseudorango del receptor respecto con respecto al satélite respectivo no está disponible.

25 Además, en el caso más simple, se realizará una acción de monitor en relación con el receptor si son afectadas más de 2 mediciones de código del receptor respectivo de manera simultánea, es decir, se excede el umbral. Entonces todo el receptor se hace no disponible.

Cuando la métrica de prueba TM para el satélite j respectivo medida con el receptor i en el momento k de tiempo respectivo excede el umbral THR, la medición de código para el satélite respectivo se excluye de la determinación de la posición y se incrementa un contador N_{excl} de exclusión:

30 Si

$TM > THR$

entonces

excluir medicion_codigo (j, i, k)

y

$n_excl = n_excl + 1$

- 5 En el caso de cuatro receptores de referencia y n_sat satélites siendo seguidos, hay $4 \times n_sat$ métricas de prueba, que se compararán de manera individual con su umbral.

Se puede aplicar un segundo discriminador, que decide si un satélite no está disponible para la determinación de la posición o si se ha de excluir un receptor de referencia. Si el umbral se excede por ejemplo en una o alternativamente dos señales GNSS o más de los diferentes satélites en el mismo receptor, el receptor será considerado como defectuoso. Si el umbral se excede por ejemplo en dos (el caso del tren) o tres (el caso de los sistemas de aumento terrestres para uso aeronáutico) receptores o más para las señales GNSS del mismo satélite, el satélite será excluido.

10 Si la métrica de prueba para muchos satélites n_excl,max en el momento k de tiempo respectivo excede el umbral de monitor en un receptor, excluir el receptor de la determinación de la posición (si sólo hay disponible un receptor, la determinación de la posición será inhibida).

Si

$n_excl > n_excl,max$

entonces

excluir i

- 20 Uso de métricas de prueba coherentes y no coherentes cuando la determinación de la posición aplica un proceso de filtro paso bajo

La determinación de la posición puede aplicar un proceso de filtro paso bajo para reducir los errores de ruido de la determinación de la posición.

25 El proceso aplicado normalmente usa un filtrado complementario que usa las mediciones de la portadora (Suavizado de Portadora de Código).

Con el filtrado paso bajo aplicado el aumento del error inducido por el multitrayecto en la determinación de la posición se retrasa normalmente según la respuesta al escalón del filtro consiguiente.

La medición del correlacionador no mostrará este aumento del error de retardo, ya que no se aplica ninguna filtro a éste.

- 30 Sin embargo, se puede aplicar un filtro H_{LP} paso bajo a la métrica de prueba por dos razones:

- El ruido del monitor puede ser reducido mediante el filtrado paso bajo: Esto aumenta la posibilidad de detectar las condiciones del error por multitrayecto: La constante de tiempo y las características del filtro necesitan ser elegidas para cumplir con el procesamiento de la medición del rango. Las características del filtro necesitan ser definidas de manera tal que el filtro aplicado a la métrica de prueba muestra las mismas características temporales y espectrales en comparación con el filtro aplicado a las mediciones de código usadas en la determinación de la posición (es decir, la respuesta al impulso es idéntica). En el caso de aplicaciones aeronáuticas críticas de seguridad se aplica un suavizado de 0,30 s y 100 s a un filtro paso bajo de 1er orden. Esto asegura la coherencia con los errores de pseudorange sin suavizar y suavizados de portadora de código.
- El monitor puede reaccionar antes de la determinación de la posición errónea: Si el monitor se hace no coherente (por ejemplo mediante constantes de tiempo menores del filtrado de la métrica de prueba, en comparación al filtro de suavizado de pseudorange), se pueden conseguir una características de monitor de 'mirar hacia adelante' – esto se puede hacer más rápido. Si se hace así, el monitor no es más coherente con el error y por tanto se ha de aplicar un filtro paso alto adicional o un retenedor para asegurar que la métrica de prueba se mantiene alta durante el mayor tiempo de autocorrelación de multitrayecto.

Las compensaciones entre ambas son factibles, como la mencionada constante de tiempo menor en comparación con la constante de tiempo del filtro usado en la determinación de la posición.

Para permitir una caracterización estadística más fácil la métrica de prueba del monitor se puede normalizar a una varianza de 1 con el filtro aplicado en el caso libre de fallos dividiendo entre la varianza nominal. La varianza nominal

depende del entorno local (que no cambia a lo largo del tiempo) y de los filtros aplicados a la métrica de prueba y por tanto es constante durante la operación.

La ganancia de compensación se determina a partir de las características espectrales del filtro aplicadas a la métrica de prueba:

$$g \sim \left(\frac{\text{var}_{\text{sin filtrar}}}{\text{var}_{\text{filtrada}}} \right)$$

Ec

17

La varianza de la señal filtrada, libre de errores está relacionada con la varianza del ruido libre de errores sin filtrar y la función de transferencia del filtro paso bajo. De manera alternativa es posible también la medición directa en condiciones libres de errores.

El procesamiento adicional es idéntico al anteriormente descrito: la métrica de prueba se construye en base a la CDV (filtrada y compensada) y se compara con el umbral. En caso de métrica de prueba no coherente además se aplica un filtro paso alto o proceso retenedor para inhibir la liberación del monitor cuando la métrica de prueba cae por debajo del umbral.

La constante de tiempo de este retenedor adicional depende de las características multitrayecto esperables. Para una aplicación crítica de seguridad se define de manera tal que el satélite se volverá a incluir en la solución de la posición después de la constante de tiempo lo más larga posible de una oscilación de multitrayecto para la distancia al objeto más corta posible.

Un enfoque conservador es excluir el satélite durante la duración de un pasada. Sólo se produciría una nueva inclusión, una vez que el satélite se eleva de nuevo después de que se haya asentado.

Extensión del satélite frente a la decisión de exclusión del receptor

En el caso de más de dos receptores siendo usados para la determinación de la posición también se pueden realizar acciones de monitor más graduales de supervisión, en comparación a la simple exclusión del satélite/receptor.

Se pueden usar múltiples receptores en la determinación de la posición para reducir el ruido y los errores no correlacionados.

Esto se consigue normalmente promediando la información sobre los receptores y satélites usados para la determinación de la posición.

En tal escenario los errores del multitrayecto que son correlacionados entre los receptores o satélites son extremadamente críticos, ya que los errores correlacionados no se pueden eliminar a través de la media.

Con dos receptores el grado de coincidencia de los errores de multitrayecto entre dos receptores se pueden evaluar mediante la covarianza o la correlación bivariable de las mediciones de correlación:

$$\begin{aligned} \text{cov}_{1,2} &= \text{cov}(TM_{MP1}, TM_{MP2}) = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (CDV_{l,1} - \mu_{CDV1}) (CDV_{l,2} - \mu_{CDV2}) \\ c_{1,2} &= \text{corr}(TM_{MP1}, TM_{MP2}) = \frac{\frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (CDV_{l,1} - \mu_{CDV1}) (CDV_{l,2} - \mu_{CDV2})}{\sigma_{CDV1} \cdot \sigma_{CDV2}} \end{aligned}$$

Ec

18

La media μ_{CDV} es normal en condiciones libres de fallos.

Cuando se toman los valores preconfigurados a partir de la fase de configuración, la correlación excederá el intervalo de rango de [-1; 1].

La determinación de la covarianza entre los receptores permite la evaluación directa de los efectos de la correlación entre los dos receptores (que es equivalente al uso de correlaciones canónicas).

La evaluación de la covarianza basada en métricas con el intervalo abierto (-inf; inf) es ventajosa sobre la correlación (intervalo cerrado [-1;1]) basada en la evaluación cuando se ha de realizar una evaluación directa del error común. En los casos en los que el grado de coincidencia del error se ha de evaluar, se usará la correlación, ya que es equivalente al porcentaje del error común en el error general.

Si la cov o la corr excede un valor predefinido, dependiendo del grado máximo permisible de correlación entre dos mediciones, el receptor o satélite parejo en consecuencia se eliminará de la determinación de la posición. El grado

permisible de correlación se puede determinar en base al grado permisible de error común en la determinación (promedio) de la posición. La correlación describe el grado de varianza del error común.

Además se puede realizar una determinación directa del tamaño de los errores correlacionados entre receptores para sistemas con múltiples antenas de referencia GNSS. Esto evita el inconveniente de las evaluaciones sólo por pares.

Este proceso se puede expandir para una evaluación combinada del efecto de múltiples receptores en un receptor único.

La correlación de todos los receptores $1...i$; $i \neq 0$, o satélites $1...j$; $j \neq p$ en un receptor o , o satélite p específico se puede determinar cómo sigue (de nuevo son factibles un intervalo cerrado o un intervalo abierto en base a las evaluaciones, a continuación las ecuaciones dadas cubren la evaluación en base a la autocorrelación. La evaluación en base a la covarianza funciona de la misma manera. La única diferencia es el uso de cov en lugar de corr.).

La correlación múltiple es dada como:

$$C_{o,i1...i} = \sqrt{\sum_{r=1}^i \beta_r c_{io}} \quad \text{Ec 19}$$

Con los pesos beta

$$\beta_{i,o} = C_i^{-1} c_{io} \quad \text{Ec 20}$$

Y la matriz de intercorrelaciones de los predictores usando las correlaciones bivariantes tal como se dan en la Ec 18:

$$C_i = \begin{bmatrix} 1 & c_{1,2} & \dots & c_{1,i} \\ c_{2,1} & 1 & \dots & c_{2,i} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{o,1} & c_{o,2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ec 21}$$

y

$$c_1 = \begin{bmatrix} c_{12} \\ c_{13} \\ \vdots \\ c_{1o} \end{bmatrix}; c_2 = \begin{bmatrix} c_{23} \\ \vdots \\ c_{2o} \end{bmatrix}; \dots; c_o = \begin{bmatrix} c_{1o} \\ c_{2o} \\ \vdots \\ c_{io} \end{bmatrix} \quad \text{Ec 22}$$

Con el número i de receptores de referencia, el número de intercorrelaciones de variables de predictor es $k = i - 1$. Las intercorrelaciones de las variables de predictor son las correlaciones entre receptores de aquellos receptores que representan los predictores en i para el receptor que representa la variable o de criterio.

Las intercorrelaciones del receptor se calculan de acuerdo con la Ec 18 para todas las combinaciones de receptores.

La determinación de los pesos beta se consigue por tanto solucionando un sistema de ecuaciones lineales:

$$c_{io} = C_i \beta_{i,o} \quad \text{Ec 23}$$

Que se soluciona:

$$\beta_{i,o} = (C_i^T C_i)^{-1} C_i^T c_{io} \quad \text{Ec 24}$$

Se puede calcular un discriminador $C_{0,1...i}$, que describe el grado de coincidencia del error de todos los receptores, $1...i$, en uno específico, o :

$$C_{1,1...i,i;o} = \sqrt{C_{1,2...i} \beta_1} = \sqrt{\begin{bmatrix} c_{1,2} & \dots & c_{1,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{1,1} \\ \vdots \\ \beta_{1,o} \end{bmatrix}}$$

$$\vdots$$

$$C_{o,1...i,i;o} = \sqrt{C_{o,2...i,i \neq o} \beta_{o,o \neq i}} = \sqrt{\begin{bmatrix} c_{o,2} & \dots & c_{o,i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{o,1} \\ \vdots \\ \beta_{o,o} \end{bmatrix}}$$

Ec
25

Ejemplo para l = 3:

$$C_i = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & c_{23} \\ c_{23} & 1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & c_{13} \\ c_{13} & 1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & c_{12} \\ c_{12} & 1 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & c_{12} \\ c_{12} & 1 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Ec
26

$$c_i = [c1 \quad c2 \quad c3] = \begin{bmatrix} c_{12} \\ c_{13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{13} \\ c_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{14} \\ c_{24} \end{bmatrix}$$

Ec
27

$$\beta_1 = \frac{(1 - c_{23}^2)c_{1o} + (c_{12}c_{23} - c_{13})c_{2o} + (c_{12}c_{23} - c_{13})c_{3o}}{1 + 2(c_{12}c_{13}c_{23}) - (c_{12}^2 + c_{13}^2 + c_{23}^2)}$$

$$\beta_2 = \frac{(c_{13}c_{23} - c_{12})c_{1o} + (1 - c_{13}^2)c_{2o} + (c_{12}c_{13} - c_{23})c_{3o}}{1 + 2(c_{12}c_{13}c_{23}) - (c_{12}^2 + c_{13}^2 + c_{23}^2)}$$

$$\beta_3 = \frac{(c_{12}c_{23} - c_{13})c_{1o} + (c_{12}c_{13} - c_{23})c_{2o} + (1 - c_{12}^2)c_{3o}}{1 + 2(c_{12}c_{13}c_{23}) - (c_{12}^2 + c_{13}^2 + c_{23}^2)}$$

Ec
28

5 $C_{0,1...l}$ puede variar dentro del intervalo [0;1]. Si todo el error del receptor "o" puede ser explicado mediante los errores de los receptores 1...i (totalmente correlacionados) el valor de $C_{0,1...l}$ será "1". $C_{0,1...l}$ es proporcional al porcentaje de varianza de error común.

10 Ejemplo; en el caso de cinco receptores, donde los errores entre los receptores 1, 2 y 3 están correlacionados, mientras los errores en los receptores 4 y 5 están totalmente no correlacionados, los valores de $C_{1,2,3,4,5}$, $C_{2,1,3,4,5}$, $C_{3,1,2,4,5}$ serán diferentes de cero y proporcionales al error común, mientras que $C_{4,1,2,3,5}$ y $C_{5,1,2,3,4}$ son cercanos a cero, lo que indica que su error está totalmente correlacionado y por tanto es como ruido y se puede considerar como que opera de manera normal.

15 Con los cinco receptores 10 resultarán correlaciones bivariantes y es complejo identificar cuales trabajan de manera normal (el número de correlaciones bivariantes aumenta con $(i^2-i)/2$). Además, todas las correlaciones bivariantes de un receptor que funciona de manera normal y un receptor afectado por el multitrayecto (común) no se detectará potencialmente debido a la reducción en el valor de la correlación.

El discriminador múltiple mostrará directamente que receptores están afectados por el error de multitrayecto común y que receptores no. El número de discriminadores múltiples en un sistema que está compuesto de I receptores es siempre i , lo que simplifica la decisión de supervisión en caso de sistemas con múltiples receptores.

- 5 El discriminador múltiple se puede usar también para aumentar la confianza de si una condición de error es local al receptor o está debida a un fallo de satélite. En caso de un fallo de satélite se aumentarán todos los $TM_{MP,i}$, el error está totalmente correlacionado y todos los discriminadores múltiples se desviarán de cero y serán mayores que el nivel máximo permisible de errores comunes.

Entonces para el satélite j :

$$\frac{1}{o} \sum_{n=1}^o (C_{n,1...i;i \neq n}(j)) > C_{\max} > 0 \quad \text{Ec} \quad 29$$

- 10 Y el satélite j será excluido de la determinación de la posición.

Si el error es local a uno o más receptores, entonces

$$\frac{1}{o} \sum_{n=1}^o (C_{n,1...i;i \neq n}(j)) < C_{\max} > 0 \quad \text{Ec} \quad 30$$

y

$$C_{k,1...i;i \neq n}(j) > C_{\max}$$

Donde k es el índice del receptor o receptores afectados por el error local.

- 15 Además con sistemas que usan receptores $(i+q)$ de repuesto en caliente se puede realizar una selección de un subconjunto (i) de receptores con errores mínimos en tiempo real en base a la evaluación de correlación / covarianza dada anteriormente. El subconjunto con la correlación múltiple promedio mínima $\min(\mu(C_{0,i}))$ se elige después de todos los $\mu(C_{0,i+q})$.

Medio para la desección de la antena de referencia

- 20 - Con sistemas que proporcionan correcciones diferenciales a los satélites GNSS se puede proporcionar un medio en el equipo de tierra para eliminar una antena única del cálculo de la información de corrección promedio (corrección de pseudorango PRC & corrección de tasa de rango RRC) o cálculo de posición así como de la determinación de reloj común.
- Dicho medio puede ser un conmutador de hardware (HW) o un medio de software (SW) como un botón en una interfaz de usuario gráfica.
- 25 - Como una reacción, la antena respectiva es excluida del cálculo de la información de corrección y de la determinación de reloj.
- La activación de la desección puede ser anunciada mediante medios visuales (como un LED).
- El modo de operación se adapta dependiendo del número de antenas de referencia GNSS instaladas. Ejemplos:
- 30 - En caso de una operación GBAS aeronáutica con tres antenas de referencia de tierra en soporte de operaciones de CAT II con desección de una antena el modo se adaptará del soporte CAT III activo a soporte CAT I (o II).
- En caso de una operación de tren con un modo supervisado completo con la desección de una antena el modo activo se reduce a un modo degradado tal como un modo responsabilidad del personal.
- 35 - Se realiza la no activación del modo de mantenimiento (incluido el apagado de la difusión de datos GBAS).
- La anunciación a un operador o conductor ATC sólo se realiza en caso de la degradación del modo, de manera que es factible continuar la operación normal si las antenas de referencia de repuesto en caliente están disponibles.
- 40 - Sin antenas de repuesto en caliente el ruido en el sistema aumentará ligeramente y la información de corrección será ligeramente más ruidosa lo que normalmente reduce la continuidad. Sin embargo, con un rendimiento nominal de tierra suficientemente alto incluso después de la desección de una antena el

número restante de antenas de referencia activas es suficientemente grande para conseguir el rendimiento requerido (sólo se ve afectada la redundancia).

La Figura 14a y la Figura 14b muestran un resumen sobre el procesamiento de monitor inventivo, a modo de ejemplo.

REIVINDICACIONES

1. Un método para operar un receptor (12) del Sistema Satélite de Navegación Global, GNSS,

en donde para una determinación de la posición, el receptor (12) GNSS recibe desde una multitud de satélites (10) una señal (30) de código GNSS respectiva y en donde para cada señal (11) desde un satélite (10), la señal (30) de código GNSS recibida se correlaciona con una señal (31) de código de referencia generada por el receptor (12) GNSS para obtener una función (70) de autocorrelación, en donde una multitud de valores (A_i) de función de la función (70) de autocorrelación a diferentes espaciados (P_i) de chip discretos son analizados y usados en la obtención de una métrica de prueba (TM).

en donde al usar la métrica de prueba (TM), se toma una decisión de si la señal (30) de código GNSS recibida es adecuada para una determinación de la posición o no es adecuada para una determinación de la posición debido a las componentes de la señal de multitrayecto,

en donde se hace una determinación de la posición del receptor (12) GNSS en base a las señales (30) de código GNSS recibidas desde la multitud de satélites (10), con las señales (30) de código GNSS recibidas consideradas no adecuadas para la determinación de la posición siendo excluidas de la determinación de la posición,

en donde los espaciados (P_i) de chip de la multitud de valores (A_i) de función de la función (70) de autocorrelación se eligen de manera asimétrica con respecto a un espaciado (P_0) de chip puntual,

caracterizado por que durante el análisis de la multitud de valores (A_i) de función de la función (70) de autocorrelación, se realiza una eliminación de sesgo, restando los valores de función correspondientes de una función (60) de autocorrelación que resultarían de una señal (30) de código GNSS recibida del satélite (10) no afectada por las componentes de la señal multitrayecto, y que la multitud de valores (A_i) de función contribuyen a la métrica de prueba (TM) en un orden mayor que el primer orden.

2. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que el espaciado (P_0) de chip puntual se elige en el máximo de la función (70) de autocorrelación.

3. El método según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los espaciados (P_i) de chip de la multitud de valores (A_i) de función de la función (70) de autocorrelación se eligen de manera predominante, preferible, completa, en el lado tardío con respecto al espaciado (P_0) de chip puntual.

4. El método según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que al menos 3, preferiblemente 6, más preferiblemente al menos 8, valores (A_i) funcionales contribuyen a la métrica de prueba (TM).

5. El método según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que durante el análisis de los valores (A_i) funcionales, se calculan las diferencias (CDV_i) entre pares de los valores (A_i) funcionales con los sucesivos espaciados (P_i) de chip, y estas diferencias (CDV_i) se usan para calcular la métrica de prueba (TM).

6. El método según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la eliminación de sesgo abarca una normalización y/o escalado de varianza.

7. El método según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los valores (A_i) funcionales contribuyen a la métrica de prueba (TM) en segundo orden o superior, en concreto en donde los valores (A_i) funcionales contribuyen a la métrica de prueba (TM) de manera exponencial.

8. El método según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en dicha decisión la métrica de prueba (TM) se usa de manera tal que en caso de que la métrica de prueba (TM) sea mayor que un valor crítico (TRH), la señal (30) de código GNSS recibida se considera no adecuada para la determinación de la posición.

9 El método según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que las determinaciones de posición se hacen de manera repetida, que las ondas portadoras que transportan las señales (30) de código GNSS se someten a un filtrado paso bajo,

y que en caso de que se encuentre una señal (30) de código GNSS recibida de un satélite (10) como no adecuada para la determinación de la posición usando la métrica de prueba (TM), un número de señales (30) de código GNSS recibidas posteriormente del mismo satélite (10) se considerarán como no adecuadas para la determinación de la posición, también, independientemente de las métricas de prueba (TM) obtenidas para estas señales (30) de código GNSS posteriores.

10. El método según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que las determinaciones de la posición se hacen de manera repetida,

que las ondas portadoras que transportan las señales (30) de código GNSS se someten a un filtrado paso bajo,

y que dicho filtrado paso bajo se reproduce en la métrica de prueba (TM).

11. El método según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se operan de manera simultánea un número N de receptores (12) GNSS, con $N \geq 2$, en donde los diferentes receptores (12) GNSS reciben señales (30) de código GNSS a partir de un número J de satélites (10), con $J \geq 2$,

5 y que la decisión de si una señal (30) de código GNSS concreta de un satélite (10) concreto recibida en un receptor (12) GNSS concreto es adecuada para una determinación de la posición o no es adecuada para una determinación de la posición debido a las componentes de la señal multitrayecto no depende sólo de la métrica de prueba (TM) de esta señal (30) de código GNSS concreta, sino que también depende de las métricas de prueba (TM) de las señales (30) de código GNSS recibidas por los otros receptores (12) GNSS
10 y/o desde los otros satélites (10).

12. El método según la reivindicación 11, caracterizado por que en el caso de que la covarianza de las métricas de prueba (TM) de los diferentes receptores (12) GNSS que pertenecen a las señales (30) de código GNSS recibidas desde el mismo satélite (10) exceda un umbral, todas las señales (30) de código GNSS recibidas desde ese satélite (10) se consideran no adecuadas para la determinación de la posición.

15 13. El método según la reivindicación 11 o 12, caracterizado por que en el caso de que la covarianza de las métricas de prueba (TM) del mismo receptor (12) GNSS que pertenece a las señales (30) de código GNSS de los diferentes satélites (10) exceda un umbral, todas las señales (30) de código GNSS recibidas en ese receptor (12) se consideran no adecuadas para la determinación de la posición.

20 14. El método según una de las reivindicaciones 11 a 13, caracterizado por que en el caso para un receptor (12) GNSS concreto, de que una fracción crítica de señales (30) de código GNSS recibidas se consideren no adecuadas debido a la métrica de prueba (TM) de la respectiva señal (30) de código GNSS recibida en cada caso, entonces todas las señales (30) de código GNSS recibidas en el receptor (12) GNSS concreto se consideran no adecuadas para la determinación de la posición.

25 15. El método según una de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizado por que en el caso para un satélite (10) concreto, una fracción crítica de señales (30) de código GNSS del satélite (10) concreto recibidas en diferentes receptores (12) GNSS se considere no adecuada debido a la métrica de prueba (TM) de la respectiva señal (30) de código GNSS recibida en cada caso, entonces todas las señales (30) de código GNSS de ese satélite (10) se consideran no adecuadas para la determinación de la posición.

30 16. El método según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que uno o una pluralidad de receptores (12) GNSS se colocan en un tren, en concreto un tren en movimiento.

17. Un receptor (12) GNSS o un conjunto de receptores (12) GNSS, adaptados para realizar un método según una de las reivindicaciones 1 a 16.

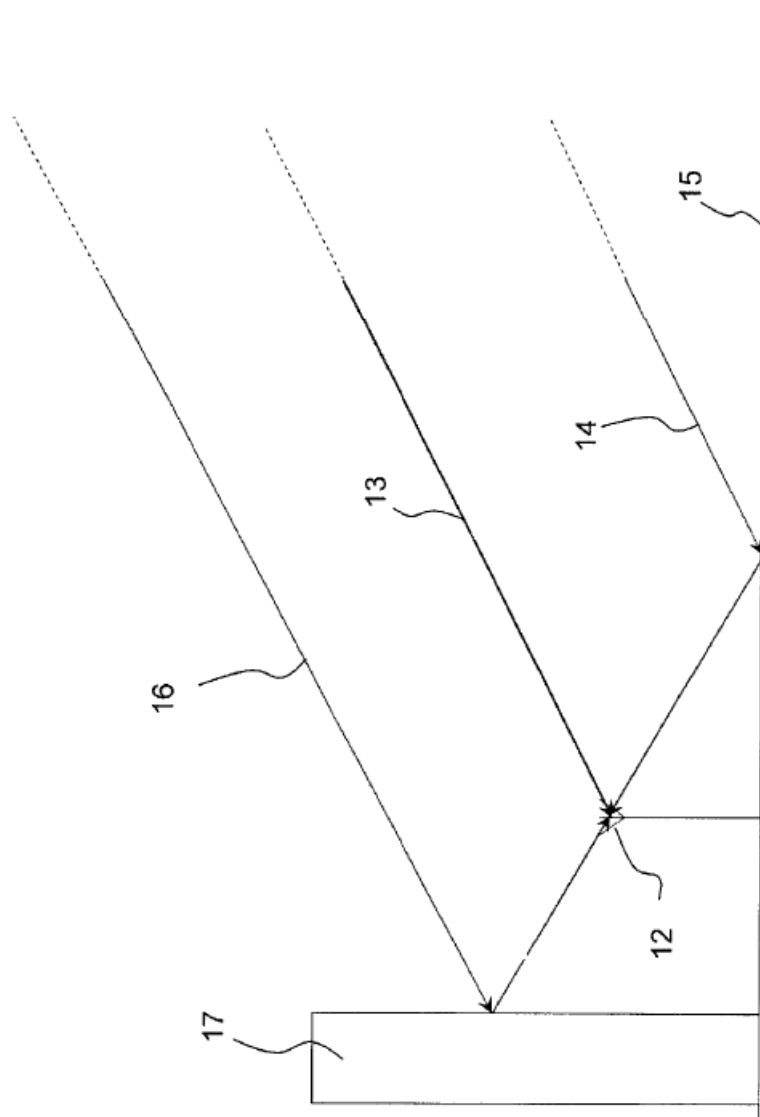
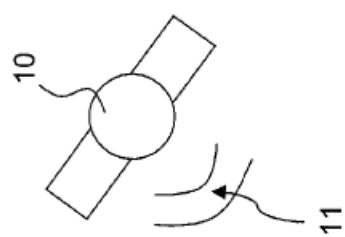
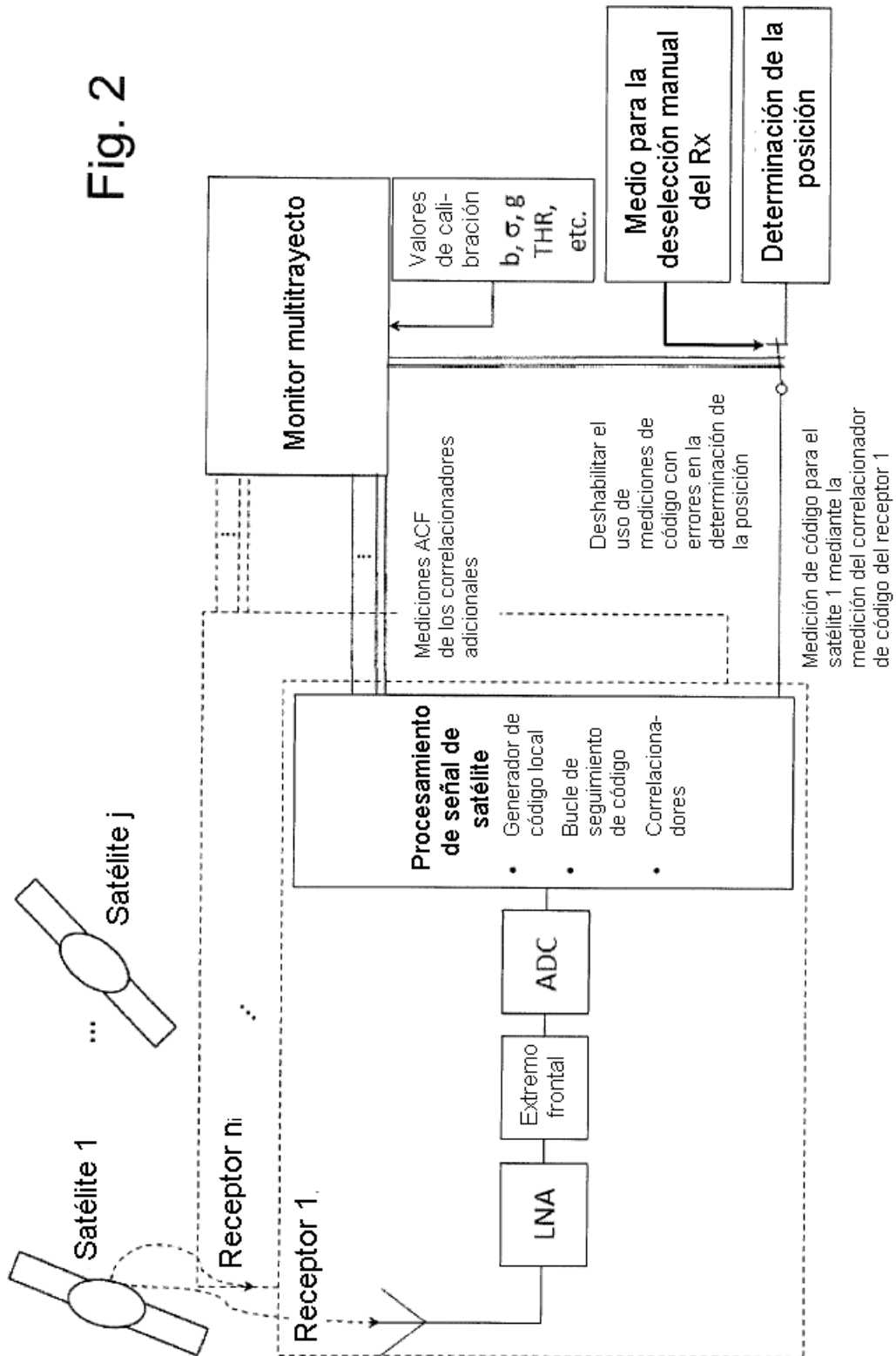


Fig. 1



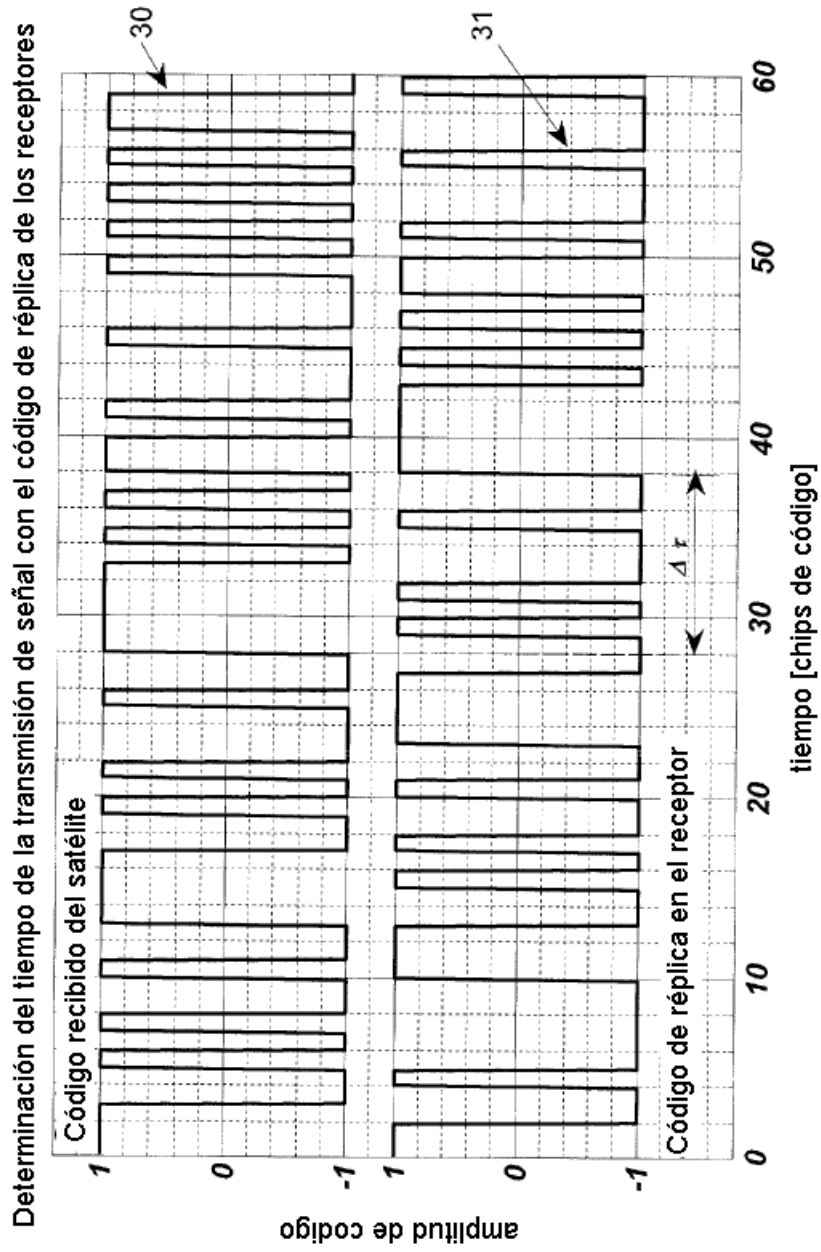


Fig. 3

Función de autocorrelación del código de réplica y del código recibido del satélite

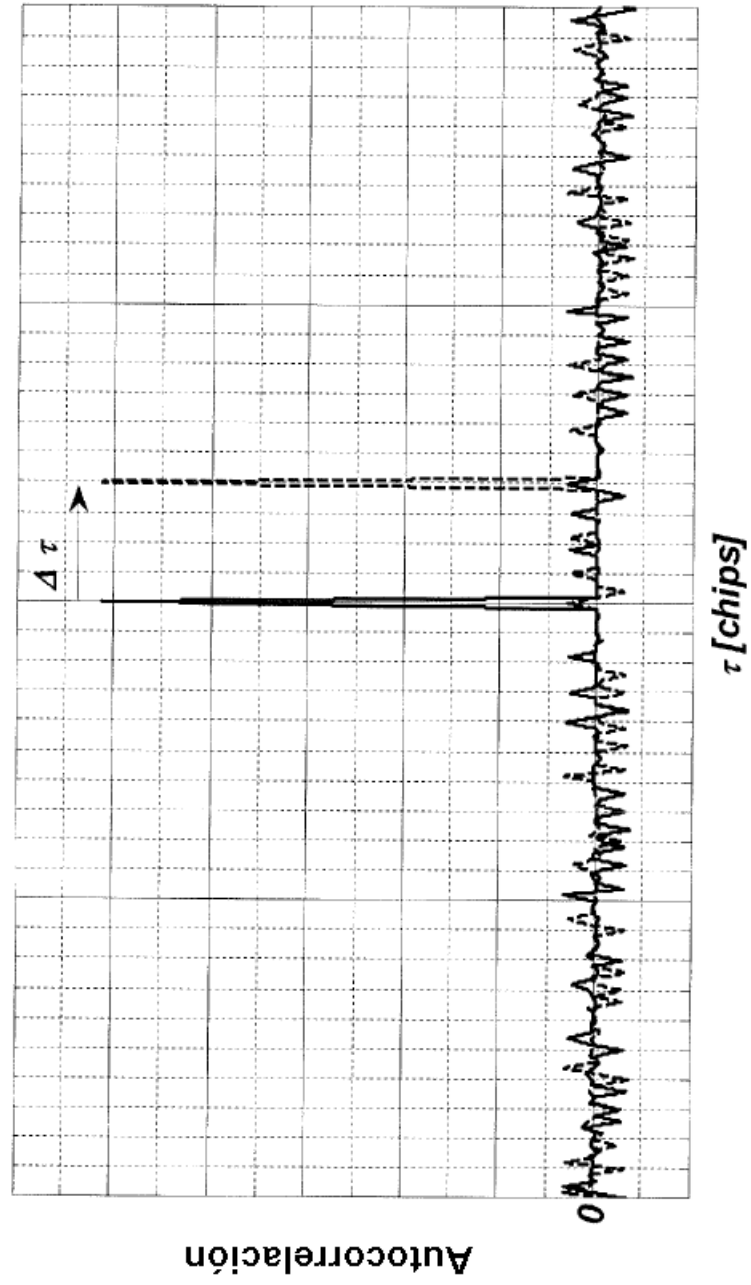


Fig. 4

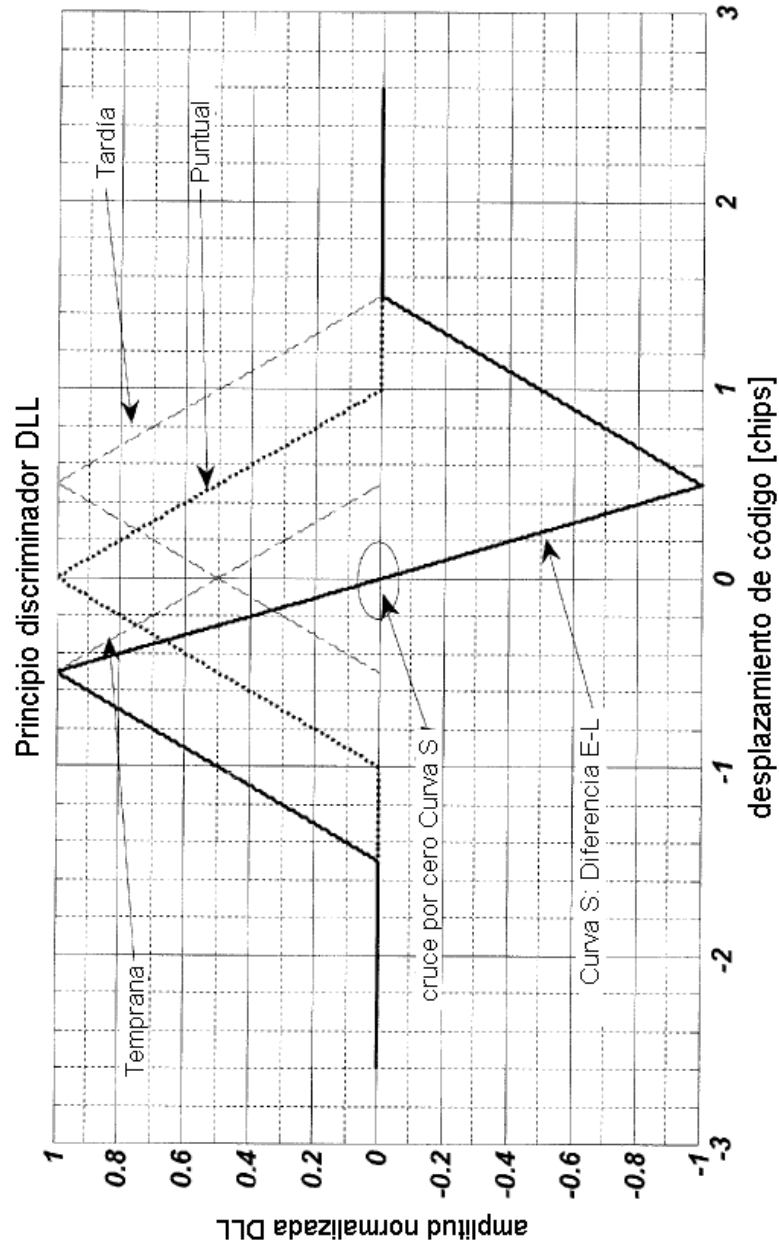


Fig. 5

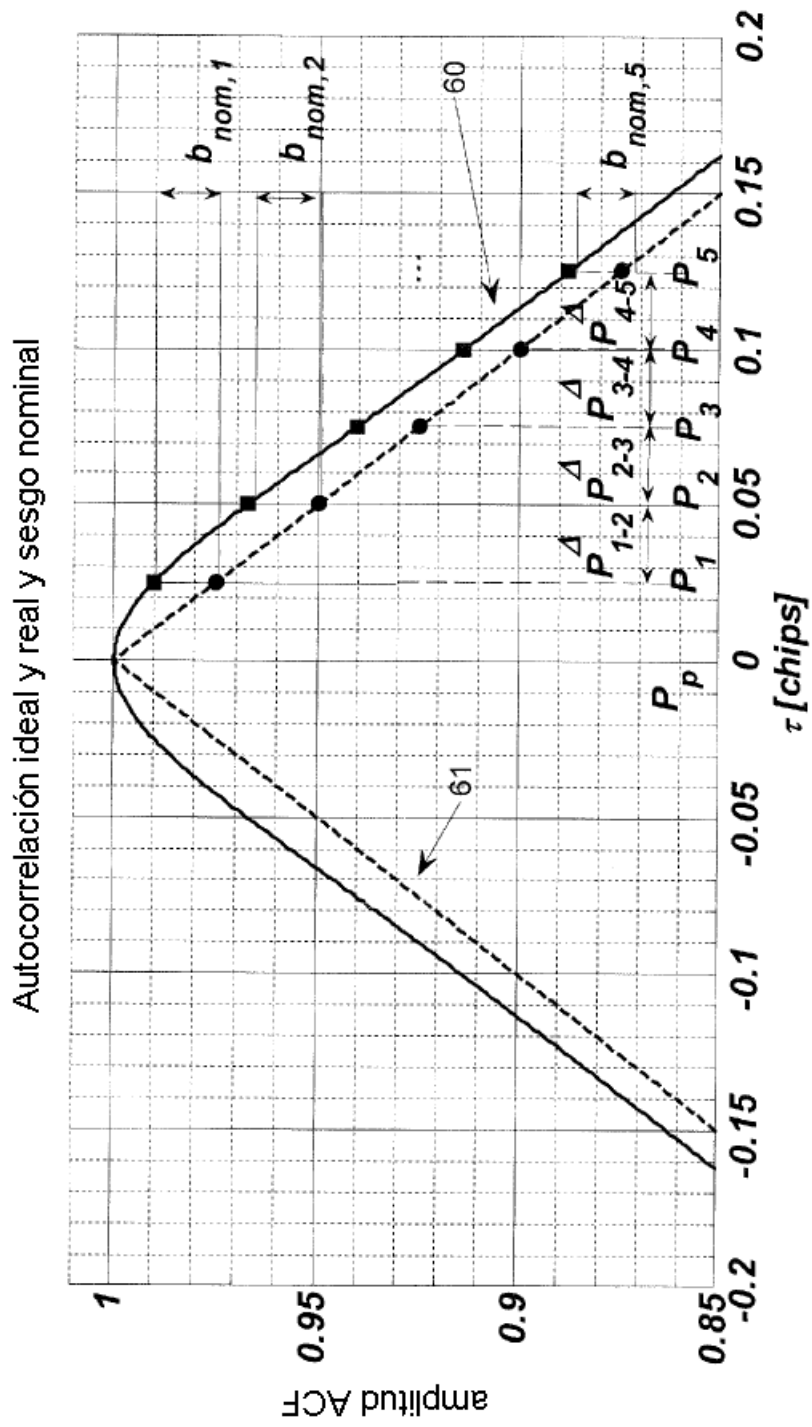


Fig. 6

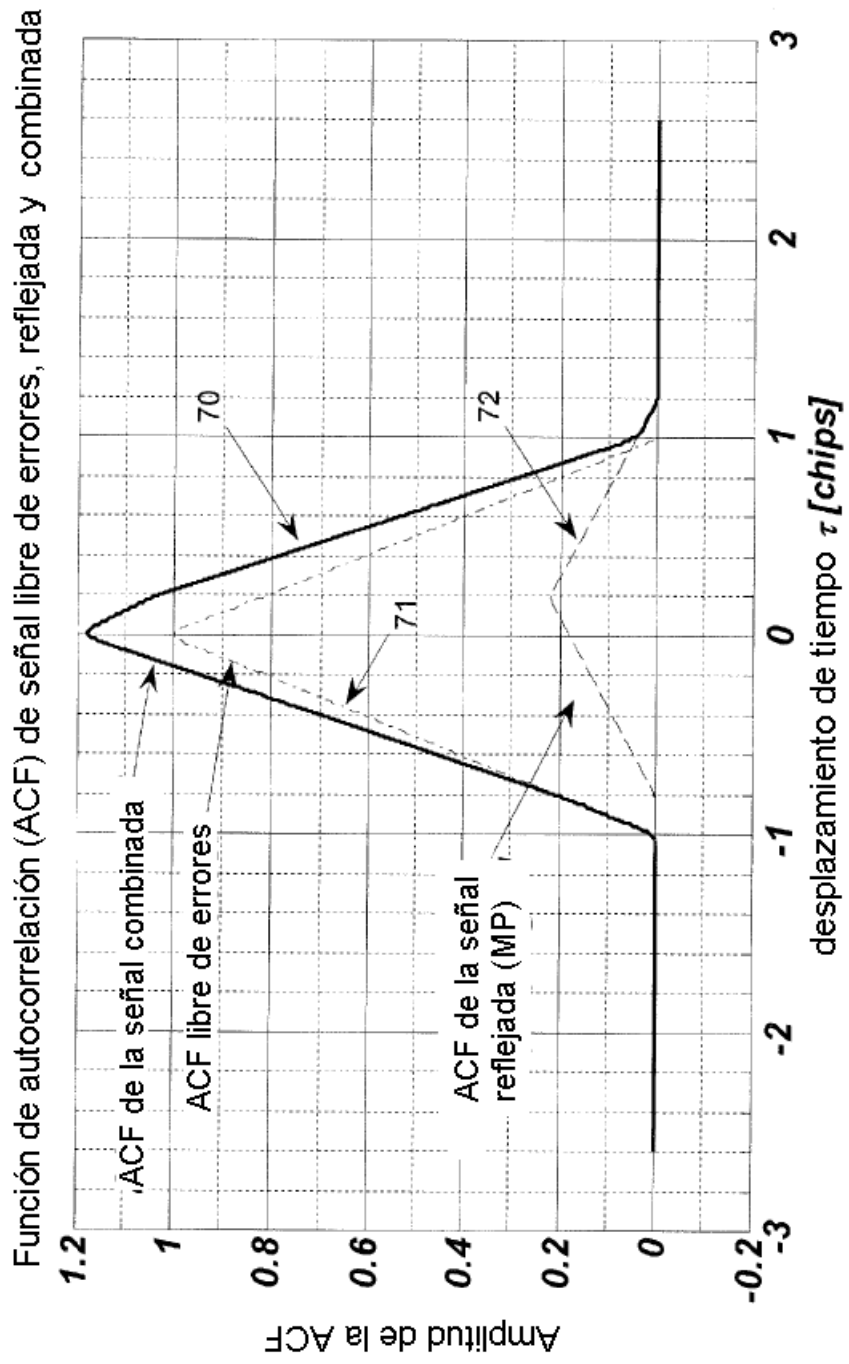


Fig. 7

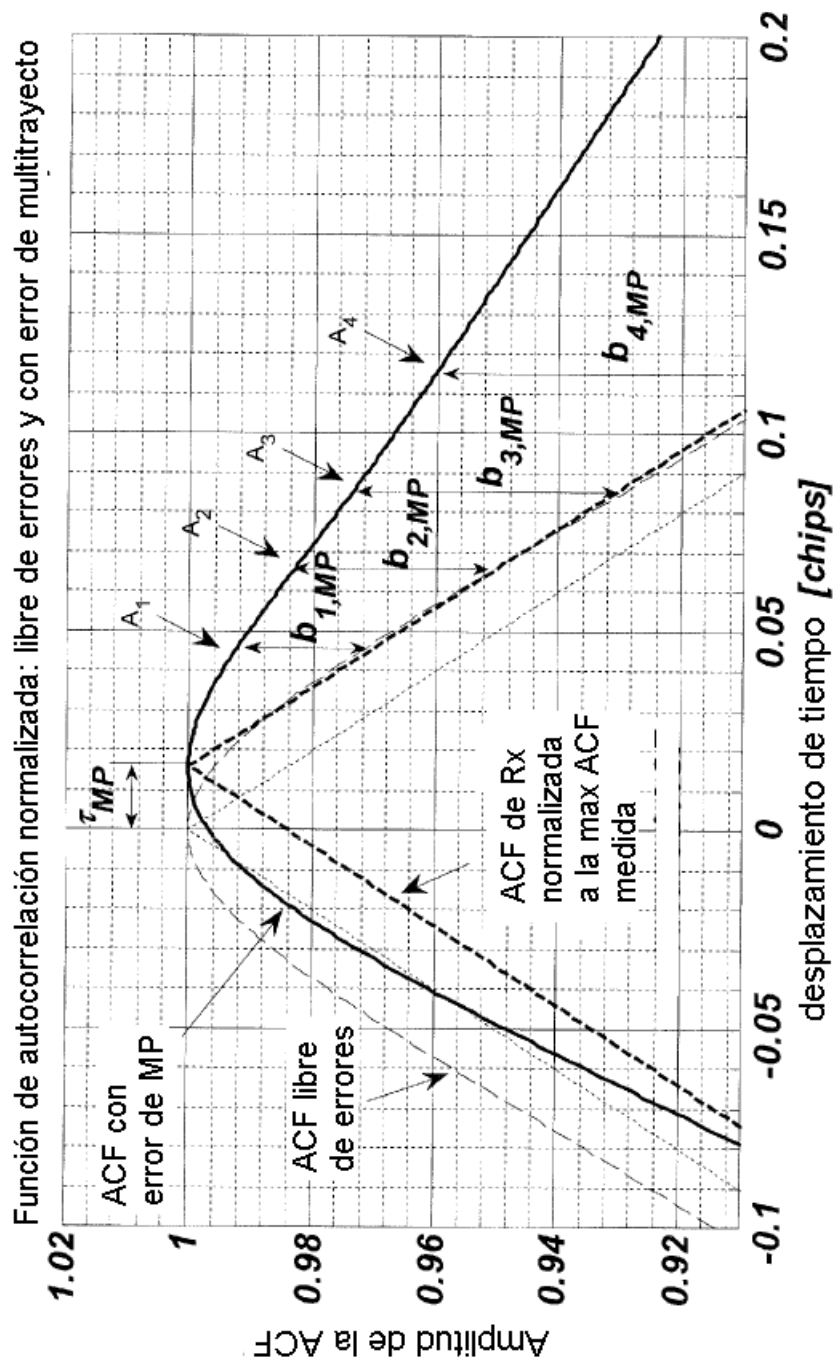


Fig. 8

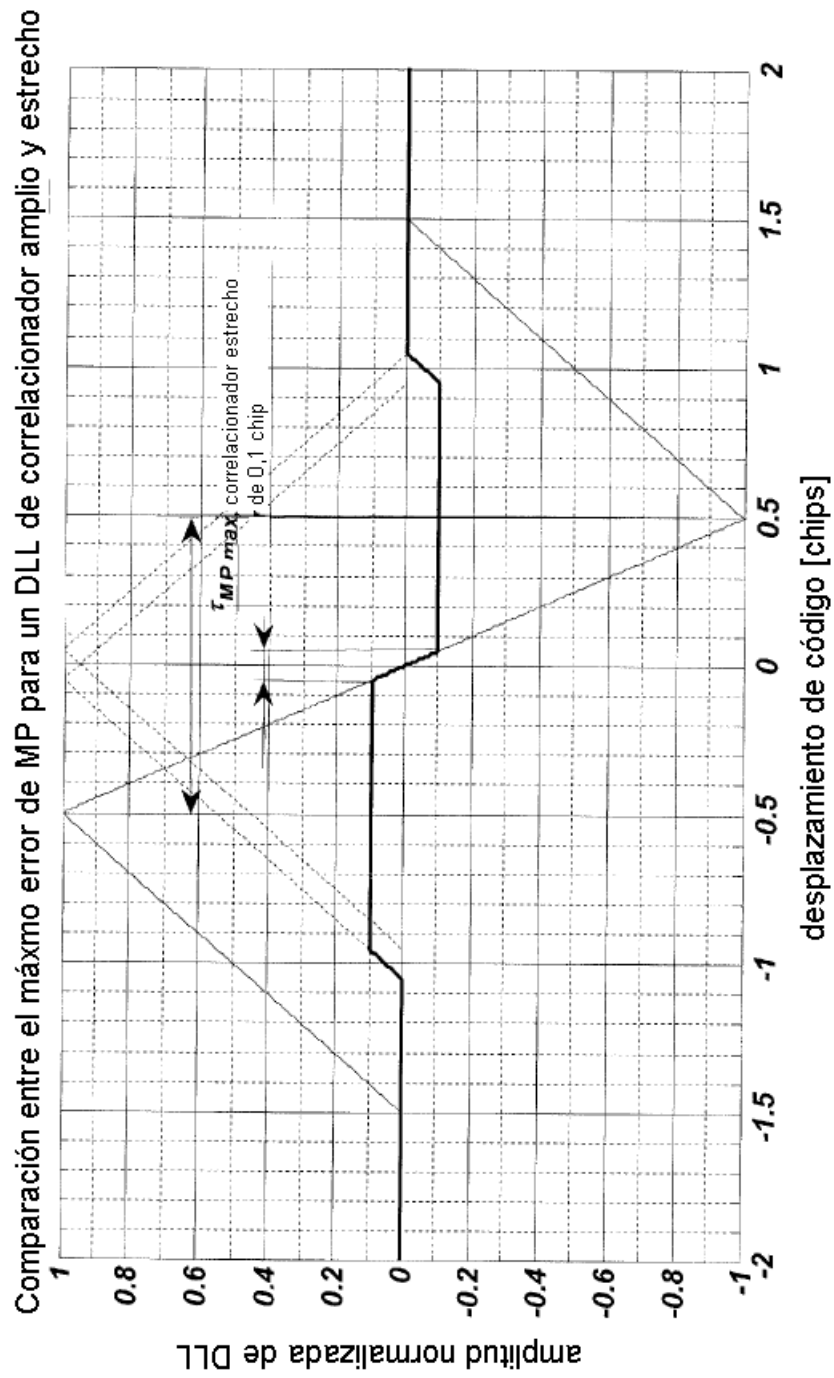
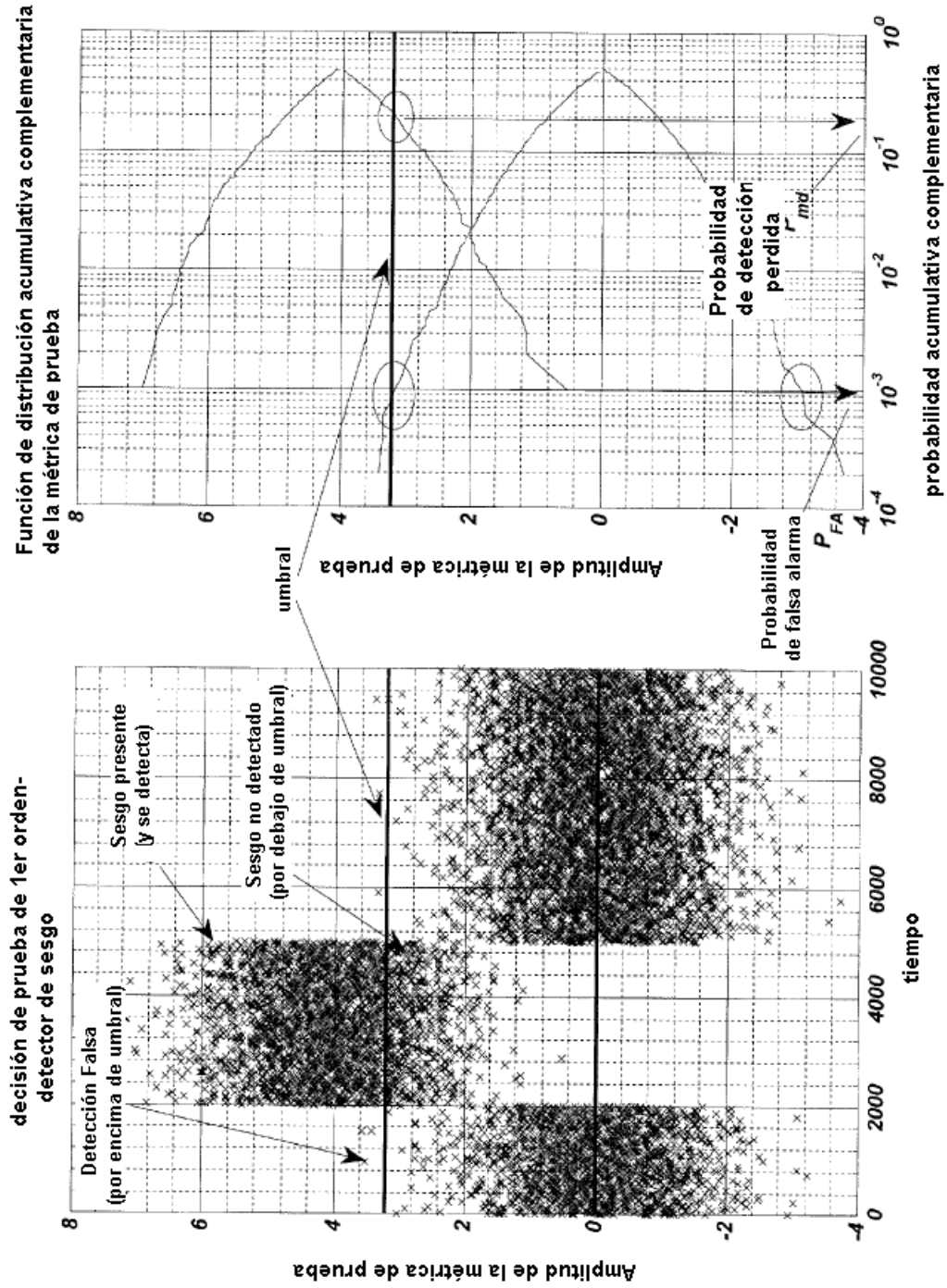


Fig. 9



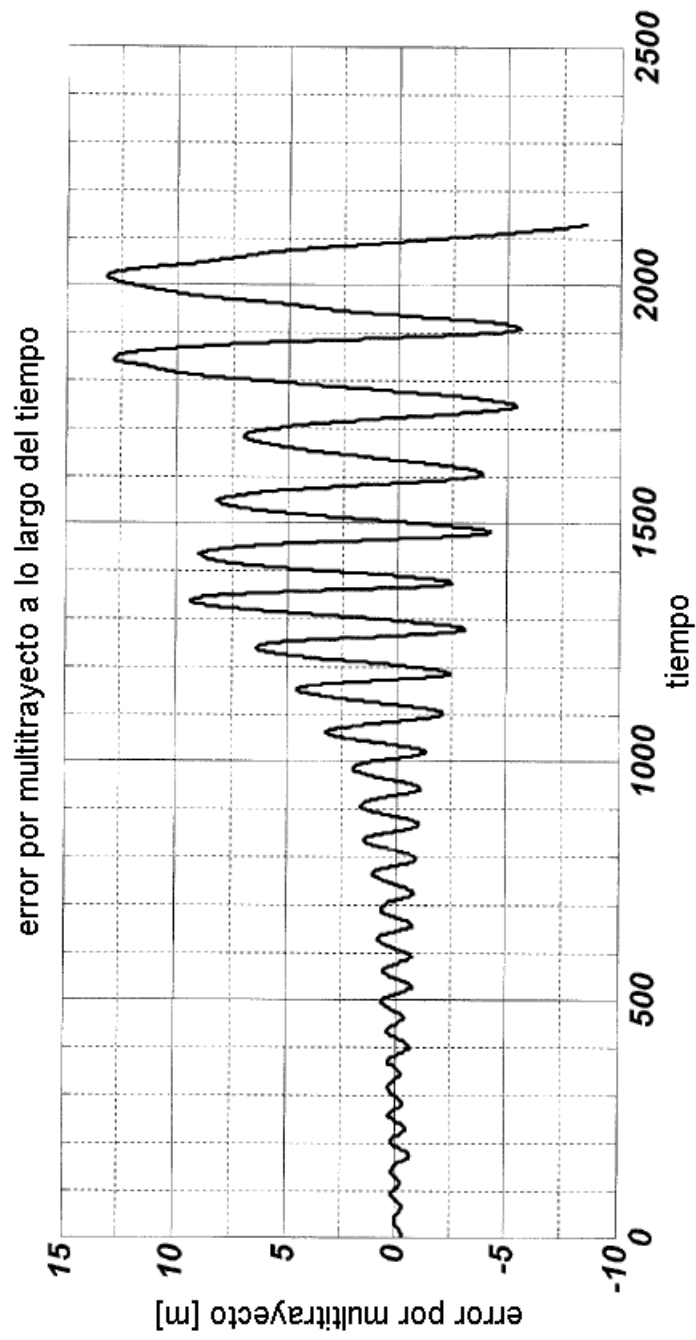


Fig. 11

Distribuciones de densidad de la probabilidad para ruido blanco y una señal con error de multitrayecto

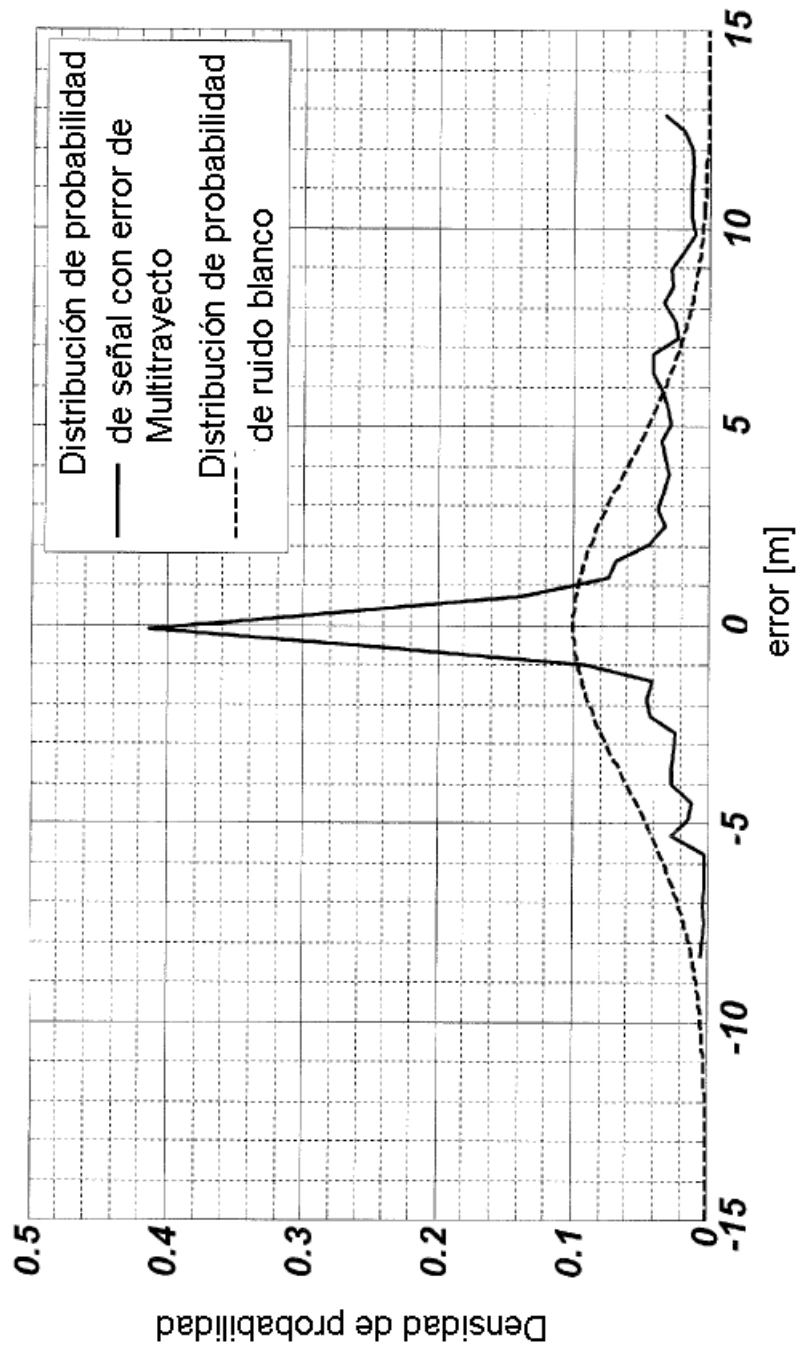


Fig. 12

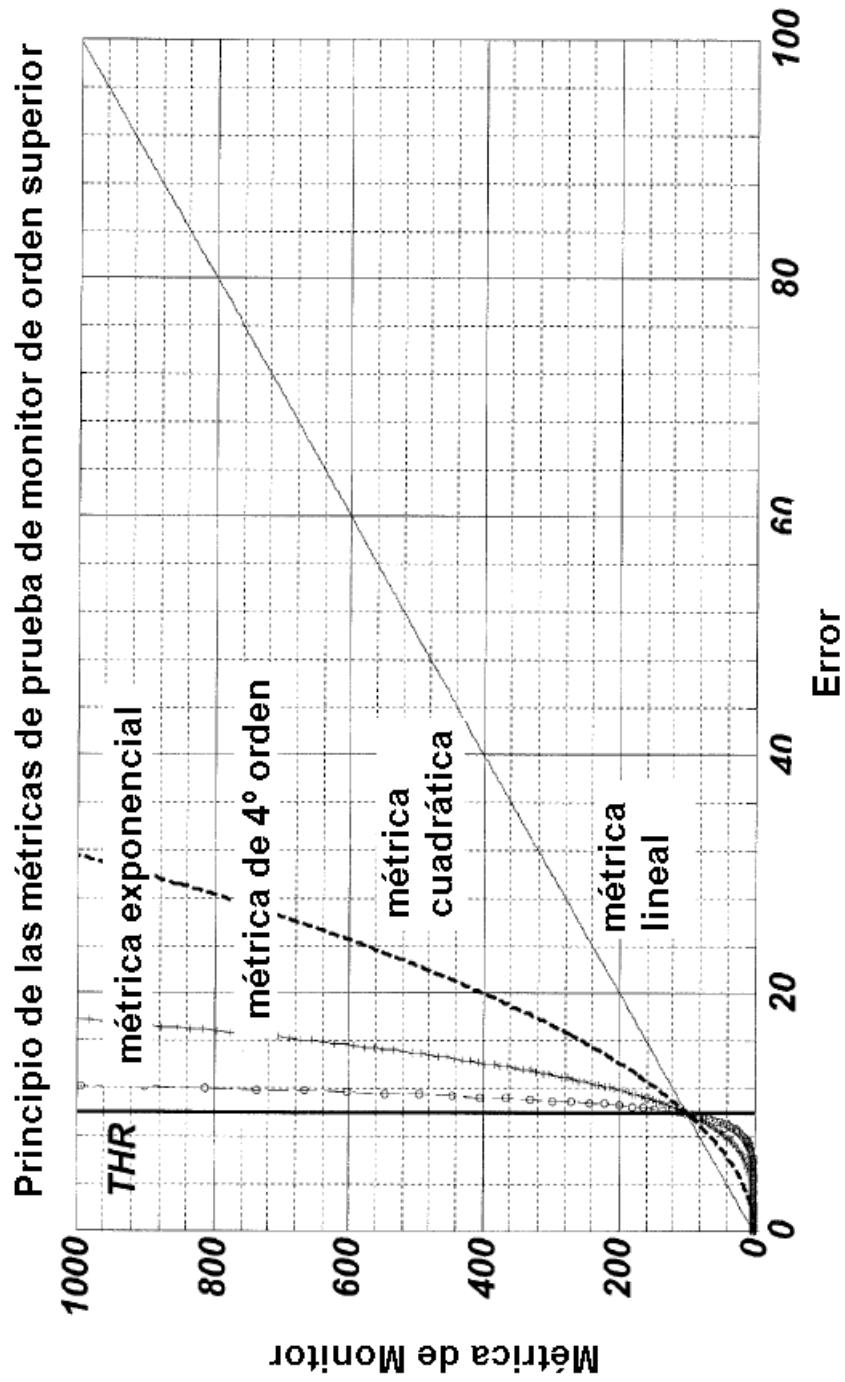


Fig. 13

Fig. 14a

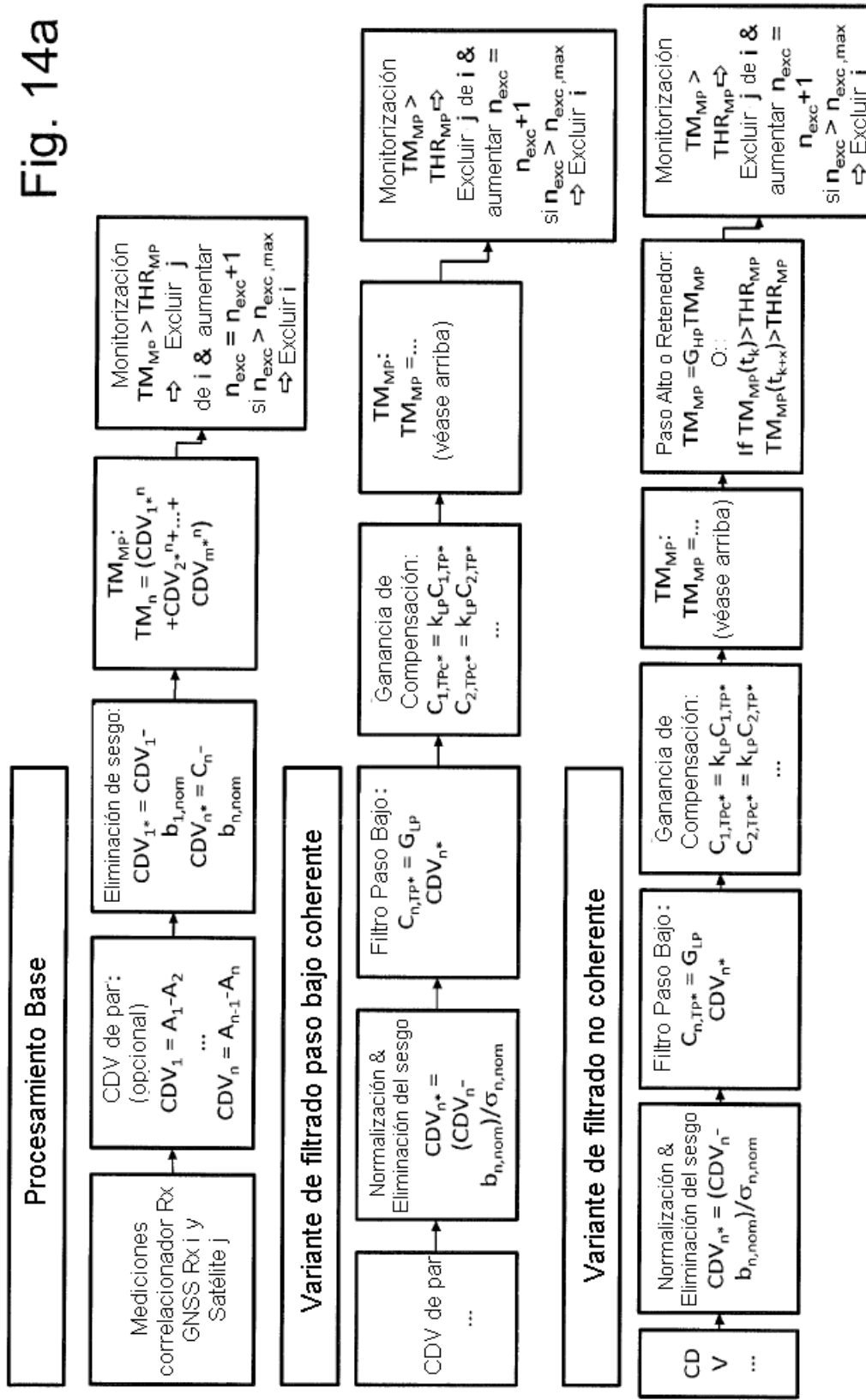


Fig. 14b

