



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 294 549**

(51) Int. Cl.:

G01S 1/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **04786560 .5**

(86) Fecha de presentación : **19.08.2004**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1660903**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **31.05.2006**

(54) Título: **Método para monitorizar la integridad de un receptor autónomo, detección y eliminación de fallos.**

(30) Prioridad: **05.09.2003 US 656956**

(73) Titular/es: **Navcom Technology, Inc.
20780 Madrona Avenue
Torrance, California 90503, US**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.04.2008

(72) Inventor/es: **Hatch, Ronald, R.;
Sharpe, Richard, T. y
Yang, Yunchun**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.04.2008

(74) Agente: **Ungría López, Javier**

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 monitorizar la integridad de un receptor autónomo, detección y eliminación de fallos.

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a la Detección y Eliminación de Fallos (FDE) en un proceso controlado de tiempo discreto, y particularmente a métodos para Monitorizar la Integridad de un Receptor Autónomo (RAIM) en un sistema de posicionamiento global (GPS).

10 Antecedentes de la invención

El GPS utiliza satélites en el espacio para localizar objetos en la tierra. Con el GPS, las señales de los satélites llegan a un receptor GPS y se usan para determinar la posición del receptor GPS. Actualmente, están disponibles los 15 dos tipos de mediciones GPS que corresponden a cada tipo de canal correlacionador con una señal de satélite GPS fija para receptores GPS civiles. Los dos tipos de mediciones GPS son seudo-intervalo, y fase portadora integrada para dos señales portadoras L1 y L2, con frecuencias de 1,5754 GHz y 1,2276 GHz, o longitudes de onda de 0,1903 m y 0,2442 m respectivamente. La medición seudo-intervalo (o medición del código) es observable por un GPS básico que pueden realizar todos los tipos de receptores GPS. Utiliza los códigos C/A o P modulados sobre las señales 20 portadoras. La medición mide el tiempo aparente empleado por el código pertinente para viajar desde el satélite al receptor, es decir, el tiempo en el que llega la señal al receptor de acuerdo con el reloj del receptor menos el tiempo en el que la señal que dejó el satélite de acuerdo con el reloj del satélite. La medición de la fase de la portadora se obtiene integrando una portadora reconstruida de la señal según llega al receptor. De este modo, la medición de la fase de la portadora es también una medida de la diferencia del tiempo de transito como se determina por el tiempo en el que la señal dejó el satélite de acuerdo con el reloj del satélite y el tiempo en el que llega al receptor de acuerdo con el reloj 25 del receptor. Sin embargo, como usualmente no se conoce el número inicial de ciclos enteros en el transito entre el satélite y el receptor cuando el receptor comienza a seguir la fase de la portadora de la señal, la diferencia de tiempo de tránsito puede estar confundida en un múltiplo de ciclos de portadora, es decir, hay una ambigüedad de ciclos enteros en la medición de la fase de la portadora.

30 Con las mediciones GPS disponibles, el intervalo o distancia entre un receptor GPS y cada uno de la multitud de satélites se calcula multiplicando el tiempo de viaje de la señal por la velocidad de la luz. Estos intervalos se denominan usualmente seudo-intervalos (falsos intervalos) porque el reloj del receptor generalmente tiene un error de tiempo significativo que causa una deriva común en el intervalo medido. Esta deriva común del error del reloj del receptor 35 es resuelve junto con las coordenadas de posición del receptor como parte de la computación normal de navegación. Otros factores diversos pueden conducir también a errores o ruido en el intervalo calculado, incluyendo el error de efemérides, el error de temporización del reloj del satélite, los efectos atmosféricos, el ruido del receptor y el error multi-trayectoria. Con la navegación GPS independiente, en la que un usuario con un receptor GPS obtiene los intervalos 40 de código y/o de la fase de portadora con respecto a una pluralidad de satélites a la vista, sin consultar con ninguna estación de referencia, el usuario está muy limitado en los modos para reducir los errores o ruidos en los intervalos.

Para eliminar o reducir estos errores, se utilizan típicamente las operaciones diferenciales en las aplicaciones GPS. Las operaciones de GPS diferencial (DGPS) típicamente involucran un receptor GPS de referencia base, un receptor GPS de usuario, y un mecanismo de comunicación entre el usuario y los receptores de referencia. El receptor 45 de referencia está situado en una localización conocida y la posición conocida se usa para generar las correcciones asociadas con algunos o todos los factores de error anteriores. Las correcciones se suministran al receptor del usuario y el receptor del usuario usa a continuación las correcciones para corregir aproximadamente su posición computada. Las correcciones pueden ser en la forma de correcciones a la posición del receptor de referencia determinadas en el sitio de referencia o en la forma de las correcciones al reloj y/o órbita del satélite específico. Las correcciones a la 50 posición del receptor de referencia no son tan flexibles como las correcciones al reloj o a la órbita del satélite GPS porque, para una precisión óptima, se requiere que se observen los mismos satélites por el receptor del usuario y por el receptor de referencia.

El concepto fundamental de GPS Diferencial (DGPS) es aprovecharse de las correlaciones espacial y temporal de 55 los errores inherentes en las mediciones GPS para cancelar los factores de ruido en las mediciones de seudo-intervalo y/o la fase de portadora resultante de estos factores de error. Sin embargo, mientras que el error de temporización del reloj del satélite GPS, que aparece como una deriva sobre las mediciones de seudo-intervalo o de la fase de la portadora, está perfectamente correlacionado entre el receptor de referencia y el receptor del usuario, la mayor parte de los otros errores son o no correlacionados o la correlación disminuye en aplicaciones de área amplia, es decir, 60 cuando la distancia entre los receptores de referencia y de usuario se hace grande.

Para superar la imprecisión del sistema DGPS en aplicaciones de área amplia, se han desarrollado diversas técnicas de DGPS de área amplia (WADGPS). El WADGPS incluye una red de múltiples estaciones de referencia en comunicación con un centro de computación o servidor (hub). Las correcciones de error se computan en el servidor 65 en base a las localizaciones conocidas de las estaciones de referencia y las mediciones tomadas por los mismos. Las correcciones de error computadas se transmiten a continuación a los usuarios a través de un enlace de comunicaciones tal como un satélite, teléfono o radio. Usando las estaciones de referencia múltiples, el WADGPS proporciona una estimación más precisa de las correcciones de error.

ES 2 294 549 T3

De este modo, un usuario con un receptor GPS puede usar diferentes modos de navegación, es decir, GPS independiente, DGPS, WADGPS, DGPS de fase de portadora, etc. Con cualquiera de los modos de navegación que se use, hay siempre la posibilidad de que el intervalo con respecto a un satélite se compute en base a una medida defectuosa, tal como una medición con respecto a un satélite que falla. Cuando se use este intervalo para determinar la posición del usuario, resultaría una posición errónea o equivocada. De este modo una medición defectuosa puede causar una seria degradación a la fiabilidad e integridad del sistema GPS. Por lo tanto, se han desarrollado diversas técnicas de monitorización de la integridad para la detección y eliminación de fallos (FDE) en los sistemas GPS. La monitorización de la integridad de los receptores autónomos (RAIM) es el término acuñado por la FAA para los métodos de monitorización de la integridad en el GPS usando mediciones de satélites GPS redundantes.

La bibliografía sobre los procedimientos RAIM y FDE es extensa. La mayor parte de los procedimientos en la bibliografía, sin embargo, están relacionados con el uso de la aviación e intenta limitar el error probable en el dominio de la posición. Como resultado, generalmente involucran unas computaciones muy extensas. Uno de los documentos más tempranos que describen un procedimiento RAIM es el documento de Brown y McBurney, "Self-Contained GPS Integrity Check Using Maximum Solution Separation" Navigation Vol. 35, N° 1, páginas 41-53. En este documento, el autor sugiere: (1) obtener mediciones GPS con respecto a n satélites a la vista; (2) para cada uno de los n satélites, resolver la posición de usuario en base a las mediciones con respecto a los otros (n-1) satélites; (3) computar todas las posibles distancias entre las soluciones en el plano horizontal y determinar una distancia máxima entre las distancias posibles; y (4) usar la distancia máxima como una comprobación estadística y declarar un fallo cuando la distancia máxima excede un umbral. Claramente, esta técnica es muy intensa desde el punto de vista computacional y no aisla la medición en particular o satélite que está en fallo.

Otro documento temprano es el de Parkinson y Axelrad "Autonomous GPS Integrity Monitoring Using the Pseudorange Residual" Navigation, Vol. 35, N° 2, páginas 255-271. En este documento, los autores sugieren una comprobación estadística excelente basada sobre los residuos de la medición seudo-intervalo, pero cuando procede a usar la comprobación estadística para aislar el satélite en fallo, usa un esquema similar al usado por Brown y McBurney, es decir, para cada uno de la pluralidad de satélites computan una comprobación estadística mientras que se deja fuera la medición con respecto al satélite. De nuevo, este procedimiento presenta una excesiva carga computacional.

El documento US 5931 889 describe un sistema receptor de navegación por satélite asistido por un reloj para monitorizar la integridad de las señales de satélite en las cuales se realiza una corrección entre el error de posición y el error de deriva del reloj en presencia de señales defectuosas desde un satélite en un sistema de navegación por satélite.

35 Sumario

De acuerdo con un aspecto de la presente invención se proporciona un método y un sistema de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas.

Un método para detectar e identificar una medición defectuosa de entre una pluralidad de mediciones GPS, obtenida por un receptor GPS con respecto a una pluralidad de satélites a la vista del receptor GPS, determina si la pluralidad de mediciones GPS incluye una medición defectuosa. En respuesta a la determinación de que la pluralidad de mediciones GPS incluye una medición defectuosa, el método identifica el satélite que contribuye a la medición defectuosa computando el valor de correlación asociado con cada uno de la pluralidad de satélites, y seleccionando el satélite asociado con el valor de correlación más elevado como el satélite que contribuye a la medición defectuosa. En una realización, para asegurar que se ha identificado el satélite correcto, se selecciona el satélite asociado con el valor de correlación más elevado cuando el valor de la correlación más elevado excede un valor umbral predeterminado y el valor del umbral predeterminado es suficientemente más grande que el segundo valor de la correlación más elevado. En una realización alternativa, se selecciona el satélite asociado con el valor de correlación más elevado cuando la diferencia entre el valor de la correlación más elevado y el segundo valor de correlación más elevado excede un umbral predeterminado.

En algunas realizaciones, se determina si las mediciones GPS incluyen una medición defectuosa, computando la comprobación estadística que usa los residuos post-fijación correspondientes a la pluralidad de mediciones GPS, y comparando la comprobación estadística con el valor umbral del residuo que se elige en base al modo de navegación usado por el receptor GPS. Se detecta una medición defectuosa, si la comprobación estadística excede el valor umbral del residuo.

En algunas realizaciones, el valor de correlación asociado con un satélite es el valor absoluto del coeficiente de correlación asociado con el satélite. El coeficiente de correlación se computa en base a la matriz de sensibilidad de residuos correspondiente a la pluralidad de satélites y un vector de residuos que incluye los residuos post-fijación correspondientes a la pluralidad de mediciones GPS.

En algunas realizaciones, el tamaño del error en la medición GPS defectuosa se determina en base a la matriz de sensibilidad de residuos correspondiente a la pluralidad de satélites y a la media cuadrática de los residuos.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de ordenador que puede usarse para realizar un método para detectar e identificar una medición GPS defectuosa o el satélite que contribuye a la medición GPS defectuosa.

5 La figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra el método para detectar e identificar la medición GPS defectuosa o el satélite que contribuye a la medición defectuosa.

10 La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un método para determinar si una pluralidad de mediciones de GPS incluye una medición GPS defectuosa.

15 La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un método para identificar una medición GPS defectuosa de entre una pluralidad de mediciones GPS.

20 La figura 5A es un diagrama de flujo que ilustra un método para identificar el satélite con el valor de correlación más elevado como el satélite que contribuye a la medición GPS defectuosa.

25 La figura 5B es un diagrama de flujo que ilustra otro método para identificar el satélite con el valor de correlación más elevado como el satélite que contribuye a la medición GPS defectuosa.

30 La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un método para verificar que el satélite que contribuye a la medición defectuosa se ha identificado correctamente.

Descripción de las realizaciones

35 La Figura 1 ilustra un sistema de ordenador 100 que puede usarse para realizar el método de detectar e identificar una medición GPS defectuosa de entre una pluralidad de mediciones GPS. Cada una de la pluralidad de mediciones GPS se toma por el receptor GPS 122 en base a las señales procedentes de uno de la pluralidad de satélites 110-1, 110-2, . . . , 110-n, donde n es el número de satélites a la vista del receptor GPS 122. La pluralidad de satélites, o uno cualquiera o más de ellos, se denominan a veces en este documento de ahora en adelante como satélite(s) 110. En algunas realizaciones, el receptor GPS 122 y el sistema de ordenador 100 están integrados en un dispositivo único, dentro de una alojamiento único, tal como un dispositivo de seguimiento de posición portátil, de mano o incluso para llevar puesto, o montado en un vehículo o de lo contrario un sistema de posicionamiento y/o navegación móvil. En otras realizaciones, el receptor GPS 122 y el sistema de ordenador 100 no están integrados dentro de un dispositivo único.

40 Como se muestra en la Figura 1, el sistema de ordenador 100 incluye una unidad de procesamiento central (CPU) 126, memoria 128, un puerto de entrada 134 y un puerto de salida 136, y (opcionalmente) una interfaz de usuario 138, acoplada a cada uno de los otros por uno o más buses de comunicaciones 129. La memoria 128 puede incluir una memoria de acceso aleatorio de alta velocidad y puede incluir un almacenamiento de masa no volátil, tal como un o más dispositivos de almacenamientos de disco magnético. La memoria 128 preferiblemente almacena un sistema de operativo 131, una base de datos 133, y unos procedimientos de aplicación de GPS 135. Los procedimientos de aplicación GPS pueden incluir los procedimientos 137 para implementar el método para detectar e identificar la medición GPS defectuosa, como se describe con más detalle a continuación. El sistema operativo 131 y los programas de aplicación y procedimientos 135 y 137 almacenados en la memoria 128 son para su ejecución por la CPU 126 del sistema de ordenador 124. La memoria 128 preferiblemente también almacena las estructuras de datos usadas durante la ejecución de los procedimientos de aplicación GPS 135 y 137, incluyendo las mediciones de los seudo-intervalos GPS y de la fase de portadora 139, así como otras estructuras de datos tratadas en este documento.

45 El puerto de entrada 134 es para recibir datos desde el receptor GPS 122, y el puerto de salida 136 se usa para sacar datos y/o resultados de los cálculos. Los datos y los resultados de los cálculos pueden también mostrarse sobre un dispositivo de pantalla de la interfaz de usuario 138.

50 La Figura 2 ilustra un método 200 para detectar e identificar una medición GPS defectuosa de entre una pluralidad de mediciones GPS obtenidas por el receptor GPS 122 con respecto a la pluralidad de satélites 110. Como se muestra en la Figura 2, el método 200 incluye la etapa 210 para determinar si la pluralidad de mediciones GPS incluyen una medición defectuosa. En respuesta a la determinación en la etapa 210 de que la pluralidad de mediciones GPS incluye una medición defectuosa, el método 200 incluye además la etapa 220 en la que se aísla o se identifica la medición defectuosa de entre la pluralidad de mediciones GPS, o se aísla o se identifica el satélite que contribuye a la medición defectuosa de entre la pluralidad de satélites. Con el satélite que contribuye a la medición defectuosa identificado, el método 200 puede incluir una etapa opcional 230 en el que se determina el tamaño del error en la medición defectuosa, y una etapa opcional 240 para verificar que se ha realizado la identificación correcta.

55 La Figura 3 ilustra una realización de un método 300 para determinar si las mediciones GPS incluyen una medición defectuosa en la etapa 210. Como se muestra en la Figura 3, el método 300 incluye una etapa 310 en la que se computan los residuos post-fijación correspondientes a la pluralidad de mediciones GPS y la etapa 320 en la que se forma una comprobación estadística usando los residuos post-fijación y se comparan con un umbral para determinar si la pluralidad de mediciones GPS incluyen una medición defectuosa. Un residuo de una medición GPS representa

ES 2 294 549 T3

un desacuerdo entre la medición GPS y la predicción o valor esperado de la medición GPS. Antes de que se ajusten la posición y la desviación del reloj del receptor GPS, los residuos se denominan a menudo como residuos pre-fijación o innovaciones de la medición. Una innovación de la medición puede computarse en base a la diferencia entre la medición GPS y una predicción teórica de la medición GPS. Como alternativa, una innovación de medición correspondiente a una medición GPS puede computarse como la diferencia entre la medición GPS y el valor esperado de la medición GPS computada desde un estado inicial estimado del receptor GPS, como se trata a continuación.

Cualquiera que sea el modo de navegación, la navegación con GPS involucra un proceso de tiempo discreto que está gobernado por la ecuación lineal de diferencia estocástica:

10

$$Hx = z + n \quad (1)$$

15 donde x es el vector de estado del proceso controlado de tiempo discreto y , en el caso del GPS, incluye las correcciones a la posición y la deriva del reloj del receptor GPS, H es la matriz de sensibilidad de mediciones que incluye los cosenos directores del vector de estado o vectores unidad del receptor GPS para cada uno de los n satélites, z es un vector de innovación de medición que incluye las innovaciones de medición correspondientes a la pluralidad de mediciones GPS, y n es el vector de ruido de la medición. En el caso de las mediciones de fase de la portadora, el vector de estado puede incluir un factor de ambigüedad desconocido.

20

Los residuos post-fijación se obtienen usualmente en un proceso de dos etapas. En primer lugar se realiza para x una solución de mínimos cuadrados, es decir,

25

$$\hat{x} = (H^T H)^{-1} H^T z \quad (2)$$

o,

30

$$\hat{x} = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} z \quad (3)$$

35

para una solución de mínimos cuadrados ponderados, R en la ecuación 4 es una matriz de la covarianza de las mediciones y

40

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \bullet & \bullet & \bullet & 0 \\ \bullet & \bullet & & & \bullet \\ \bullet & & \bullet & & \bullet \\ \bullet & & & \bullet & \bullet \\ 0 & & & & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

45

donde σ_i para $i = 1, 2, \dots, n$ representa la desviación típica de los ruidos de medición GPS con respecto al satélite de orden i . Un ejemplo de los métodos para calcular σ_i pueden encontrarse en "Precision, Cross Correlation, and Time Correlation of GPS Phase and Code Observations" de Peter Bona, GPS Solutions, Vol. 4, Nº 2, Otoño de 50 2000, páginas 3-13, o en "Tightly Integrated Attitude Determination Methods for Low Cost Inercial Navigation: Two-Antenna GPS and GPS/Magnetometer" de Yang Y, Ph. D. Dissertation, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de California, Riverside, California Junio de 2001.

55

La corrección al estado como se calcula en la Ecuación (3) o (4) se usa para transformar las innovaciones de medición (residuos pre-fijación) en un conjunto de residuos post-fijación en la etapa 310 del método 300, de acuerdo con las ecuaciones siguientes

60

$$\Delta = Sz \quad (5)$$

donde Δ es un vector de residuos que incluye como elementos los residuos de post-fijación correspondientes a la pluralidad de mediciones GPS, y S es una matriz de sensibilidad de residuos:

65

$$S = (I - H(H^T H)^{-1} H^T) \quad (5a)$$

o bien,

ES 2 294 549 T3

$$S = (I - H(H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1}) \quad (5b)$$

5 S se llama matriz de sensibilidad de residuos porque es una matriz cuyos elementos son los residuos correspondientes a los cambios de unidad en las innovaciones de la medición. Esto puede explicarse a través de las siguientes proposiciones. La ecuación (1) puede expandirse para incluir un conjunto de vectores de estado correspondientes a un conjunto de vectores de innovación de mediciones arbitrarias:

10 $HX = Z \quad (6)$

15 donde X incluye un conjunto de vectores de estado x_1, x_2, \dots, x_n correspondiente a un conjunto de vectores de innovación de mediciones arbitrarias z_1, z_2, \dots, z_n . Ahora, si hacemos que Z sea una matriz identidad, obtenemos los vectores de estado correspondientes a un conjunto de vectores de innovación de mediciones representando cada uno un cambio de una unidad única (por ejemplo, un medidor o cualquier unidad arbitraria) en la innovación de medición del diferente satélite respectivo de la pluralidad de satélites mientras que las innovaciones de medición de los otros satélites permanecen sin cambiar, como se muestra en la siguiente ecuación:

20 $HX = I \quad (7)$

La solución de los mínimos cuadrados para X es entonces:

25 $\hat{X} = (H^T H)^{-1} H^T \quad (8)$

Para una solución de mínimos cuadrados ponderados esta se convierte en:

30 $\hat{X} = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} \quad (9)$

35 Multiplicando la ecuación (8) por H da una predicción acerca de las innovaciones de medición de cada satélite basadas sobre la solución de los mínimos cuadrados:

$$H\hat{X} = H(H^T H)^{-1} H^T \quad (10)$$

40 Restando esta predicción del valor de la entrada de las innovaciones, es decir, la matriz identidad, obtenemos una matriz que incluye los residuos de los cambios de unidad en las innovaciones de la medición, que es la matriz de sensibilidad de los residuos S en la Ecuación (5a) o (5b). Como se muestra en la Ecuación (5), la matriz S puede usarse para mapear directamente los residuos de pre-fijación (innovaciones de la medición) dentro de los residuos de post-fijación.

45 De este modo, cada columna (o fila) de la matriz S incluye residuos correspondientes al cambio de unidad en la innovación de medición de un satélite de la pluralidad de satélites mientras que las innovaciones de medición del resto de la pluralidad de satélites se mantienen sin cambio. La matriz S tiene varias propiedades interesantes; es simétrica, es idempotente, es decir $S = S^2 = S^3 = \dots$; la suma de los elementos de cualquier fila o columna es igual a cero; y la longitud de cualquier fila o columna es igual a la raíz cuadrada del elemento diagonal asociado. Como el vector de estado, x, tiene cuatro elementos para la mayor parte de los modos de navegación, el rango de S es n-4 donde n es el número de satélites.

50 55 Con la matriz S, pueden computarse los residuos post-fijación en el vector de residuos Δ de acuerdo con la Ecuación (5) en la etapa 310. Los residuos post-fijación pueden usarse para computar la media cuadrática de los residuos, δ , que es el valor de la norma (o longitud) del vector de residuos Δ dividido por el número de mediciones, n, es decir,

60
$$\delta = \sqrt{\frac{\Delta^T \Delta}{n}} \quad (11)$$

65 Después de computar los residuos post-fijación en la etapa 310, el método 300 incluye además la etapa 320 en la cual se usan los residuos post-fijación o la media cuadrática de los residuos para formar una comprobación estadística, que se compara a continuación con un umbral de fallo para determinar si la pluralidad de mediciones GPS incluyen una medición defectuosa. La comprobación estadística puede ser la media cuadrática de los residuos. O, puede ser la

ES 2 294 549 T3

longitud del vector de residuos post-fijación por la normalización apropiada para el número de satélites, tal como la raíz cuadrada de (n-4), como en la siguiente ecuación

$$5 \quad \sigma = \sqrt{\frac{\Delta^T \Delta}{n-4}} \quad (12)$$

10 Como alternativa, cuando no concierne a errores muy pequeños, el umbral de fallo puede fijarse lo suficientemente grande de modo que el factor de escala sea relativamente insignificante. De este modo, la comprobación estadística σ puede ser simplemente la longitud del vector de residuos de post-fijación, es decir,

$$15 \quad \sigma = \sqrt{\Delta^T \Delta} \quad (12a)$$

20 Cuando la comprobación estadística es mayor que el umbral de fallo, se determina que la pluralidad de mediciones GPS incluye una medición defectuosa. Como el nivel del ruido de la medición (o la precisión de posición) del receptor GPS 122 a menudo depende del modo de navegación en el que está operando el receptor de GPS, en algunas realizaciones el valor del umbral de fallo se selecciona para que corresponda al modo de navegación utilizado por el receptor GPS 122.

25 La Figura 4 ilustra una realización de un método 400 para identificar la medición defectuosa o el satélite que contribuye a la medición defectuosa en la etapa 220 de método 200. Como se muestra en la Figura 4, el método 400 incluye la etapa 410 en la que se computa el valor de la correlación asociado con cada una de la pluralidad de mediciones o con cada uno de la pluralidad de satélites, y la etapa 420 en la que el satélite asociado con el valor de correlación más alto de entre la pluralidad de satélites 110 se identifica como el satélite que contribuye a la medición defectuosa, o se identifica la medición GPS con respecto al satélite asociado con el valor más alto de correlación como la medición defectuosa.

30 En algunas realizaciones, se computa el valor de correlación asociado con cada uno de la pluralidad de satélites en base al coeficiente de correlación asociado con el satélite o con una de la pluralidad de mediciones GPS con respecto al satélite. El coeficiente de correlación asociado con un satélite, por ejemplo, el satélite de orden j , donde $j = 1, 2, \dots, n$, representa una correlación entre los residuos de la pluralidad de mediciones GPS y los residuos correspondientes a un cambio de unidad en las innovaciones de medición con respecto al satélite de orden j , mientras que las innovaciones de medición de los otros satélites se mantiene sin cambio. De este modo, el coeficiente de correlación asociado con el satélite de orden j puede computarse usando la matriz S y el vector de residuos Δ de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$40 \quad \rho^j = \frac{\sum_i \Delta_i s_i^j}{|\Delta| |s^j|} \quad (13)$$

45 donde ρ^j es el coeficiente de correlación asociado con el satélite de orden j , Δ_i es el elemento de orden i del vector de residuos Δ , s_i^j es el elemento de la fila i y columna j de la matriz S , $|\Delta|$ es el valor de la norma del vector de residuos Δ , s^j representa la columna de orden j de la matriz S y el sumatorio es sobre todos los elementos de Δ o de la columna de orden j de la matriz S . Obsérvese que la longitud de s^j , $|s^j|$, es igual a la raíz cuadrada del elemento diagonal s_{ii}^j .

50 En una realización, el valor de la correlación asociado con el satélite i es igual al valor absoluto del coeficiente de correlación asociado con el satélite. Con los valores de correlación computados de este modo, puede identificarse generalmente el satélite asociado con el valor más elevado de la correlación de entre los valores de correlación asociados con la pluralidad de satélites en la etapa 420 como el satélite que contribuye a la medición defectuosa. Sin embargo, puede requerirse una comprobación adicional para asegurar que se identificó el satélite correcto.

55 Cuando sólo están disponibles cinco satélites, el coeficiente de correlación asociado con cada satélite debe ser de alrededor de uno (o menos uno). Esto es porque el grado de libertad es sólo uno (un satélite más que el número de variables en el vector de estado). Con sólo cinco mediciones correspondientes a cinco satélites, cada columna en la matriz S se correlaciona perfectamente con el vector residual, excepto que las longitudes de las columnas son diferentes. En otras palabras, la gran media cuadrática de los residuos que indicó un fallo en la etapa 210 del método 200, estaría causado por una medición defectuosa desde cualquiera de los satélites. Además incluso cuando el número de satélites es mayor de 5, puede ocurrir un fenómeno similar con una geometría degenerada. Tal geometría degenerada se indica si más de un satélite está asociado con el coeficiente de correlación próximo a uno o menos uno.

60 De este modo, para asegurar que el satélite que contribuye a la medición defectuosa está identificado correctamente, puede usarse el método 500A o 500B, como se muestra en las Figura 5A o 5B, respectivamente en la etapa 420. El método 500A incluye la etapa 510 en la cual se identifica el valor de correlación más alto de entre los valores de correlación asociados con la pluralidad de satélites. El método 500A incluye además la etapa 520A para determinar si

ES 2 294 549 T3

el valor de correlación más elevado excede un valor umbral predeterminado y la etapa 530A para determinar si el valor umbral predeterminado es lo suficientemente más grande que el segundo valor de correlación más alto de entre los valores de correlación asociados con la pluralidad de satélites. Como alternativa, se usa el método 500B, que incluye la etapa 510B en la cual se identifican el valor más elevado de correlación y el segundo más elevado, la etapa 520 en la 5 cual se computa la diferencia entre el valor de correlación más elevado y el segundo más elevado, y la etapa 530 para determinar si la diferencia excede un valor mínimo de la diferencia predeterminada.

Con el satélite que contribuye a la medición defectuosa identificado, el método 200 puede incluir además la etapa 230 en la que se estima el tamaño de cualquier error en la medición defectuosa, (o el tamaño del defecto). Estimar 10 el tamaño del defecto es útil a veces, especialmente cuando se usa el método 200 para identificar una medición defectuosa para identificar una medición defectuosa en el modo de navegación Cinemática en Tiempo Real (RTK). Como las navegaciones RTK usualmente involucran mediciones de fase de portadora y de este modo la resolución de las ambigüedades de ciclos enteros, un fallo de una medición puede ser el resultado de un deslizamiento de ciclos en un bucle de seguimiento o una determinación impropia de la ambigüedad de ciclos enteros. Cuando este es el caso, el 15 tamaño del fallo será un múltiplo de la longitud de onda de la portadora. Dado que el satélite, tal como el satélite 110-k, donde k es 1, 2, . . . , o n, se identifica con el valor de correlación más elevado, se da la mejor estimación de tamaño del error e_k por la media cuadrática de los residuos dividida por la longitud de la columna de la matriz S asociada con el satélite 100-k. De modo que, e_k es la media cuadrática de los residuos correspondiente al cambio de unidad 20 en la innovación de medición del satélite K, mientras que las innovaciones de medición para el resto de la pluralidad de satélites se mantienen sin cambios. Como la longitud de la columna de la matriz S es igual a la raíz cuadrada del elemento diagonal correspondiente de la matriz S, tenemos:

$$e_k = \frac{\delta \sqrt{h}}{\sqrt{s_k^k}} \quad (14)$$

Obsérvese que con una geometría pobre el elemento de la diagonal puede ser pequeño. Sin embargo, cuanto más 30 pequeño es el elemento de la diagonal, mayor debe ser el error de medición del satélite correspondiente antes de que cause que la media cuadrática de los residuos exceda el umbral de detección.

Con el tamaño del error en la medición defectuosa estimada, el método 200 puede incluir además la etapa 240 para verificar que hay sólo una medida defectuosa de entre la pluralidad de mediciones GPS y que la identificación 35 del satélite que contribuye a la medición defectuosa se realizó correctamente. La Figura 6 ilustra un método 600 para realizar la verificación en la etapa 240. Como se muestra en la Figura 6, el método 600 incluye una etapa 610 en la que el vector de residuos Δ' se ajusta para tener en cuenta el error de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta' = \Delta + SE \quad (15)$$

donde E es un vector con elementos cero correspondientes a los satélites cuyas mediciones están sin error y un elemento que tiene el valor e_k para el satélite 100-k que contribuye a la medida defectuosa. El método 600 incluye además la etapa 620 en la que la comprobación estadística se recalcula de acuerdo con la Ecuación (11), (12) o (12a) después 45 de usar el vector de residuos ajustados Δ' para reemplazar el vector de residuos Δ en la ecuación. Si se ha realizado correctamente la identificación del fallo, la prueba estadística recalculada debe pasar ahora la comprobación del umbral para la prueba estadística, indicando que se ha eliminado el fallo. De este modo, el método 600 incluye además la etapa 630 en la cual la comprobación estadística recalculada se compara con el umbral de fallo para verificar que hay 50 sólo una medición defectuosa de entre la pluralidad de mediciones GPS y la identificación del satélite que contribuye a la medición defectuosa se realizó correctamente.

El método descrito anteriormente para identificación de una medición GPS defectuosa es eficaz desde el punto de vista computacional porque funciona enteramente en el dominio de las mediciones. Cuando hay más de cinco satélites 55 que se están siguiendo, el método puede usarse para mejorar de modo espectacular la fiabilidad del posicionamiento y la navegación usando GPS, con sólo un pequeño coste en la complejidad de computación adicional.

REIVINDICACIONES

1. Un método para identificar una medición defectuosa de entre una pluralidad de mediciones GPS que comprende:

5 computar una pluralidad de valores de correlación (410), asociado cada valor de correlación con una de la pluralidad de mediciones GPS obtenida por un receptor GPS con respecto a una pluralidad de satélites, correspondiendo cada una de la pluralidad de mediciones GPS a uno de la pluralidad de satélites; y

10 seleccionar una medición GPS de entre la pluralidad de mediciones GPS como la medición defectuosa en base a los valores de correlación (420);

en el que:

15 el valor de correlación asociado con cada una de la pluralidad de mediciones GPS que representa una correlación entre los residuos de la pluralidad de mediciones y los residuos correspondientes al cambio en una de la pluralidad de mediciones GPS mientras que el resto de la pluralidad de mediciones permanece sin cambios (310).

20 2. El método de la reivindicación 1 en el que computar el valor de la correlación asociado con cada una de la pluralidad de mediciones comprende:

computar una matriz de sensibilidad de los residuos;

computar los residuos correspondientes a la pluralidad de mediciones; y

25 computar el coeficiente de correlación asociado con una de la pluralidad de medidas en base a los residuos de la pluralidad de mediciones y la matriz de sensibilidad de los residuos.

30 3. El método de la reivindicación 2 en el que computar los residuos correspondientes a la pluralidad de mediciones comprende:

obtener una solución de mínimos cuadrados del estado del proceso controlado de tiempo discreto;

computar los valores esperados de la pluralidad de mediciones en base a la solución de mínimos cuadrados; y

35 computar las diferencias entre la pluralidad de mediciones y los valores esperados de la pluralidad de mediciones.

40 4. El método de la reivindicación 2 en el que los residuos correspondientes a la pluralidad de mediciones se computan usando la matriz de sensibilidad de residuos.

45 5. El método de la reivindicación 1 en el que seleccionar una medición de entre la pluralidad de mediciones como la medición defectuosa comprende:

identificar el valor de correlación más elevado; y

45 seleccionar el medición asociada con el valor de correlación más elevado como la medición defectuosa.

50 6. El método de la reivindicación 5, en el que seleccionar la medición asociada con el valor de la correlación más elevado como la medición defectuosa comprende:

identificar un segundo valor de correlación más elevado; y

55 seleccionar la medición asociada con el valor de correlación más elevado como la medición defectuosa cuando la diferencia entre el valor de correlación más elevado y el segundo valor de correlación más elevado excede un valor umbral predeterminado.

55 7. El método de la reivindicación 5 en el que seleccionar la medición asociada con el valor de correlación más elevado como la medición defectuosa comprende:

60 determinar que el valor de correlación más elevado excede del primer valor umbral predeterminado;

identificar un segundo valor de correlación más elevado; y

65 determinar que el segundo valor de correlación más elevado es menor que el primer valor umbral predeterminado y la diferencia entre el primer valor umbral predeterminado y el segundo valor de correlación más elevado excede un segundo valor umbral predeterminado.

ES 2 294 549 T3

8. El método de la reivindicación 1, en el que el estado del proceso controlado de tiempo discreto incluye correcciones a la posición y a la deriva del reloj del receptor GPS y la pluralidad de mediciones son mediciones de intervalos GPS obtenidas por el receptor GPS con respecto a una pluralidad de satélites, correspondiendo cada una de la pluralidad de mediciones a uno de la pluralidad de satélites.
- 5 9. El método de la reivindicación 1, en el que el número de la pluralidad de satélites es mayor que 5.
- 10 10. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
- 10 determinar el tamaño de error en la medición defectuosa, incluyendo dividir la media cuadrática de los residuos de la pluralidad de mediciones GPS por la media cuadrática de los residuos correspondiente a un cambio de unidad en una de la pluralidad de mediciones GPS mientras que el resto de la pluralidad de mediciones GPS permanece sin cambio.
- 15 11. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
- 15 determinar un tamaño de error en la medición defectuosa, incluyendo dividir la media cuadrática de los residuos de la pluralidad de mediciones por la raíz cuadrada del elemento diagonal correspondiente a la medición defectuosa en la matriz de sensibilidad de residuos.
- 20 12. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
- 20 verificar que el satélite que contribuye a la medición defectuosa se ha identificado correctamente.
- 25 13. El método de la reivindicación 12 en el que verificar que el satélite que contribuye a la medición defectuosa se ha identificado correctamente comprende:
- 25 ajustar los residuos post-fijación en base al tamaño del error en la medición GPS defectuosa;
- 30 computar la comprobación estadística usando los residuos post-fijación ajustados; y
- 30 verificar que la comprobación estadística no excede el umbral de fallo.
- 35 14. Un medio legible por ordenador que comprende instrucciones de un programa ejecutable por ordenador que cuando se ejecutan producen un sistema de procesamiento digital para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 13.
- 40 15. Un sistema que comprende:
- 40 un medio (126, 137) para computar una pluralidad de valores de correlación, asociado cada valor de correlación con una de la pluralidad de mediciones GPS obtenidas por un receptor GPS con respecto a la pluralidad de satélites, correspondiendo cada una de la pluralidad de mediciones GPS a uno de la pluralidad de satélites; y
- 45 un medio (137) para seleccionar una medición GPS de entre la pluralidad de mediciones GPS como la medición defectuosa en base a los valores de correlación;
- 45 **caracterizado porque:**
- 50 el valor de la correlación asociado con cada uno de la pluralidad de mediciones GPS que representa una correlación entre los residuos de la pluralidad de mediciones y los residuos correspondientes a un cambio en una de la pluralidad de mediciones GPS mientras que el resto de la pluralidad de mediciones GPS permanece sin cambios.
- 55 16. El sistema de la reivindicación 15, en el que el medio para computar el valor de correlación asociado con cada una de la pluralidad de mediciones comprende un medio para computar una matriz de sensibilidades de residuos, para computar los residuos correspondientes a la pluralidad de mediciones, y para computar un coeficiente de correlación asociado con una de la pluralidad de mediciones en base a los residuos de la pluralidad de mediciones y la matriz de sensibilidad de residuos.
- 60 17. El sistema de la reivindicación 16, en el que el medio para computar los residuos correspondientes a la pluralidad de mediciones comprende un medio para obtener una solución de mínimos cuadrados del estado del proceso controlado de tiempo discreto, para computar los valores esperados de la pluralidad de mediciones en base a la solución de mínimos cuadrados, y para computar las diferencias entre la pluralidad de mediciones y los valores esperados de la pluralidad de mediciones.
- 65 18. El sistema de la reivindicación 16, en el que los residuos que corresponden a la pluralidad de mediciones se computan usando la matriz de sensibilidades de residuos.

ES 2 294 549 T3

19. El sistema de la reivindicación 15 en el que el medio para seleccionar una medición de entre la pluralidad de mediciones como medición defectuosa comprende un medio para identificar el valor de correlación más elevado, y para seleccionar la medición asociada con el valor de correlación más elevado como la medición defectuosa.
- 5 20. El sistema de la reivindicación 19, en el que el medio para seleccionar la medición asociada con el valor de correlación más elevado como la medición defectuosa comprende un medio para identificar el segundo valor de correlación más elevado, y para seleccionar la medición asociada con el valor de correlación más elevado como la medición defectuosa cuando la diferencia entre el valor de correlación más elevado y el segundo valor de correlación más elevado excede un valor predeterminado.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

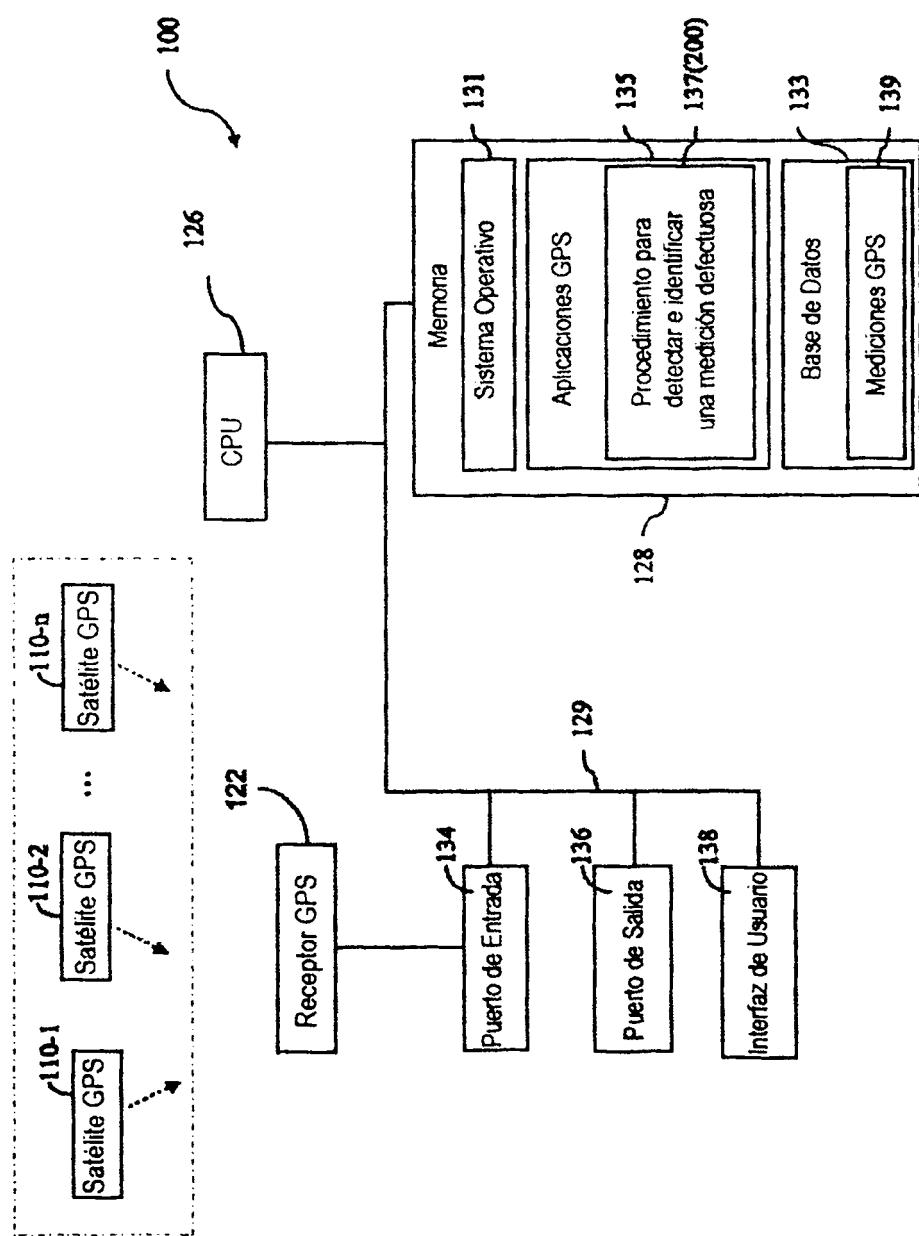


FIGURA 1

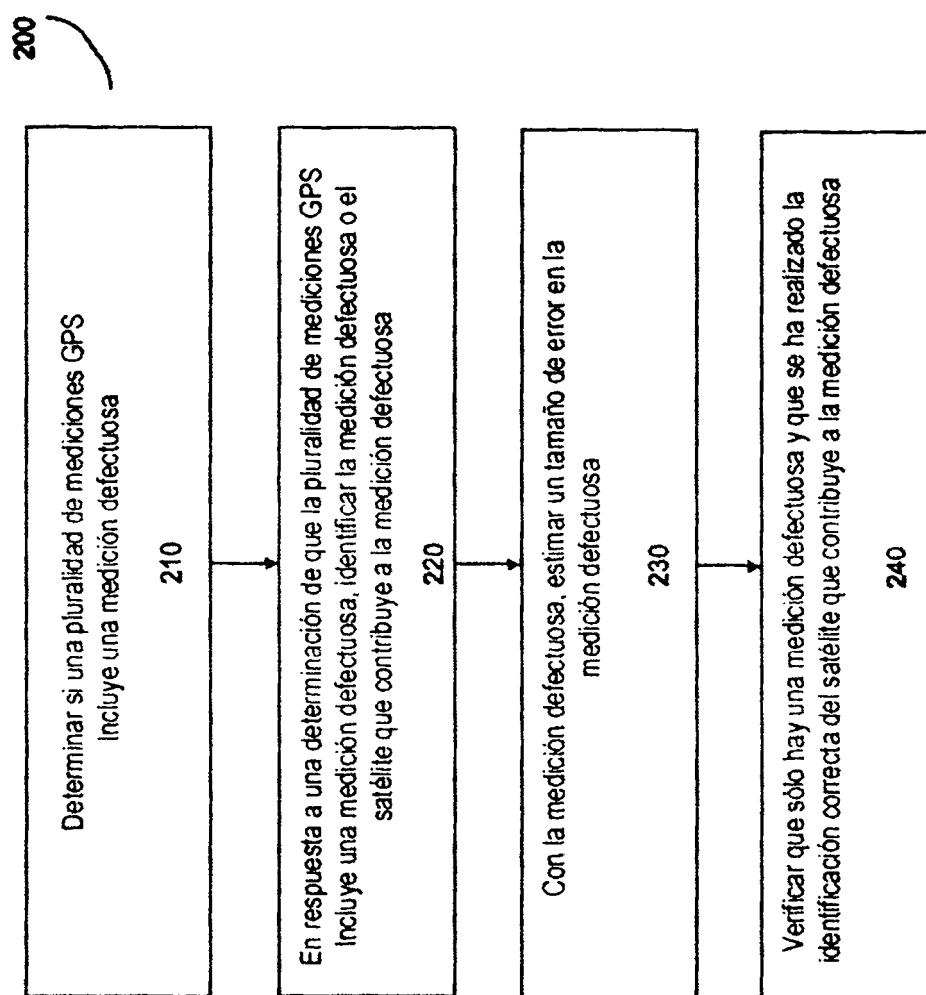


FIGURA 2

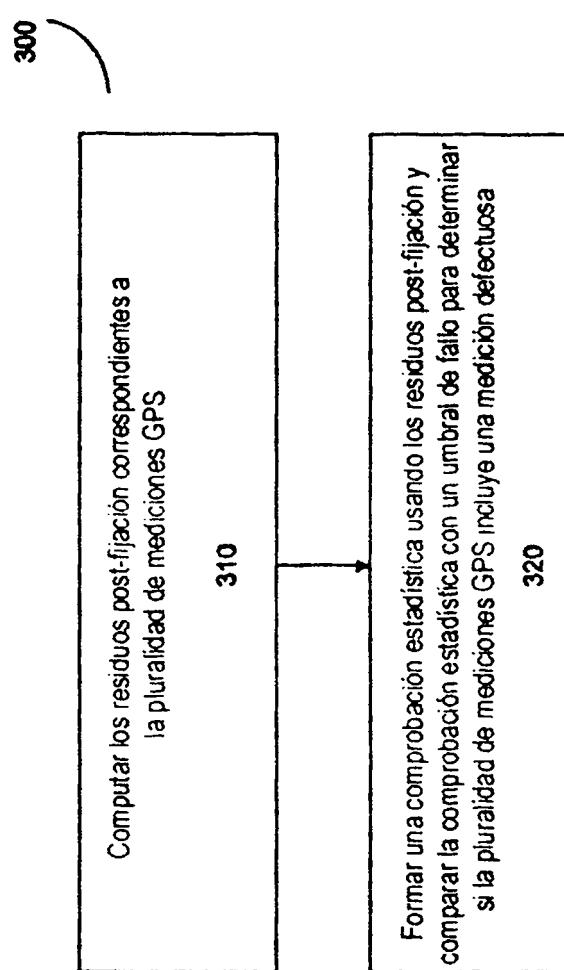


FIGURA 3

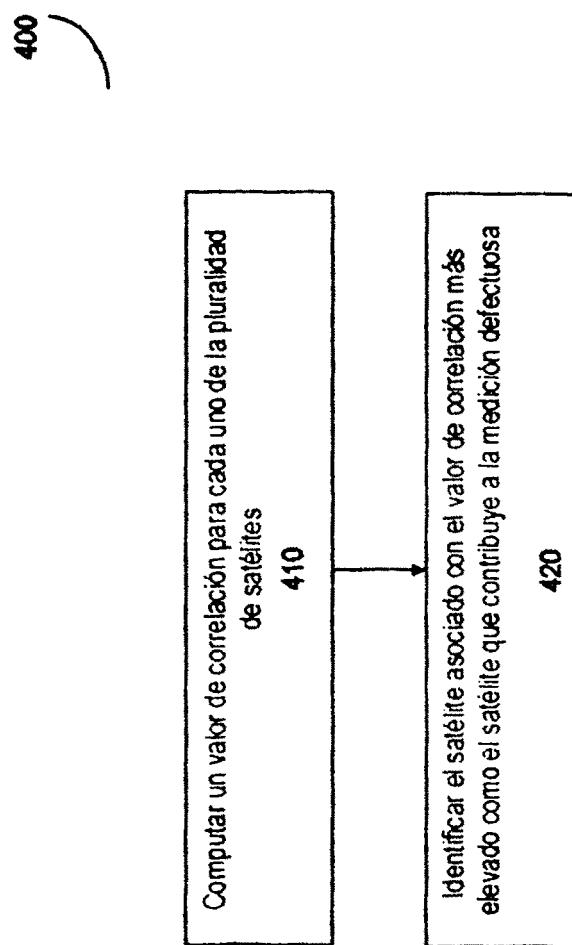


FIGURA 4

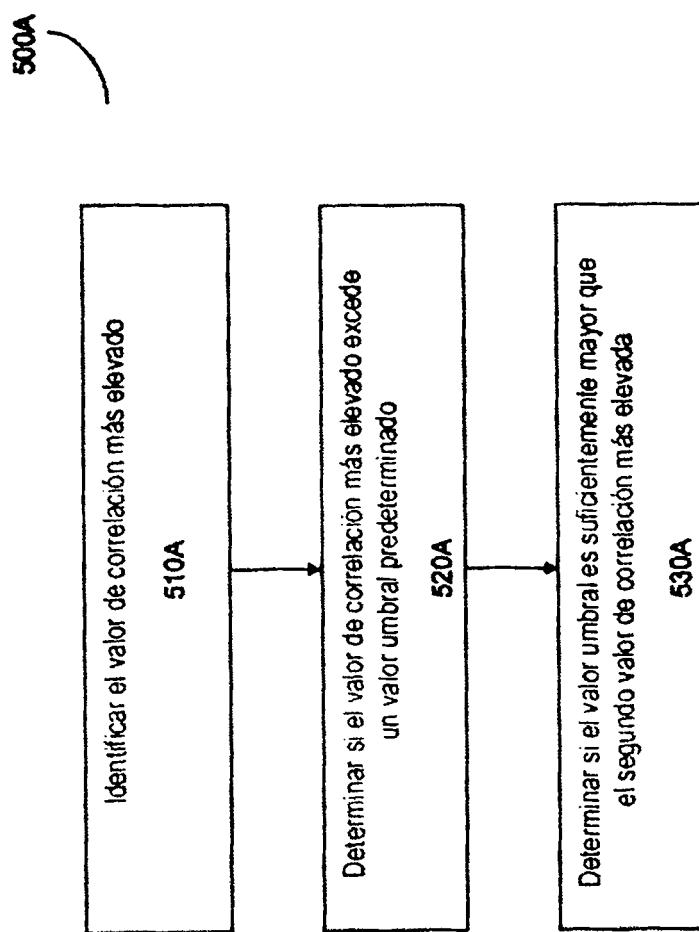


FIGURA 5A

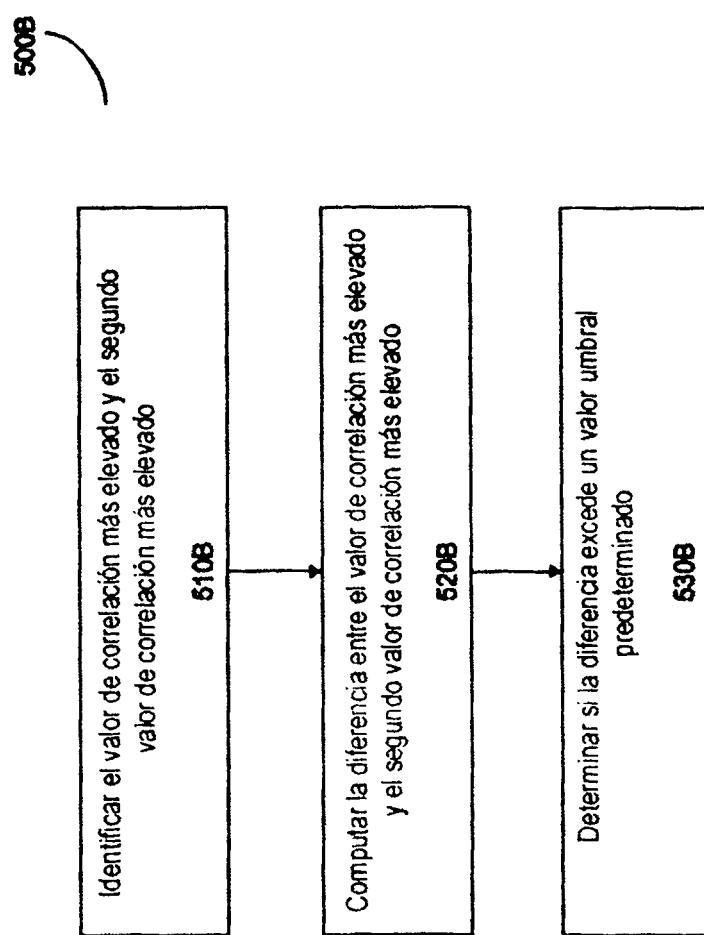


FIGURA 5B

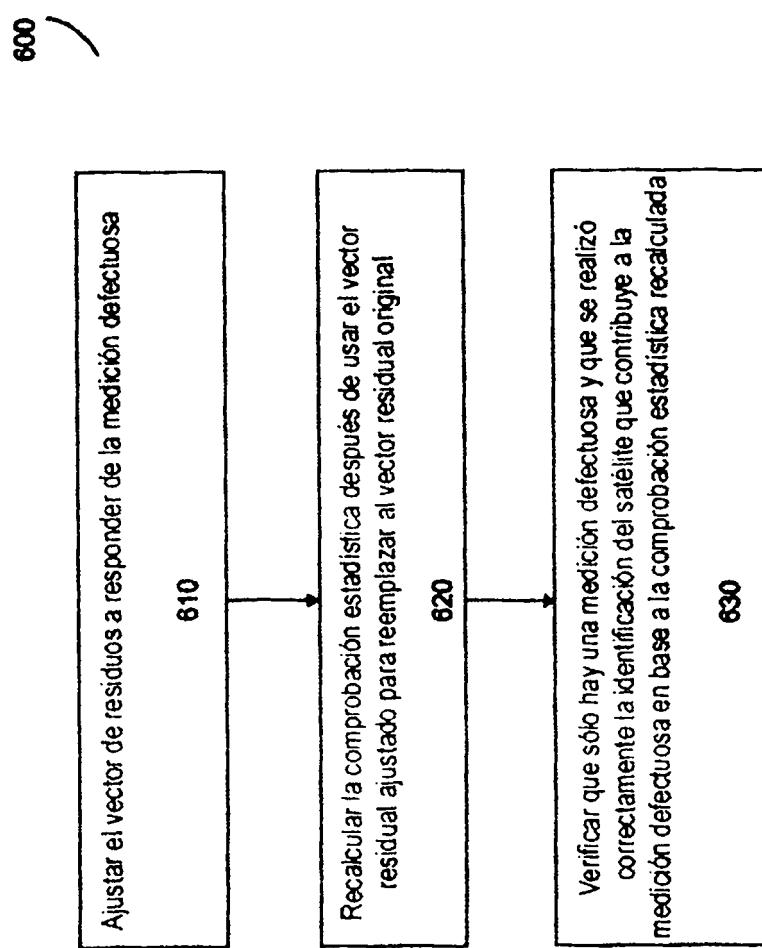


FIGURA 6