



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 348 109**

51 Int. Cl.:
G01S 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08007700 .1**

96 Fecha de presentación : **21.04.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2120060**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.11.2009**

54

Título: **Procedimiento de operación de un receptor de navegación por satélite.**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.11.2010

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.11.2010

73

Titular/es:
**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Linder Hohe
51147 Köln, DE**

72

Inventor/es: **Schroth, Georg**

74

Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 348 109 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

La presente invención versa acerca de un procedimiento de operación de un receptor de navegación por satélite que calcula su posición por medio de una multiplicidad de señales, transmitida cada una de ellas por otro satélite como fuente telemétrica.

5 En previsión del paso a la operatividad de las futuras constelaciones de sistemas globales de satélites de navegación (GNSS), como GPS IIF/III (EE. UU.), Galileo (Europa), GLONASS (Rusia) y Compass (China), surgirán multitud de preguntas sobre el uso de estas numerosas fuentes telemétricas. Las simulaciones demuestran que, con las constelaciones completas de Galileo y GPS, la mayoría de los usuarios tendrán una cobertura media de 18 satélites y de un
10 mínimo de 13. De ahí que, con los modelos de amenazas dadas, aumentará la aplicabilidad de las técnicas de monitorización de la integridad autónoma del receptor (RAIM) con el fin de monitorizar la integridad de la posición. Además, el uso de receptores de dos frecuencias eliminará casi por completo los errores de magnitud mayor para el GPS sin ayudas: los causados por la demora ionosférica.

15 Desgraciadamente, no se puede suponer que los servicios de GNSS diferentes del GPS tendrán las mismas probabilidades de fallo de los satélites que la convierten hoy en la amenaza más importante para su integridad. El segmento de control podría demostrar y realizar una probabilidad de fallo de 10^{-3} mucho más fácilmente que la actual probabilidad aceptada de 10^{-5} . En conjunto, ya no será posible suponer que la probabilidad de fallo para más de un satélite
20 dentro de cierto plazo sea insignificante.

Además, es cuestionable que siempre sea razonable calcular una estimación de la posición basada en todos los satélites con cobertura en vez de seleccionar únicamente un subconjunto de los “mejores”. En escenarios de GPS Aumentado, como el Sistema de Aumento de Área Local (LAAS), podría ser necesario considerar y corregir únicamente un subconjunto de la
25 constelación actual, por razones relacionadas con el ancho de banda de señal disponible o debido a grandes errores de propagación que afecten a varias señales de los satélites.

El documento WO2007/064250 A1 describe un procedimiento de operación de un receptor para la navegación por satélite. Dicho procedimiento comprende seleccionar un conjunto de fuentes preferidas de señales entre un grupo de fuentes de señales de satélites potenciales,
30 recibir señales del conjunto seleccionado de fuentes de señales y producir datos relacionados con la posición/el instante en base a las señales recibidas. Dicho procedimiento comprende, además, calcular una respectiva demanda de procesamiento requerida para producir los datos relacionados con la posición/el instante en base a cada subconjunto de varios subconjuntos candidatos de fuentes de señales entre el grupo de fuentes potenciales de señales,
35 conteniendo cada subconjunto candidato al menos un número mínimo de fuentes de señales

necesarias para producir los datos relacionados con la posición/el instante de una calidad deseada, y seleccionar el conjunto de fuentes preferidas de señales en base a un subconjunto candidato que se asocia con una demanda más baja calculada durante un periodo operativo subsiguiente para el receptor. La demanda de procesamiento puede calcularse estimando una respectiva calidad de señal de cada señal en el grupo de fuentes potenciales de señales. La calidad de señal puede estar reflejada por la estimación del parámetro de la potencia de la señal y/o la estimación del parámetro de la densidad de ruido y/o la estimación del parámetro de error del pseudoalcance y/o el parámetro que indica detección de interferencias, y/o datos de salud/estado de la fuente de señales.

La técnica de Separación de Soluciones de Hipótesis Múltiples (MHSS), descrita en Pervan Boris S., Pullen Samuel P. and Christie Jock R.: "A Multiple Hypothesis Approach to Satellite Navigation Integrity", Journal of The Institute of Navigation, 1998, Vol. 45, pp. 61-71, es uno de los enfoques existentes más avanzados para identificar satélites defectuosos observando sus influencias en el Nivel de Protección Vertical (VPL). Esta técnica RAIM separa el cálculo del VPL en múltiples hipótesis, que incluyen los casos en los que fallan satélites individuales y múltiples, o incluso constelaciones enteras. Determinando los valores individuales de VPL bajo cada una de las hipótesis, ponderados por la probabilidad de su incidencia, puede determinarse el VPL global. Para identificar satélites defectuosos, el algoritmo construye subconjuntos de la geometría actual excluyendo uno o múltiples satélites a la vez. Se calcula un VPL global para cada subconjunto y, dado que el VPL debería aumentar con un número decreciente de satélites que funcionan correctamente, cabe esperar que los valores de VPL para los subconjuntos sean todos mayores que para la geometría completa. No obstante, si una deriva del satélite influyó el cálculo de la posición en un grado considerable, el VPL calculado disminuirá cuando se excluya este satélite defectuoso. Por lo tanto, se supone que el satélite que se excluyó en el subconjunto correspondiente, que resulta en el VPL más bajo, es el defectuoso. Minimizando el VPL, pueden no ser excluidos los satélites con una gran deriva telemétrica que no se traducen en un error grande de dominio en la posición, ya que su contribución reduce el VPL pese a todo, aunque sea en un grado pequeño.

Lee Young C.: "Analysis of Range and Position Comparison Methods as a Means to Provide GPS Integrity in the User Receiver", Annual Meeting of the Institute of Navigation, Seattle, 1986, pp. 1-4 describe un procedimiento de comparación de alcances, en el que el receptor del usuario calcula en primer lugar la posición del usuario y la deriva horaria en base a cuatro satélites en un momento en el que se asumía un total de cinco satélites. A continuación, se usa cada una de las soluciones de navegación de los cuatro satélites para predecir el pseudoalcance al quinto satélite no incluido en esa solución particular. Las diferencias entre los

pseudoalcances predichos y los correspondientes pseudoalcances medidos se usan como base para detectar un estado anormal. Dado que únicamente se proporciona una ecuación lineal para un ensayo de hipótesis, este procedimiento únicamente puede detectar un estado anormal en el que el error en el cálculo de la posición del usuario supera un umbral; no es posible identificar ningún satélite defectuoso usando solo cinco satélites.

Al contrario que el nuevo procedimiento, las técnicas existentes usan el enfoque general para identificar fallos midiendo el nivel de integridad. Se asume que una señal de un satélite que no degrade la integridad no sería excluida del cálculo de la posición. Así sucede, por ejemplo, en la técnica mencionada de MHSS, que usa el VPL como medición de la integridad. Debido a la solución ponderada de la posición, ni siquiera una señal de satélite con una deriva telemétrica elevada se traduce necesariamente en un gran error de dominio de la posición y puede, pese a todo, reducir el VPL global, aunque sea en un grado pequeño. Por ello, en estos escenarios, la señal defectuosa o con deriva no se detecta en absoluto. Sin embargo, la influencia de las señales de los satélites para el cálculo de la posición puede cambiar abruptamente (especialmente en cañones urbanos) y no disponer de conocimiento previo de señales defectuosas. Además, cuando hay presentes múltiples constelaciones, podría quererse excluir el satélite defectuoso, por ejemplo para mejorar la precisión, aunque esto no siempre dé por resultado el valor mínimo de VPL, con tal de que el nivel de protección permanezca por debajo del Límite de Alerta Vertical VAL (= límite superior del VPL).

Sin embargo, también en los escenarios en los que la señal más importante con respecto al cálculo de la posición (aquella que tiene la mayor influencia) tiene un defecto, los enfoques conocidos siguen necesitando derivas relativamente grandes para identificar esta señal. Sin embargo, es de gran importancia detectar las señales defectuosas ya con derivas pequeñas para permitir que se den las oportunas advertencias al usuario del receptor.

R. Grover Brown hace una reseña general de una variedad de modelos de la técnica RAIM en el capítulo 5, "Receiver Autonomous Integrity Monitoring", páginas 143-165, del libro "Global Positioning System: Theory and Applications Volume II; [Progress in Astronautics and Aeronautics; vol. 164]", editado por Parkinson B. W. et al. (1996-01-01, XP008090948, ISBN: 978-1-56347-107-0).

El documento US 5 631 838 A describe un aparato para verificar los datos de satélites de GPS. Se obtiene una distancia calculada a partir de una demora temporal requerida para la propagación de una onda de radio entre un sitio transmisor y otro receptor, al igual que una distancia visual, que se calcula a partir de las posiciones de un satélite y un punto de recepción. Cuando la diferencia entre estas dos distancias es pequeña, se considera que los datos procedentes de este satélite son datos válidos. Sin embargo, cuando la distancia es

grande, se considera que los datos involucran un gran error. La posición del punto de recepción se determina mediante un cálculo de posicionamiento que utiliza datos de tres o cuatro satélites verificados predeterminados, o es introducida por un operador. La posición del satélite se obtiene a partir de datos orbitales que facilita ese satélite.

5 El documento US 2003/0117317 describe un procedimiento de detección de fallos y de exclusión para GPS. Se obtiene una solución completa de la posición a partir de un número N de transmisiones de satélites, y se obtiene una pluralidad de subsoluciones, cada una de las cuales está basada en un número diferente (N-1) de transmisiones de satélites para determinar si un satélite falla. Acto seguido, se obtiene una pluralidad de sub-soluciones basadas en
10 una combinación diferente de (N-2) satélites, conteniendo cada combinación los satélites de diferentes subsoluciones y excluyendo, además, otro satélite. Un examen de las sub-soluciones proporciona una indicación de cuál de los satélites es el satélite defectuoso.

Como ya se ha indicado, con el surgimiento de los nuevos servicios GNSS y del resultante aumento de fuentes telemétricas disponibles, ya no se pueden desatender los fallos de
15 múltiples satélites.

Es un objetivo de la presente invención inventar técnicas que sean capaces de gestionar estos nuevos requisitos, y detectar y excluir de manera fiable, a la vez, una multiplicidad de señales de satélites con deriva.

Otro objetivo de la presente invención es presentar un nuevo procedimiento que sea capaz
20 de detectar e identificar todas las señales de satélites con una deriva mayor que un umbral dado para allanar el camino de cara a aplicaciones críticas en cuanto a seguridad y de distribución generalizada permitiendo cálculos fiables y precisos de la posición, la velocidad y la hora en el receptor, incluso con constelaciones de satélites con errores. Además, no solo la integridad, sino también la precisión de los cálculos han de mejorar significativamente
25 excluyendo las señales de satélites defectuosos con deriva pequeña. Con un buen cálculo de la deriva telemétrica actual de cada satélite individual, es posible reducir también los efectos de la propagación de trayectorias múltiples eliminando la deriva común.

Según un primer enfoque de la presente invención, el objetivo se logra preseleccionando subconjuntos de dichas fuentes telemétricas y usando un subconjunto de las mismas para
30 calcular la estimación de la posición y comprobando los pseudoalcances de todas las señales recibidas de los satélites que no contribuyeron a este cálculo particular con respecto a su consenso con este cálculo y, por ello, a las fuentes telemétricas del subconjunto utilizado, refiriéndose el consenso a los pseudoalcances que coinciden de manera coherente en una solución de la posición, comparando los subconjuntos preseleccionados con respecto al
35 consenso con todas las demás fuentes telemétricas, y determinándose el subconjunto que

resulta en una estimación de la posición, que se corresponde a las fuentes telemétricas de mayor alcance, como el subconjunto con el mejor consenso, identificando las fuentes telemétricas con una deriva en un pseudoalcance mayor que un umbral como fuentes telemétricas defectuosas, tras conocer todas las fuentes telemétricas coherentes, determinándose dicha deriva en comparación con una estimación de la posición basada en las fuentes telemétricas que formaron parte del mejor subconjunto o que coincidieron con él, y usando esta información de identificación para excluir las fuentes telemétricas defectuosas para la determinación de la posición, la velocidad y la hora en el receptor.

El procedimiento aquí propuesto (denominado RANCO) se basa en un paradigma denominado Consenso de Muestras Aleatorias (RANSAC) que fue publicado por Fischler Martin A. y Bolles Robert C.: "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography", Communications of the ACM, junio de 1981, Vol. 24, pp. 381-395. El RANSAC es conocido en el campo de investigación de la visión por ordenador para aplanar datos que contienen un porcentaje significativo de errores flagrantes. El procedimiento RANSAC es opuesto al de las técnicas convencionales de aplanamiento. En vez de usar tantos datos como sea posible para obtener una solución inicial y luego intentar eliminar los puntos de datos inválidos, el RANSAC usa un conjunto de datos iniciales tan pequeño como sea factible y agranda este conjunto con datos coherentes cuando es posible. Por lo tanto, es capaz de encajar un modelo a datos experimentales seleccionando aleatoriamente subconjuntos y evaluando su consenso con los datos globales disponibles.

A diferencia de los enfoques conocidos, el procedimiento (RANCO) propuesto por la presente invención no calcula una estimación basada en todos los satélites (= fuentes telemétricas) y luego intenta eliminar satélites individuales para investigar su influencia en la solución de la posición. En vez de ello, usa el conjunto mínimo necesario de fuentes telemétricas (señales) para calcular una estimación de la posición. A continuación, se comprueban los pseudoalcances de todas las señales de los satélites que no contribuyeron a esta estimación particular con respecto a su consenso con esta estimación y, por ende, con las fuentes telemétricas del subconjunto usado.

No es absolutamente necesario usar el conjunto mínimo necesario, pero es razonable, como puede verse por lo siguiente. Comparando los dos grupos de fuentes telemétricas, los del subconjunto y los que no contribuyeron a la estimación de la posición, pueden darse dos escenarios. Por una parte, el subconjunto puede estar libre de fuentes telemétricas defectuosas y únicamente el otro grupo contiene señales con deriva. Se considera cada fuente telemétrica individual y se compara el pseudoalcance medido con el alcance que correspondería a la estimación de la posición actual. Si la diferencia supera cierto umbral, se dice que la señal del

satélite correspondiente discrepa de la estimación actual. Por otra parte, podría tenerse una señal con deriva dentro del subconjunto seleccionado. En este escenario, no puede afirmarse nada en cuanto a la calidad de las otras señales. Dado que se usa únicamente el número mínimo necesario de fuentes telemétricas para calcular una estimación, una deriva de la señal se traduce directamente a un error de posición, y puede suponerse que casi ninguna de las fuentes telemétricas que funcionan correctamente corresponderá a tal estimación de posición. Usando únicamente el número mínimo necesario de fuentes telemétricas, se minimiza la probabilidad de que una señal de satélite defectuoso forme parte del subconjunto.

Como, a priori, no puede saberse qué subconjuntos incluyen señales defectuosas, es necesario averiguar el subconjunto que tiene la mayor probabilidad de estar libre de tales fuentes telemétricas con deriva. Iterando en todos los subconjuntos preseleccionados, son clasificados ordenadamente según el número de fuentes telemétricas con correspondencia. Eso significa que el subconjunto que resulta en una estimación de la posición, que se corresponde a las fuentes telemétricas de mayor alcance, es el subconjunto con la mayor probabilidad de estar libre de señales con deriva. Esto puede ser verificado de forma adicional mediante un simple algoritmo RAIM para comprobar la integridad del conjunto de consenso. En este punto se calcula una solución de mínimos cuadrados ponderados de todas las fuentes telemétricas que formaban parte del subconjunto o coincidían con él. Nuevamente, se supone que este conjunto de fuentes telemétricas está libre de defectos, ya que todos coinciden entre sí. Partiendo de esta nueva estimación aplanada de la posición basada en muchas fuentes telemétricas, se comparan una vez más los pseudoalcances medidos de todos los satélites con esta estimación. Se identifican como defectuosos los satélites cuyo pseudoalcance difiere más de lo permitido con respecto al umbral. Esta última comparación puede usarse también como medición de la magnitud del consenso. Las correlaciones en la magnitud entre pseudoalcances diferentes pueden usarse para reducir los efectos de la propagación de trayectorias múltiples o para la identificación de los frentes ionosféricos.

Para simular y evaluar este enfoque no es necesario usar los pseudoalcances reales ni calcular la solución de la posición real. Dado que lo que interesa es el grado de consenso entre los alcances, se consideran, más bien, las distribuciones y los errores para evitar muchos cálculos innecesarios. La medición de la posición, bien conocida, de la ecuación (1) muestra el vector x de la posición verdadera, la matriz geométrica G , el vector del pseudoalcance y el vector n de ruido:

$$Y = Gx + n \quad (1)$$

La ecuación (1) también es válida para un único satélite, en el cual \tilde{y} y \tilde{n} son los escalares de pseudoalcance y de ruido y g^T es la línea correspondiente de la matriz geométrica, en la que

las primeras tres columnas son los componentes de los vectores normales entre la posición verdadera y los satélites individuales:

$$\tilde{y} = g^T x + \tilde{n} \quad (2)$$

La estimación de los mínimos cuadrados para la posición se obtiene invirtiendo la matriz G. Como solo se consideran subconjuntos de cuatro, el sistema lineal no es incompatible y, por lo tanto, no es necesario construir la pseudoinversa de Moore-Penrose:

$$\hat{x} = Hy = HGx + Hn \quad (3)$$

$$H = G^{-1} \quad (4)$$

Ahora tiene que evaluarse el consenso entre la estimación de la posición que se dedujo mediante un subconjunto de cuatro satélites y los satélites restantes. Por lo tanto, la ecuación (2) se remodela y se formula para el caso libre de ruidos:

$$g^T \hat{x} - \tilde{y} = 0 \quad (5)$$

La ecuación (5) es la principal relación que tiene que evaluarse para todos los satélites y con cada subconjunto razonable de cuatro. Como ya se ha mencionado, no es necesario calcular las estimaciones de la posición verdadera, sino únicamente investigar los errores.

Así, las ecuaciones (2) y (3) se insertan en la ecuación (5) y se elimina $HG=I$.

$$g^T Hn - \tilde{n} = 0 \quad (6)$$

Ahora puede usarse la ecuación final (6) para las simulaciones del enfoque propuesto por la presente invención, denominado RANCO.

Los umbrales para las comparaciones pueden establecerse relativos a la variación (sigma) de las distribuciones del error predicho para cada fuente telemétrica individualmente. Esto permite el uso de toda la información disponible y explica la influencia de los efectos dependiendo de los ángulos de elevación. Establecer el umbral también relativo a las varianzas del subconjunto usado actualmente mejorará significativamente el rendimiento. Por lo tanto, con la Inversa de la Matriz de Covarianza de las fuentes telemétricas W y el vector de varianzas σ , la varianza global de los restos de la comparación es:

$$\sqrt{g^T (G^T W G)^{-1} g + \sigma^2} \quad (7)$$

La preselección de subconjuntos es de gran importancia para el rendimiento de la técnica descrita. Esto se debe al hecho de que existe una enorme cantidad de subconjuntos (n de k) que llevaría mucho tiempo procesar. Además, muchos de los subconjuntos tienen, en efecto, una geometría débil, porque los vectores normales entre el receptor y los satélites individuales están en aproximadamente la misma dirección y, por lo tanto, son muy sensibles a los errores. Por ello, es útil una técnica de selección que evalúe los subconjuntos con respecto a su geometría. Un primer enfoque calcula la condición de las matrices geométricas y, por ende,

evalúa la ortogonalidad de los vectores normales en el espacio vectorial de cuatro dimensiones. Esta técnica es similar a la evaluación mediante el cálculo de la Disolución de la Precisión (DOP). Para incorporar las varianzas estimadas de los pseudoalcances de cada satélite que forma parte del subconjunto puede usarse la Disolución Ponderada de la Precisión (WDOP) como índice de los subconjuntos. Esto da por resultado el mejor rendimiento del procedimiento en su conjunto. Sin embargo, hay otro enfoque que es significativamente más rápido. Aquí, determinamos la ortogonalidad únicamente en un espacio bidimensional calculando la correlación de cada par posible de vectores normales. En los subconjuntos no se desean los emparejamientos que tengan un valor de correlación elevado y que, por ello, se muestran en aproximadamente la misma dirección. Por lo tanto, se excluyen todos los subconjuntos con emparejamientos inaceptables. Lo óptimo es una combinación tanto de este enfoque rápido como de una clasificación ordenada precisa posterior con la WDOP.

El procedimiento que se describe en lo que antecede permite identificar tantos valores atípicos como satélites con cobertura haya, menos el número mínimo necesario de satélites para la estimación (por ejemplo, cuatro) y menos, como mínimo, un satélite adicional que confirma esta estimación. Con tal de que más de cuatro satélites más, al menos, uno con cobertura sean coherentes con respecto a los pseudoalcances, pueden excluirse de manera fiable los que tengan una deriva mayor que el umbral.

Sin embargo, podríamos tener la seguridad de que, en un momento dado, únicamente tiene deriva cierto número de señales de satélites. Por ello, una técnica de postselección permite hallar la agrupación mínima necesaria de subconjuntos que es capaz de identificar cierto número máximo de satélites como defectuosos. Este enfoque determina todas las combinaciones posibles de los satélites defectuosos. Selecciona de forma secuencial los subconjuntos identificando los satélites que tienen la menor incidencia en las restantes combinaciones de fallos posibles. Un subconjunto puede verificar todas las combinaciones compuestas de los satélites que el subconjunto no contiene. Así, tenemos que encontrar los satélites que se dan de forma más infrecuente en la restante combinación de fallos y encontrar un subconjunto que los contenga. Este subconjunto es capaz entonces de comprobar la mayoría de las combinaciones restantes de fallos. Este enfoque adapta los cálculos necesarios en la técnica de detección y la exclusión de fallos a las premisas adoptadas.

Según un segundo enfoque de la presente invención, el objeto se logra preseleccionando subconjuntos de dichas fuentes telemétricas y usando un subconjunto de las mismas para calcular la estimación de la posición y comprobando los pseudoalcances de todas las señales recibidas de los satélites que no contribuyeron a este cálculo particular con respecto a su consenso con este cálculo y, por ello, a las fuentes telemétricas del subconjunto utilizado,

refiriéndose el consenso a los pseudoalcances que coinciden de manera coherente en una solución de la posición, y comparando los subconjuntos preseleccionados con respecto al consenso con todas las demás fuentes telemétricas, siendo una fuente telemétrica un valor atípico si no contribuye a dicha estimación particular, por lo que los resultados con esta técnica
5 sirven de entrada para algoritmos adicionales que cuentan el número de veces que cada fuente telemétrica es un valor atípico, incrementándose el contador para una fuente telemétrica cada vez que se determina que esa fuente telemétrica es un valor atípico, y contándose también las veces que la fuente telemétrica forma parte del subconjunto actual, y determinándose que la fuente telemétrica con el valor de contador más elevado es la que tiene mayor probabilidad de
10 estar defectuosa y que debe ser investigada por un procedimiento ejecutado de manera subsiguiente.

El segundo procedimiento de detección de fallos, que aquí se denomina S-RANCO y se relaciona muy estrechamente con el primero, es también capaz de detectar fallos en los satélites, pero su valor puede encontrarse en la sugerencia de posibles satélites defectuosos
15 con derivas muy pequeñas. Por lo tanto, los resultados con este enfoque pueden servir como entrada para algoritmos adicionales. El diferenciador principal de este algoritmo es que no busca el subconjunto con el menor número de valores atípicos, sino que cuenta el número de veces en que cada satélite es un valor atípico. Cada vez que se determina que un satélite es un valor atípico se incrementa el contador de ese satélite. Dado que no se garantiza que cada
20 satélite se incluya en exactamente la misma cantidad de subconjuntos, también se cuentan las veces que el satélite forma parte del subconjunto actual. Esto resulta necesario, dado que un satélite que forme parte de la solución de la posición no puede ser un valor atípico. La adición de los contadores normaliza estas condiciones iniciales diferentes. El satélite con el valor de contador más elevado es el que tiene mayor probabilidad de estar defectuoso y debiera ser
25 investigado por un procedimiento ejecutado de manera subsiguiente. Por ejemplo, si se consideran 1000 subconjuntos y el valor de un satélite específico también alcanza 1000, o valores cercanos a esa cantidad, entonces está claro que este satélite ha sido un valor atípico para todos o casi todos los subconjuntos de los que no formó parte. En este caso, el procedimiento no solo sugeriría la investigación del correspondiente satélite, sino que también
30 identifica el satélite que falla. Lo óptimo es una combinación tanto de este enfoque rápido como de una clasificación ordenada precisa posterior con la WDOP.

No solo la integridad, sino también la precisión de los cálculos pueden mejorar significativamente excluyendo las señales de satélites defectuosos con deriva pequeña. Con un buen cálculo de la deriva telemétrica actual de cada satélite individual, es posible reducir
35 también los efectos de la propagación de trayectorias múltiples eliminando la deriva común.

Serán evidentes ventajas adicionales, características beneficiosas y aplicaciones de la presente invención a partir de la siguiente descripción y de las reivindicaciones adjuntas.

En lo que sigue, la presente invención se explicará con mayor detalle por medio de las realizaciones preferidas, que se dan a conocer como ejemplos, y con referencia a los dibujos adjuntos:

- 5
- la Fig. 1 muestra un diagrama de un flujo de datos para el procedimiento según la presente invención denominado técnica RANCO,
 - la Fig. 2 ilustra un diagrama de flujo del primer enfoque del procedimiento de selección de subconjuntos, en el que ndek describe la función que calcula todos los subconjuntos posibles,
 - la Fig. 3 ilustra un diagrama de flujo del segundo enfoque del procedimiento de selección de subconjuntos,
 - la Fig. 4 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de postselección de subconjuntos en el que se calcula de antemano la agrupación de todas las combinaciones posibles de satélites defectuosos (SC),
 - la Fig. 5 ilustra un diagrama de un flujo de datos para la técnica S-RANCO, cuyo condicionamiento se explica en la Fig. 2,
 - la Fig. 6 ilustra un diagrama esquemático de un receptor genérico usado para llevar a cabo el procedimiento según la presente invención,
 - la Fig. 7 muestra un gráfico que ilustra el índice de detección seleccionando el satélite con cobertura (SC) cuyo fallo resulte más crítica para el enfoque MHSS existente y las técnicas propuestas por la presente invención,
 - la Fig. 8 muestra un gráfico que ilustra el índice de detección seleccionando el satélite con cobertura (SC) cuyo fallo resulte menos crítica para el enfoque MHSS existente y las técnicas propuestas por la presente invención,
 - la Fig. 9 muestra un diagrama que ilustra los resultados de la detección de una estimulación con diferentes números de satélites defectuosos (RANCO),
 - la Fig. 10 muestra un gráfico que ilustra una distribución de probabilidades del número de satélites con cobertura para un receptor,
 - la Fig. 11 muestra un gráfico que ilustra una probabilidad de detección falsa en función de los umbrales (RANCO), y
 - la Fig. 12 muestra un gráfico que ilustra una probabilidad de detección frustrada en función de los umbrales (RANCO).

El nuevo procedimiento según la presente invención, denominado RANCO, es capaz de detectar e identificar todas (número de satélites con cobertura menos el número necesario de

satélites para la estimación de la posición (por ejemplo, cuatro), menos, como mínimo, un satélite adicional) las señales de satélites de navegación con una deriva mayor que un umbral dado. Esto allana el camino de cara a aplicaciones críticas en cuanto a seguridad y de distribución generalizada permitiendo cálculos fiables y precisos de la posición, la velocidad y la hora en el receptor, incluso con constelaciones de satélites con errores.

Además, no solo la integridad, sino también la precisión de los cálculos pueden mejorar significativamente excluyendo las señales de satélites defectuosos con deriva pequeña. Con un buen cálculo de la deriva telemétrica actual de cada satélite individual, es posible reducir también los efectos de la propagación de trayectorias múltiples eliminando la deriva común.

A diferencia de los enfoques conocidos, el nuevo procedimiento no calcula una estimación basada en todos los satélites y luego intenta eliminar satélites individuales para investigar su influencia en la solución de la posición. En vez de ello, usa un conjunto de fuentes telemétricas (señales) para calcular una estimación de la posición. A continuación, se comprueban los pseudoalcances de todas las señales de los satélites que no contribuyeron a esta estimación particular con respecto a su consenso con esta estimación y, por ende, con las fuentes telemétricas del subconjunto usado (véase la Fig. 1). Combinando los subconjuntos con respecto al consenso con todos los satélites con cobertura, puede determinarse el subconjunto con el mejor consenso. En este contexto, consenso se refiere a los pseudoalcances que coinciden en una solución de la posición de manera coherente.

En la Fig. 1 y también en la Fig. 5, "Vectoresnormal" son vectores normalizados que se muestran desde el receptor a los satélites individuales, "Sigma" representa las varianzas de las distribuciones del error predicho para cada fuente telemétrica (= satélite) dependiendo del ángulo de elevación, y "Vectorerror" es el vector que contiene las auténticas derivas de las señales, que es necesario únicamente para la simulación. VE significa Vehículo Espacial.

Verificar los subconjuntos conjuntamente con sus fuentes telemétricas coherentes mediante cualquier algoritmo RAIM, para comprobar la integridad de este conjunto, puede evitar la selección de un subconjunto defectuoso.

Conociendo todos los "satélites coherentes", los satélites con una deriva mayor en pseudoalcance que un umbral pueden ser identificados como satélites defectuosos. Esta información se usa en el receptor (véase la Fig. 6) para excluir los satélites defectuosos para la determinación de la posición, la velocidad y la hora. En consecuencia, pueden determinarse soluciones que tienen la integridad y la precisión óptimas con respecto a los parámetros del sistema.

Los umbrales para las comparaciones pueden establecerse relativo a la variación de las distribuciones del error predicho para cada fuente telemétrica individualmente. Esto permite el

uso de toda la información disponible y explica la influencia de los efectos dependiendo de los ángulos de elevación. Establecer el umbral también relativo a las varianzas del subconjunto usado actualmente mejorará significativamente el rendimiento.

5 La preselección de subconjuntos es de gran importancia para el rendimiento de la técnica descrita. Por ello, se utiliza una técnica de selección que evalúa los subconjuntos con respecto a su geometría. Tal como muestra la Fig. 2, el primer enfoque calcula la condición de las matrices geométricas y, por ende, evalúa la ortogonalidad de los vectores normales en el espacio vectorial de cuatro dimensiones. Esta técnica es similar a la evaluación mediante el cálculo de la Disolución de la Precisión (DOP). Para incorporar las varianzas estimadas de los
10 pseudoalcances de cada satélite que forma parte del subconjunto puede usarse la Disolución Ponderada de la Precisión (WDOP) como índice de los subconjuntos. Esto da por resultado el mejor rendimiento del procedimiento en su conjunto. Sin embargo, hay otro enfoque que es significativamente más rápido. Aquí, determinamos la ortogonalidad únicamente en un espacio bidimensional calculando la correlación de cada par posible de vectores (desde el receptor a
15 los satélites individuales) (véase la Fig. 3). En los subconjuntos no se desean los emparejamientos que tengan un valor de correlación elevado y que, por ello, se muestran en aproximadamente la misma dirección. Por lo tanto, se excluyen todos los subconjuntos con emparejamientos inaceptables. Lo óptimo es una combinación tanto de este enfoque rápido como de una clasificación ordenada precisa posterior con la WDOP.

20 Para identificar únicamente un cierto número máximo de satélites defectuosos, se aplica una técnica de postselección. Permite encontrar la agrupación mínima necesaria de subconjuntos que es capaz de identificar el máximo número definido de satélites como defectuosos (véase la Fig. 4). Este enfoque adapta los cálculos necesarios en la técnica de detección y la exclusión de fallos a las premisas adoptadas. Aquí los subconjuntos no solo se seleccionan con respecto
25 a su capacidad de comprobar las combinaciones con fallos, sino también por su valor de WDOP.

El segundo procedimiento de detección de fallos, denominado S-RANCO, ilustrado en la Fig. 5, que está muy estrechamente relacionado con el primero, es también capaz de detectar fallos en los satélites, pero su valor puede encontrarse en la sugerencia de posibles satélites
30 defectuosos con derivas muy pequeñas. Por lo tanto, los resultados con este enfoque pueden servir de entrada para algoritmos adicionales. El diferenciador principal de este algoritmo es que no busca el subconjunto con el menor número de valores atípicos, sino que cuenta el número de veces en que cada satélite es un valor atípico. El satélite con el valor de contador más elevado es el que tiene mayor probabilidad de estar defectuoso y debiera ser investigado
35 por un procedimiento ejecutado de manera subsiguiente.

La Fig. 6 muestra un diagrama genérico de bloques de un receptor de navegación por satélite. El novedoso procedimiento para la identificación de las señales de satélites defectuosos puede implementarse directamente en el bloque Evaluación de la integridad.

5 La técnica de detección y exclusión de fallos propuesta por la presente invención no depende del número de antenas receptores. Los receptores relacionados con la salvaguardia de la vida pueden beneficiarse en lo que respecta a la mitigación de señales de interferencia mediante la utilización de un conjunto de antenas.

10 La Fig. 7 y la Fig. 8 muestran la diferencia en el rendimiento en caso de que se averíe un único SC (satélite con cobertura) para el existente enfoque de MHSS y las nuevas técnicas propuestas por la presente invención y denominadas RANCO y S-RANCO, respectivamente. En ambos diagramas, se traza el índice de detección con respecto a la deriva de la señal en múltiplos de la varianza sigma. Un índice de detección de uno significa que una señal con una deriva igual al valor dado en el eje horizontal puede ser detectada cada vez. En el gráfico de la Fig. 7, se seleccionó el satélite más crítico como defectuoso y, por lo tanto, el que tenía mayor
15 influencia en la solución de la posición, mientras que en el gráfico de la Fig. 8 fue el menos importante. El RANCO apenas se ve influido por esto, pero la MHSS necesita derivas mucho mayores para identificar qué satélite falla. La simulación se llevó a cabo asumiendo una constelación combinada de GPS y Galileo. Dado que esta técnica está diseñada para su uso en cualquier constelación combinada, tiene un rendimiento significativamente mejor en este
20 entorno. Sin embargo, puede usarse también estando presente una única constelación, en la que sigue detectando satélites defectuosos con derivas menores que la MHSS.

La Fig. 9 muestra los resultados de un experimento de simulación con diferentes números de satélites defectuosos. Hay casos en los que el algoritmo detecta únicamente de manera parcial los satélites defectuosos. Para cuantificar la detección, se pondera una detección correcta y
25 completa como el 100%, y una detección parcial de los satélites defectuosos en el correspondiente porcentaje. La puntuación de la detección media se visualiza en la Fig. 9. Con un número creciente de fallos en los satélites, la deriva necesaria para una detección correcta se incrementa en aproximadamente una sigma para cada satélite defectuoso adicional. Este comportamiento cambia cuando encontramos más de siete fallos. Teniendo en mente la
30 distribución del número de satélites visibles, vemos que son necesarios al menos cuatro satélites más un satélite que funcione correctamente para identificar un subconjunto que no incluya fuentes telemétricas con deriva y que, en consecuencia, dé como resultado una estimación aceptable de la posición. Esto es necesario para poder detectar correctamente los satélites restantes como valores atípicos (y, por ende, defectuosos). Con independencia de la
35 deriva, las constelaciones en las que no se cumple esta limitación no pueden ser analizadas

correctamente. En el caso en el que fallen diez satélites, son necesarios al menos 15 satélites con cobertura para identificar todos los valores atípicos.

La distribución de la Fig. 10 muestra que el 5,6% de las geometrías consideradas en una constelación combinada de GPS y Galileo tienen 15 satélites o menos con cobertura. Con una deriva de 70 veces sigma, se determina que el índice de detección es del 93%, lo cual cuadra muy bien con el límite teórico. Además, es importante que los errores no tengan correlación. Si hay más satélites defectuosos correlacionados que satélites que funcionen correctamente, el algoritmo tampoco podrá detectarlos. En conjunto, el algoritmo es capaz de identificar, como máximo, los “número de satélites con cobertura – (4+1)” satélites defectuosos.

Para obtener resultados de significación estadística, las simulaciones siguientes se basaron en una única geometría con solo 13 satélites con cobertura, y se registró un millón de muestras. Hay dos umbrales en los que el primero se contempla que identifique los valores típicos dentro del recorrido por todos los subconjuntos y, por lo tanto, para identificar el mejor subconjunto. El segundo umbral se aplica después de calcular una solución de mínimos cuadrados ponderados basada en todos los valores típicos previamente identificados.

Las zonas en blanco en los gráficos logarítmicos de la Fig. 11 y la Fig. 12 muestran que no pudo reconocerse ni una sola detección falsa en un millón de muestras.

Tal como se muestra en la Fig. 11, en la mayoría de los casos es conveniente fijar ambos umbrales en los mismos valores. Además, se analizó la Probabilidad de detección frustrada para derivas y umbrales diferentes. La Fig. 12 siguiente muestra la relación entre el umbral aplicado y la deriva necesaria.

El novedoso procedimiento según la presente invención es de importancia significativa para todos los tipos de receptores (terminales) de navegación por satélite. En último término, la significativa mejora de integridad y precisión en el receptor sin ningún sistema de aumento adicional es una ventaja de mucho valor económico. Para las aplicaciones de salvaguardia de la vida (integridad) y de distribución generalizada (precisión), este novedoso procedimiento tiene gran potencial de ser implementado en receptores con conjuntos de chips de tecnología punta. En los campos de la geodesia, la telemática, en los servicios basados en la ubicación y en las aplicaciones críticas en cuanto a seguridad, etc., se piden mejoras con respecto a la integridad y la precisión.

Reivindicaciones

1. Un procedimiento de operación de un receptor de navegación por satélite que calcula su posición por medio de una multiplicidad de señales, transmitida cada una de ellas por otro satélite como fuente telemétrica, **caracterizado por** la preselección de subconjuntos de dichas fuentes telemétricas y por el uso de un subconjunto de las mismas para calcular la estimación de la posición y comprobar los pseudoalcances de todas las señales recibidas de los satélites que no contribuyeron a esta estimación particular con respecto a su consenso con esta estimación y, por ello, a las fuentes telemétricas del subconjunto utilizado, refiriéndose el consenso a los pseudoalcances que coinciden de manera coherente en una solución de la posición,
por comparar los subconjuntos preseleccionados con respecto al consenso con todas las demás fuentes telemétricas con cobertura, y determinándose el subconjunto que resulta en una estimación de la posición, que se corresponde a las fuentes telemétricas de mayor alcance, como el subconjunto con el mejor consenso,
por identificar las fuentes telemétricas con una deriva en el pseudoalcance mayor que un umbral como fuentes telemétricas defectuosas, tras conocer todas las fuentes telemétricas coherentes, determinándose dicha deriva en comparación con una estimación de la posición basada en las fuentes telemétricas que formaron parte del mejor subconjunto o que coincidieron con él, y
por usar esta información de identificación para excluir las fuentes telemétricas defectuosas para la determinación de la posición, la velocidad y la hora en el receptor.
2. Un procedimiento de operación de un receptor de navegación por satélite que calcula su posición por medio de una multiplicidad de señales, transmitida cada una de ellas por otro satélite como fuente telemétrica, **caracterizado por** la preselección de subconjuntos de dichas fuentes telemétricas y por el uso de un subconjunto de las mismas para calcular la estimación de la posición y comprobar los pseudoalcances de todas las señales recibidas de los satélites que no contribuyeron a esta estimación particular con respecto a su consenso con esta estimación y, por ello, a las fuentes telemétricas del subconjunto utilizado, refiriéndose el consenso a los pseudoalcances que coinciden de manera coherente en una solución de la posición, y por comparar los subconjuntos preseleccionados con respecto al consenso con todas las demás fuentes telemétricas con cobertura, siendo una fuente telemétrica un valor atípico si no contribuye a dicha estimación particular, por lo que los resultados con esta técnica sirven como entrada para algoritmos adicionales que cuentan el número de veces que cada fuente telemétrica es un valor atípico, incrementándose el contador para una fuente telemétrica cada vez que se

determina que esa fuente telemétrica es un valor atípico, y contándose también las veces que la fuente telemétrica forma parte del subconjunto actual,

y por determinar que la fuente telemétrica con el valor de contador más elevado es la que tiene mayor probabilidad de ser defectuosa y que debe ser investigada por un procedimiento ejecutado de manera subsiguiente.

- 5 **3.** El procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2 **caracterizado por** el uso únicamente del mínimo número necesario de fuentes telemétricas.
- 4.** El procedimiento según las reivindicaciones 1, 2 o 3 **caracterizado por** la verificación de los subconjuntos con sus fuentes telemétricas coherentes mediante un simple algoritmo
10 RAIM para comprobar la integridad de este conjunto, para evitar seleccionar un subconjunto defectuoso de fuentes telemétricas.
- 5.** El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes **caracterizado por** la utilización de una técnica de preselección de subconjuntos que evalúa los subconjuntos con respecto a su geometría.
- 15 **6.** El procedimiento según la reivindicación 5 **caracterizado por** el cálculo de la condición de las matrices geométricas y, por ende, por la evaluación de la ortogonalidad de los vectores normales en el espacio vectorial de cuatro dimensiones.
- 7.** El procedimiento según la reivindicación 6 **caracterizado por** el uso de la Disolución Ponderada de la Precisión (WDOP) como índice para que los subconjuntos incorporen las varianzas calculadas de los pseudoalcances de cada fuente telemétrica que forme parte
20 del subconjunto.
- 8.** El procedimiento según la reivindicación 5 **caracterizado por** la determinación de la ortogonalidad únicamente en un espacio bidimensional calculando la correlación de cada par de vectores posibles desde el receptor con las fuentes telemétricas individuales, y por
25 la exclusión de todos los subconjuntos con emparejamientos inaceptables que tengan un valor elevado de correlación por mostrarse en aproximadamente la misma dirección.
- 9.** El procedimiento según las reivindicaciones 6 y 7 **caracterizado por** la combinación con la técnica de preselección de la reivindicación 8.
- 30 **10.** El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes **caracterizado por** la aplicación de una técnica de postselección para identificar únicamente un cierto número máximo de fuentes telemétricas defectuosas, por lo que se encuentra la agrupación mínima necesaria de subconjuntos que es capaz de identificar el máximo número definido de fuentes telemétricas como defectuosas, adaptando este enfoque los cálculos necesarios en la técnica de detección de fallos y de exclusión a las premisas

adoptadas, y por la selección de los subconjuntos no solo con respecto a su capacidad de comprobar las combinaciones con fallos, sino también por sus valores de WDOP.

11. El procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado por** minimizar el número de subconjuntos que deben ser evaluados limitando el número de satélites defectuosos detectables.

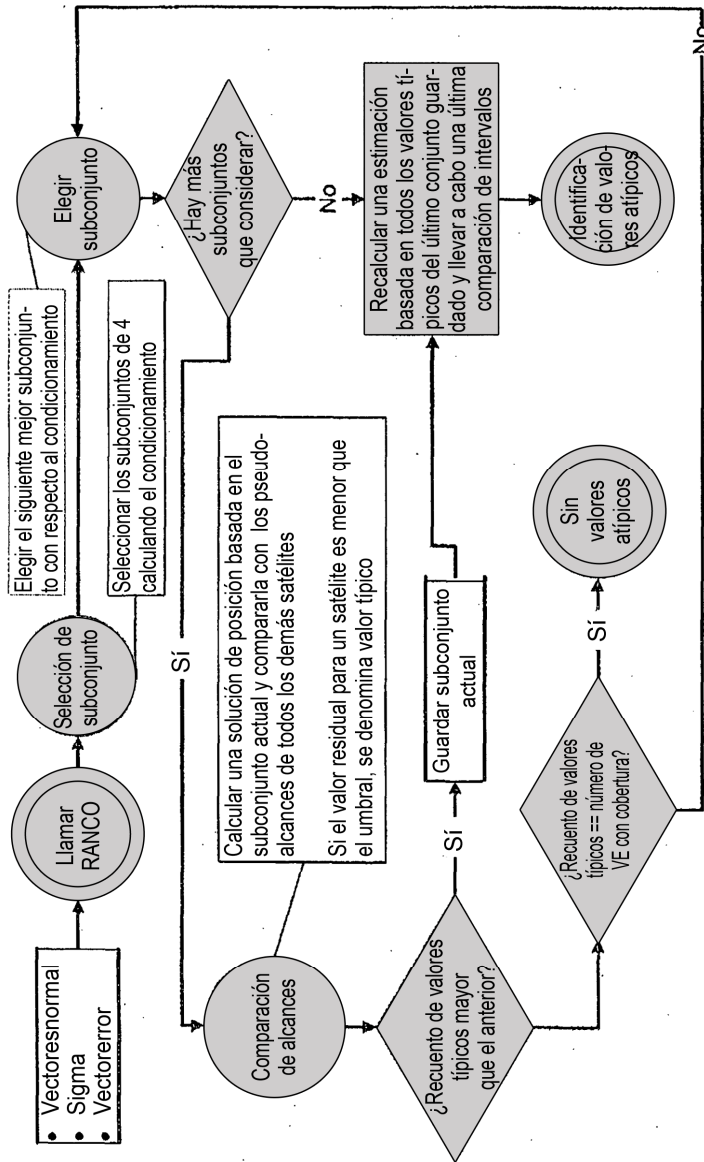


Fig.1

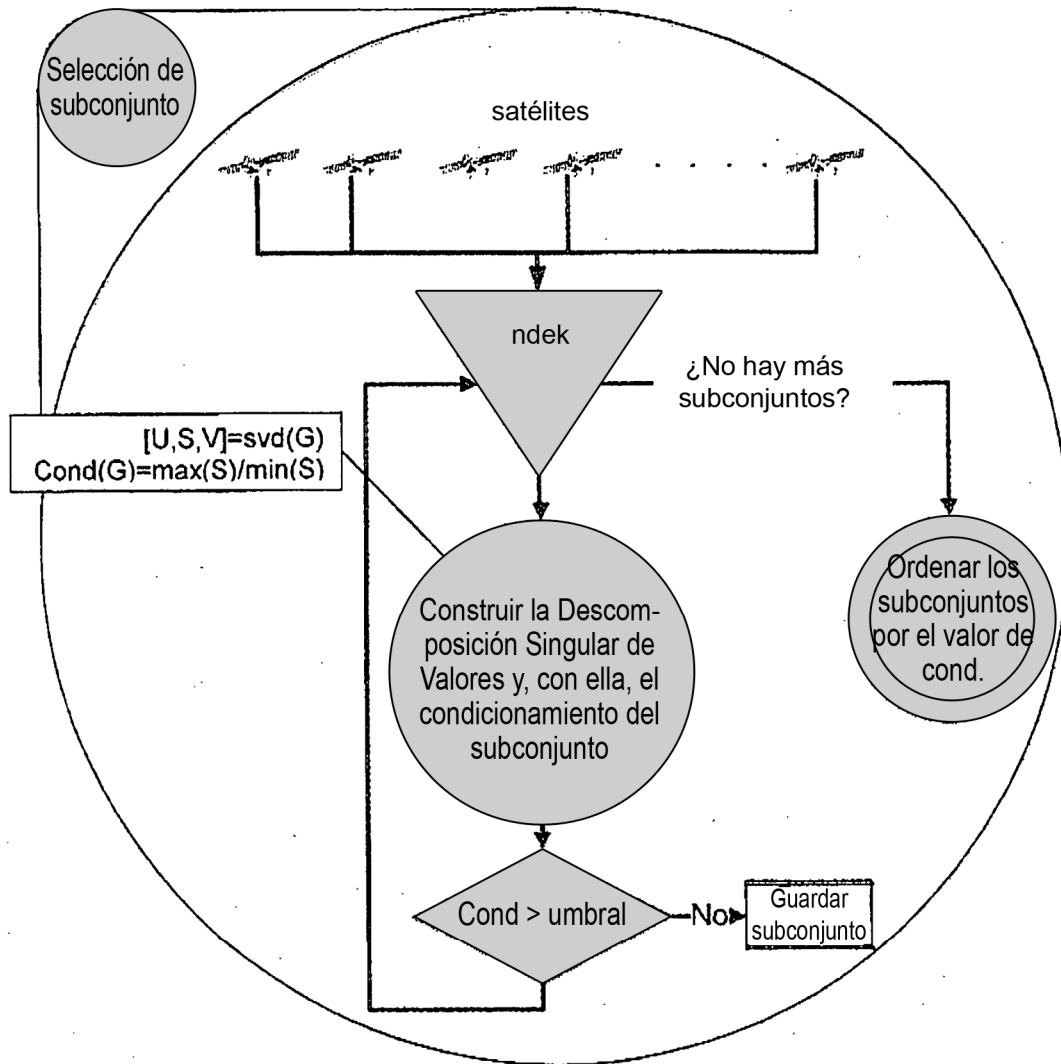


Fig.2

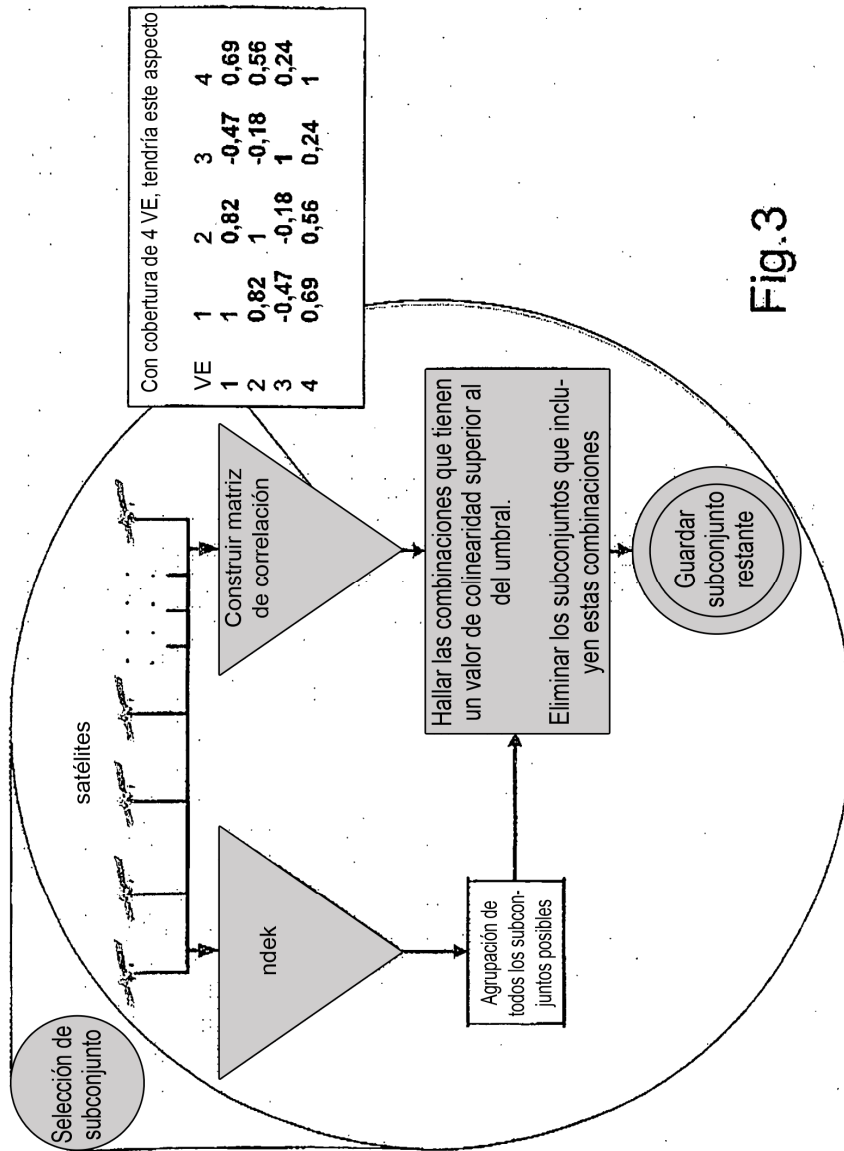


Fig.3

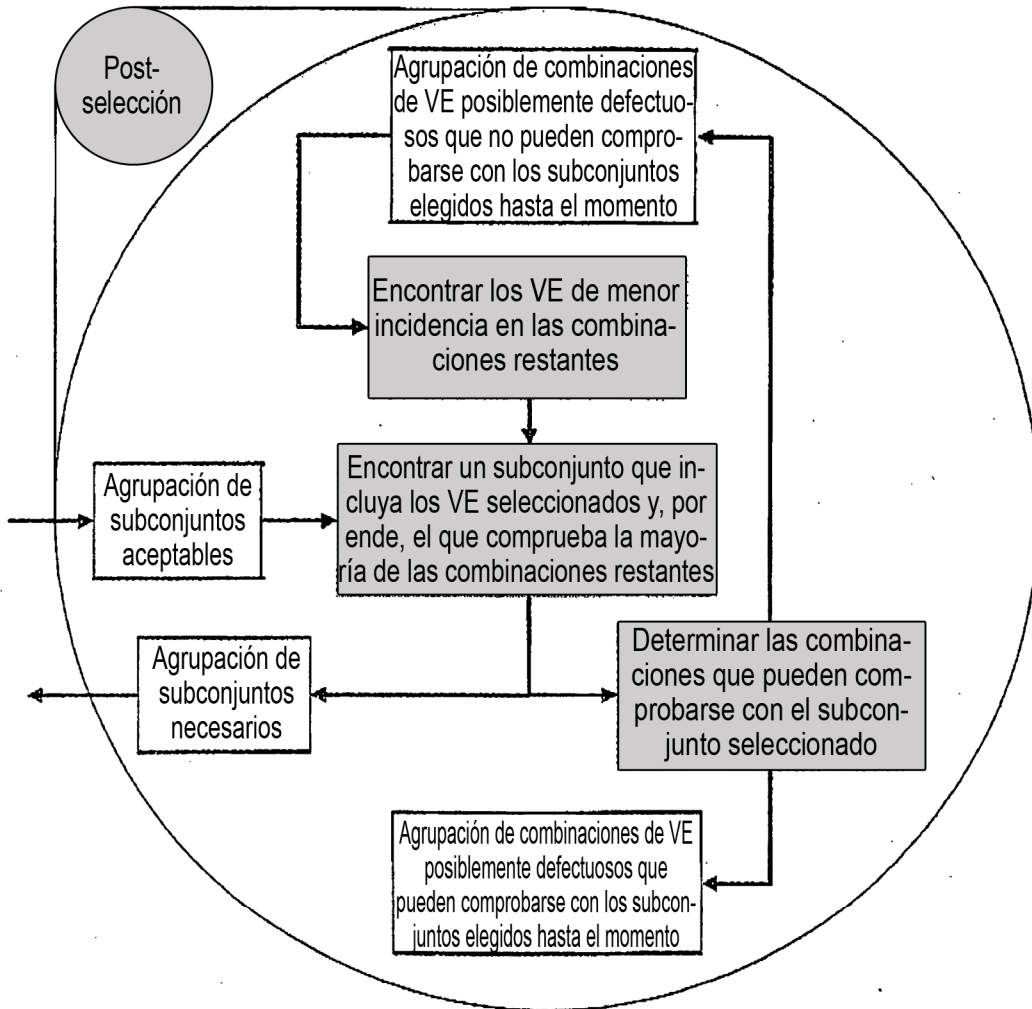


Fig.4

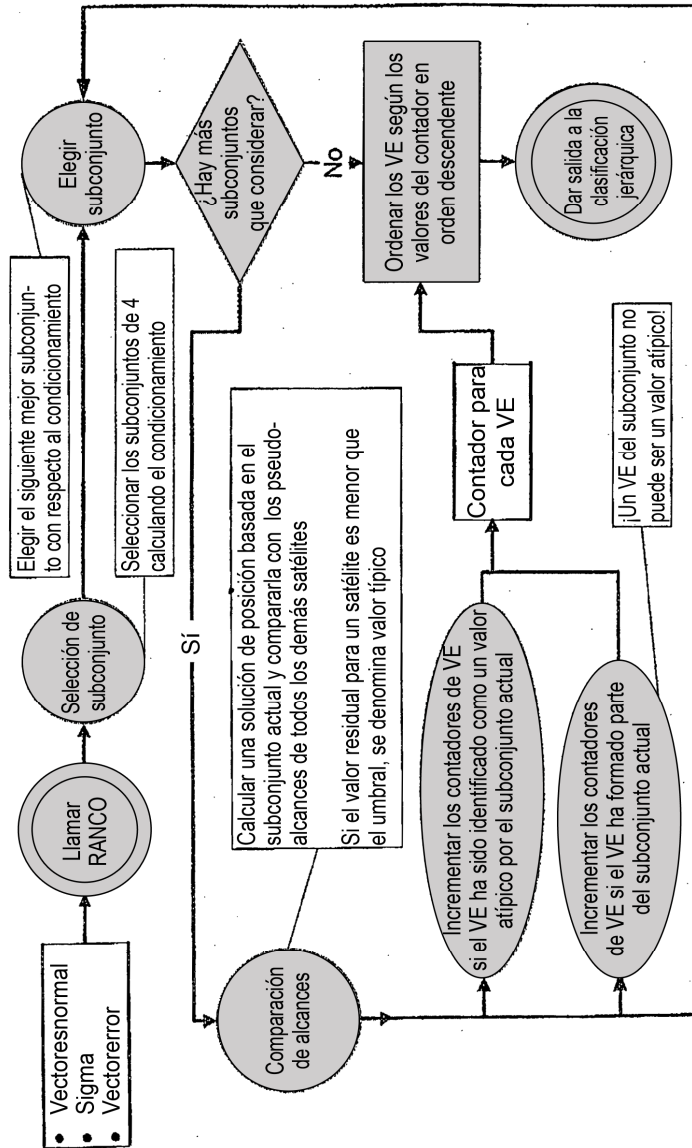


Fig.5

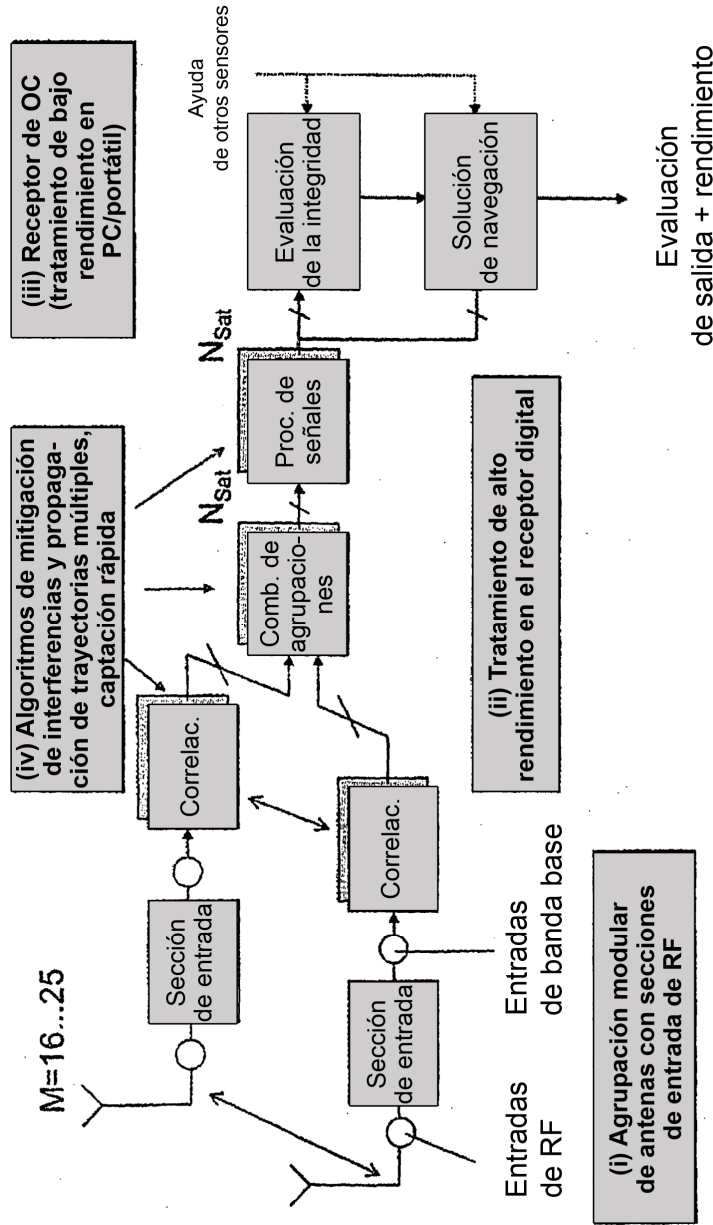


Fig.6

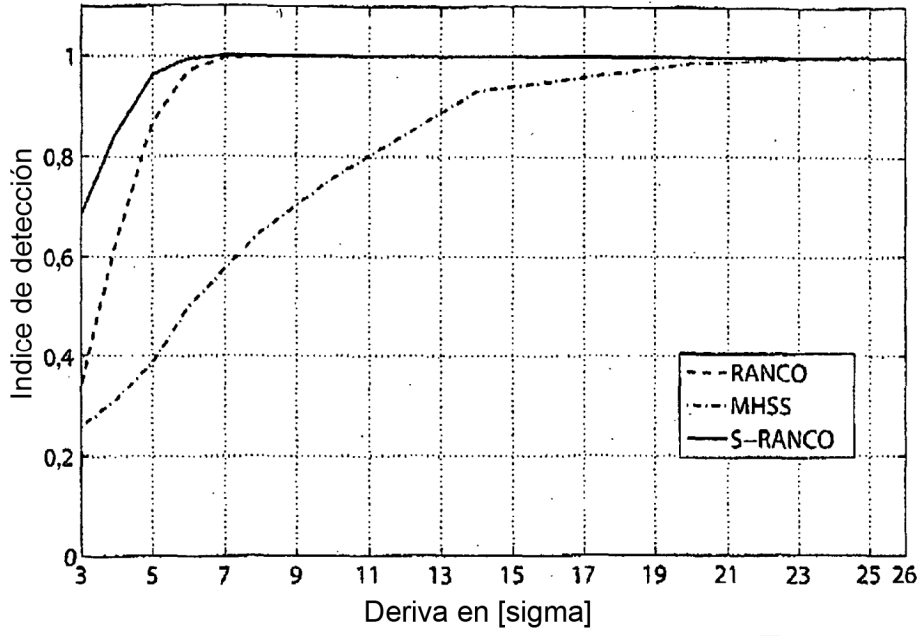


Fig.7

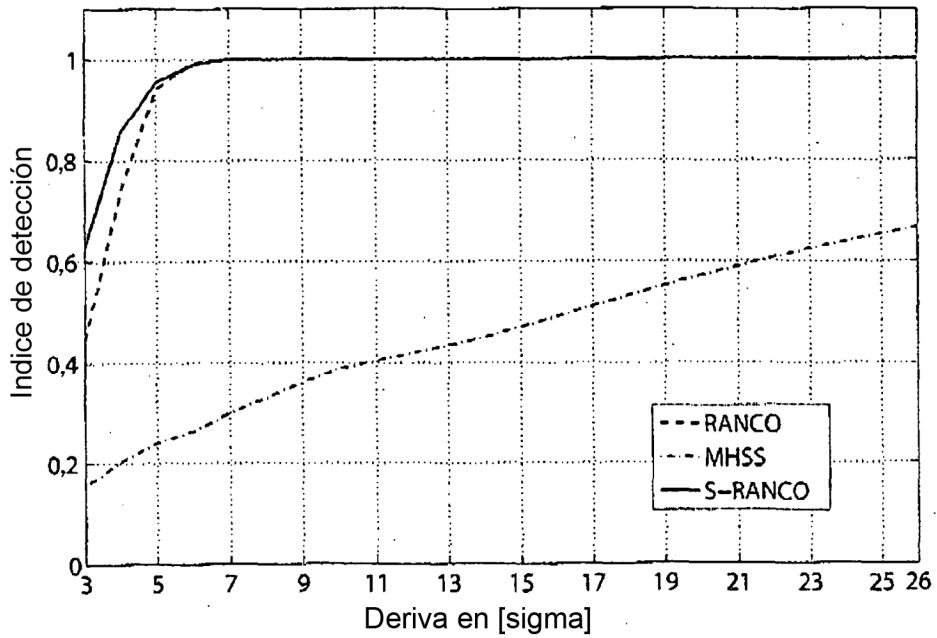


Fig.8

Fig.9

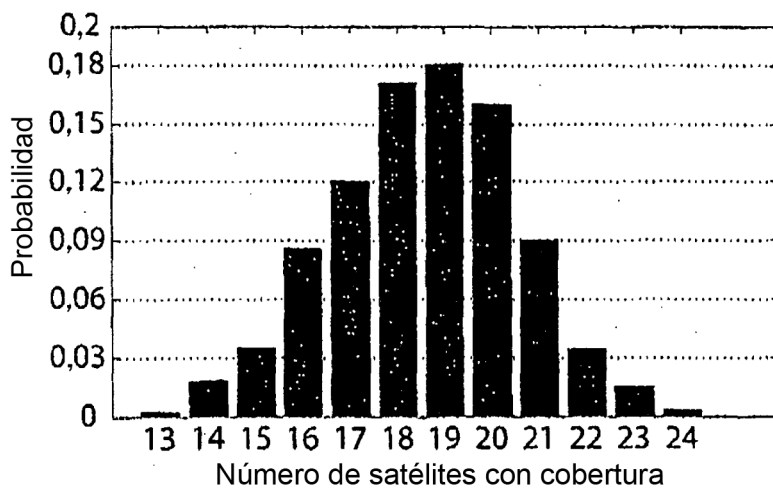
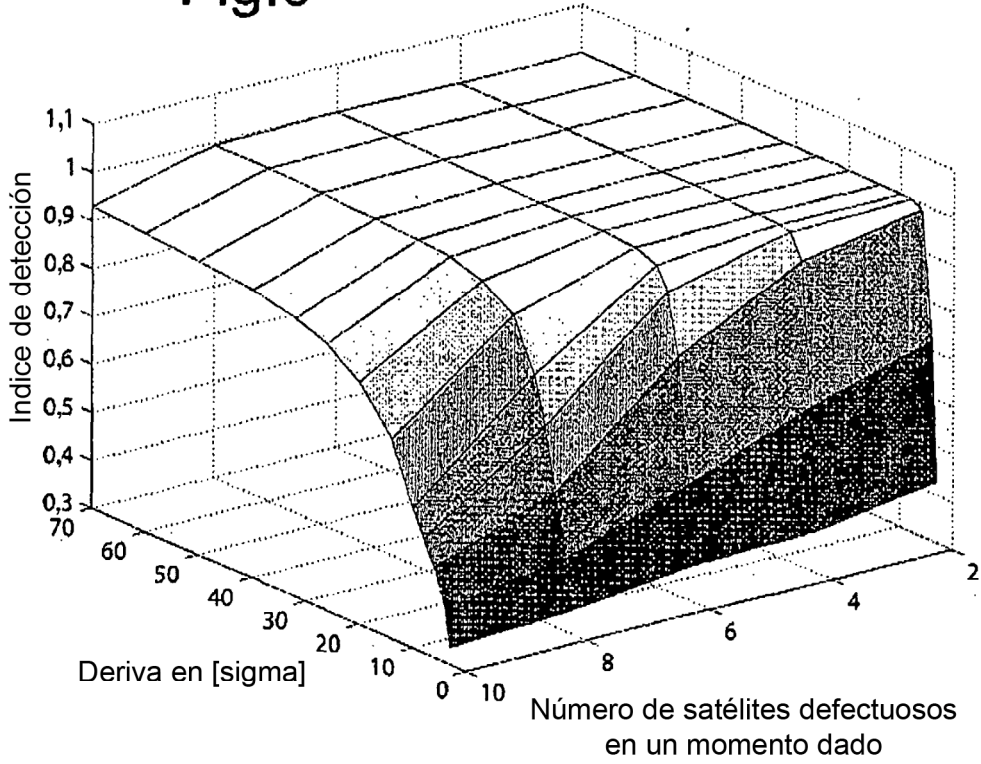


Fig.10

Fig.11

