



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 348 044**

51 Int. Cl.:
G01C 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06011459 .2**

96 Fecha de presentación : **02.06.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1736733**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.12.2006**

54 Título: **Procedimiento para determinar una solución de navegación de un sistema de navegación con un módulo de navegación de terreno, así como un sistema de navegación.**

30 Prioridad: **22.06.2005 DE 10 2005 029 217**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
29.11.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
29.11.2010

73 Titular/es: **Eads Deutschland GmbH**
Willy-Messerschmitt-Strasse
85521 Ottobrunn, DE

72 Inventor/es: **Metzger, Jurgen;**
Kreutz, Peter y
Taddiken, Bernd

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

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).

**PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR UNA SOLUCIÓN DE NAVEGACIÓN
DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN CON UN MÓDULO DE NAVEGACIÓN DE
TERRENO, ASÍ COMO UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN**

5 Descripción

La invención concierne a un procedimiento para determinar una solución de navegación de un sistema de navegación con un módulo de navegación de terreno, así como a un sistema de navegación.

10 En D. H. Titterton y J. L. Weston: Strapdown inertial navigation technology, *Peter Peregrinus Ltd.* 1997, se presenta cómo puede construirse con ayuda de un algoritmo Strap Down, que integra aceleraciones y velocidades de rotación, un sistema de navegación inercial. Este sistema de
15 navegación inercial representa la base para un sistema de navegación que determina posición, velocidad y situación de un vehículo. Dado que la integración de los datos de sensor inercial afectados de errores no permite una solución de navegación estable a largo plazo, se fusionan
20 otros sensores, como, por ejemplo, el sistema de posicionamiento global (GPS), que permite una determinación de posición absoluto, con la solución del sistema de navegación inercial. En Mohinder S. Grewal y Lawrence R. Weill y Angus P. Andrews: Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration, *John Wiley & Sons, Inc.*, 2001,
25 se describe cómo se fusiona mediante un filtro estocástico, especialmente un filtro de Kalman, la solución de la navegación inercial con otros datos de sensor, especialmente GPS. Debido a la dependencia del GPS respecto de se-
30 ñales de satélite externas es fácilmente posible que este sistema pueda ser perturbado intencionadamente o sin intención. Por este motivo, se aprovechan otras señales de sensor para la fusión con la solución de navegación inercial. Una señal de sensor de esta clase es generada por un

módulo de navegación de terreno sobre la base de mediciones de distancia con respecto al suelo (radar, láser, sonar...), en lo que sigue llamadas medición de altura. Esto se efectúa mediante la comparación de las mediciones de altura del terreno obtenidas a partir de las mediciones de altura con un mapa de referencia que contiene las alturas reales del terreno. Existen varios enfoques acerca de cómo puede estar constituido un sistema de navegación de terreno de esta clase. En F. Gustafsson, F. Gunnarsson, N. Bergman, U. Forssell, J. Jansson, R. Karlsson, P. Nordlund: Particle Filters for Positioning, Navigation, and Tracking, en: *IEEE Transactions on Signal Processing*, 50, 425-435, 2002, se describe un grupo basado en filtros estocásticos no lineales, especialmente filtros de partículas. Sin embargo, este grupo posee algunos inconvenientes con respecto a su modularidad (posibilidad de desarrollo separado del sistema de navegación y el módulo de navegación de terreno) y a las prestaciones de adquisición (posibilidad de corregir grandes errores de posición inicial). El segundo grupo se basa en procedimientos de comparación que realizan una comparación directa de valores de medida de altura del terreno y el mapa de referencia, y se describe en J. P. Goldon: Terrain contour matching (TERCOM): a cruise missile guidance aid, en: *Proceedings of the SPIE Image Processing for Missile Guidance*, volumen 238, 1980. Estos procedimientos de comparación son modulares y tienen unas excelentes prestaciones de adquisición y seguimiento. El inconveniente consiste en que este módulo de navegación de terreno no suministra ninguna información sobre la calidad de la asistencia de posición propia. Por tanto, los procedimientos actuales, como se describe en J. Metzger, O. Meister, G. F. Trommer, F. Tumbrägel, B. Taddiken: Covariance Estimation for Terrain Referenced Navigation with a Comparison Technique, en: *Proceedings of the ION 60th*

Annual Meeting, Junio 7-9, Dayton, Ohio, USA, 2004, emplean procedimientos heurísticos para determinar la calidad necesaria para la fusión. En particular, en un procedimiento heurístico de esta clase se evalúa la escabrosidad
5 del terreno y se estima a partir de ella la calidad esperada de la asistencia de posición. Sin embargo, dado que, aparte de la escabrosidad, también otros factores, como la calidad de la IMU, la calidad del mapa de referencia y el propio algoritmo de comparación, tienen una influencia sobre la calidad de las asistencias de posición, la calidad
10 determinada es tan sólo una solución subóptima. Un segundo procedimiento, como el que se describe en J. Metzger, G. F. Trommer: Improvement of Modular Terrain Navigation Systems by Measurement Decorrelation, en: *Proceedings of the ION 59th Annual Meeting*, Junio 23-25, Albuquerque, Nuevo
15 México, USA, 2003, estima la varianza de las asistencias de posición a partir de varias asistencias de posición pasadas. Sin embargo, esto presupone un proceso de ruido ergódico estacionario para los errores de los valores fijos de posición, lo que no es aplicable en la mayoría de los casos. Por tanto, también esta descripción de la calidad es tan sólo subóptima. En este punto se inicia el núcleo de la invención, que permite una indicación netamente más exacta de la calidad de las asistencias de posición.
20 ción.

El problema de la invención consiste en proporcionar un procedimiento y un sistema de navegación para determinar una solución de navegación de un sistema de navegación con un módulo de navegación de terreno, con los cuales se
30 haga posible la determinación de la solución de navegación, especialmente la posición, velocidad y situación con calidad mejorada.

Este problema se resuelve con las características de las reivindicaciones independientes. Otras formas de rea-

lización están indicadas en las reivindicaciones subordinadas referidas a éstas.

Según la invención, se ha previsto un procedimiento para determinar una solución de navegación de un sistema de navegación con un módulo de navegación de terreno con los pasos siguientes:

- 10 - determinación de una solución de navegación, una solución de posición asistida y el camino relativo recorrido entre dos mediciones de altura con ayuda de sensores de navegación, un módulo Strap Down y un filtro de navegación,
- 15 - obtención de una calidad de la respectiva posición asistida actual a partir de la respectiva posición asistida actual por medio de una primera función de calidad,
- 20 - formación de un sector de búsqueda sobre la base de criterios predeterminados y sobre la base de una respectiva solución de posición asistida predeterminada y formación de posiciones predeterminadas dentro del sector de búsqueda,
- 25 - almacenamiento de una medición actual de altura del terreno y del camino relativo recorrido entre la medición actual de altura del terreno y la medición de altura del terreno últimamente almacenada para emplear éstas en la obtención de la calidad de un respectivo camino relativamente recorrido y de la calidad de una respectiva medición almacenada de altura del terreno,
- 30 - determinación de una posición de comparación para una respectiva posición dentro del sector de búsqueda y un respectivo camino relativamente recorrido almacenado,
- obtención de una calidad - transformada por medio del mapa de referencia - de un respectivo camino

- relativamente recorrido almacenado por medio de una segunda función de calidad empleando un respectivo camino relativamente recorrido almacenado,
- 5 - obtención de la calidad de una respectiva medición almacenada de altura del terreno por medio de una tercera función de calidad empleando la correspondiente medición almacenada de altura del terreno,
 - 10 - obtención de una calidad de una respectiva altura de referencia para una respectiva posición de comparación a partir de parámetros predeterminados y de la altura de referencia correspondiente por medio de una cuarta función de calidad,
 - 15 - determinación de funciones de distribución de las medidas de error para una respectiva posición de comparación a partir de una función de la calidad de la respectiva posición asistida actual, la calidad - transformada por medio del mapa de referencia - de un respectivo camino relativamente recorrido, la calidad de una respectiva medición almacenada de altura del terreno y la calidad de una
 - 20 respectiva altura de referencia,
 - obtención de una función de distribución del error total para una respectiva posición predeterminada dentro del sector de búsqueda en función de las
 - 25 funciones de distribución obtenidas de las medidas de error,
 - obtención de las probabilidades mínimas de todas las posiciones empleadas en el sector de búsqueda por medio de una función de las funciones de distribución de todos los errores totales como probabilidad con la que una respectiva posición del
 - 30 sector de búsqueda presenta el error total mínimo,
 - determinación de la calidad de la asistencia de posición por medio de una función de todas las

probabilidades mínimas,

- asistencia de la solución de navegación obtenida en el módulo Strap Down por medio del filtro de navegación con ayuda de la asistencia de posición determinada y de la calidad determinada de la asistencia de posición.

La obtención de la calidad de la respectiva posición asistida actual a partir de la respectiva posición asistida actual puede efectuarse por medio de una primera función de calidad con ayuda de una primera función de distribución.

La primera función de calidad puede ser una función de distribución gaussiana con una primera varianza.

En la formación del sector de búsqueda se puede emplear un sector de búsqueda centrado en torno a una solución de posición asistida.

En la formación del sector de búsqueda se puede emplear una magnitud de sector de búsqueda que varíe sobre la base de la inexactitud de una respectiva solución de posición asistida. Como alternativa, en la formación del sector de búsqueda se pueden emplear posiciones que estén dispuestas equidistantemente sobre una trama predefinida.

En el almacenamiento se puede obtener la medición actual de altura del terreno a partir de la medición de altura actual y de la posición asistida actual.

En el almacenamiento de una medición actual de altura del terreno y del camino recorrido relativo se puede almacenar un número prefijado de mediciones de altura del terreno y de caminos recorridos relativos.

En la obtención de la calidad - transformada por medio del mapa de referencia - del camino relativamente recorrido almacenado se puede emplear una segunda función de distribución. En la obtención de la calidad transformada por medio del mapa de referencia se puede emplear espe-

cialmente una función de distribución gaussiana con una segunda varianza.

En la obtención de la calidad de una respectiva medición almacenada de altura del terreno se puede emplear una
5 tercera función de distribución. En esta obtención de la calidad se puede emplear especialmente una función de distribución gaussiana con una tercera varianza.

En la obtención de la calidad de la altura de referencia se puede emplear una cuarta función de distribución.
10 ción. En esta obtención de la calidad se puede emplear una función de distribución gaussiana con una cuarta varianza.

La obtención de las funciones de distribución del error total se puede realizar para una respectiva posición predeterminada dentro del sector de búsqueda por medio del
15 plegado de las distintas funciones de distribución de las medidas de error.

La determinación de la calidad de la asistencia de posición se puede efectuar a través de una función de todas las probabilidades mínimas por medio de una función de
20 distribución discreta que está definida por las probabilidades mínimas. Como alternativa, la determinación de la calidad de la asistencia de posición se puede efectuar a través de una matriz de covarianzas que se calcula a partir de las probabilidades mínimas y de la asistencia de
25 posición real.

La asistencia de la solución de navegación obtenida en el módulo Strap Down se puede efectuar mediante los pasos siguientes:

- determinación de la asistencia de posición a
30 través del cálculo de la medida de error para la respectiva posición de comparación,
- determinación del error total para la respectiva posición en el sector de búsqueda y
- realización de una búsqueda del error total mínimo

a través de todos los errores totales en el sector de búsqueda para la identificación de la asistencia de posición.

Asimismo, según la invención, se ha previsto un sistema de navegación con un módulo Strap Down y un filtro de navegación y con un módulo de navegación de terreno para determinar una solución de navegación, en donde se alimentan al módulo de navegación de terreno una solución de posición asistida y unos caminos relativos recorridos entre dos mediciones de altura, comprendiendo el módulo de navegación de terreno las funciones siguientes:

- una función para la obtención (M) de una calidad (14) de la respectiva posición asistida actual (1a) a partir de la respectiva posición asistida actual (1a),
- una función para la formación (H) de un sector de búsqueda y para la formación de posiciones predefinidas (7) dentro del sector de búsqueda,
- una función para el almacenamiento (J) de una medición actual de altura del terreno y del camino recorrido relativo entre la medición actual de altura del terreno y la medición de altura del terreno últimamente almacenada (1b) a fin de emplear éstas para obtener la calidad (15) de un respectivo camino relativamente recorrido y la calidad (16) de una respectiva medición de altura del terreno,
- una función para la determinación (K) de una posición de comparación (8) para una respectiva posición (7) dentro del sector de búsqueda y de un respectivo camino relativamente recorrido almacenado (10),
- una función para la obtención (P) de una calidad transformada por medio del mapa de referencia (6)

- de un respectivo camino relativamente recorrido almacenado (10) por medio de una segunda función de calidad empleando un respectivo camino relativamente recorrido almacenado (10),
- 5 - una función para la obtención (Q) de una calidad (16) de una respectiva medición de altura de terreno almacenada (11) por medio de una tercera función de calidad empleando la correspondiente medición de altura de terreno almacenada (11),
- 10 - una función para la obtención (R) de una calidad (17) de una respectiva altura de referencia (6) para una respectiva posición de comparación (8) a partir de parámetros predeterminados y de la correspondiente altura de referencia (6) por medio
- 15 de una cuarta función de calidad,
- una función para la determinación (S) de funciones de distribución (18) de las medidas de error para una respectiva posición de comparación (8) a partir de una función de la calidad de la respectiva
- 20 posición asistida actual (14), la calidad - transformada a través del mapa de referencia - de un respectivo camino relativamente recorrido (15), la calidad de una respectiva medición de altura de terreno almacenada (16) y la calidad de una res-
- 25 pectiva altura de referencia (17),
- una función para la obtención (T) de una función de distribución (19) del error total para una respectiva posición predeterminada dentro del sector de búsqueda (7) en función de las funciones de
- 30 distribución obtenidas (18) de las medidas de error,
- una función para la obtención (U) de las probabilidades mínimas (20) de todas las posiciones empleadas (7) en el sector de búsqueda por medio de

una función de las funciones de distribución (19) de todos los errores totales como probabilidad con la que una respectiva posición del sector de búsqueda presenta el error total mínimo,

- 5 - una función para la determinación (V) de la calidad de la asistencia de posición (4b) a través de una función de todas las probabilidades mínimas (20),
- 10 - una función para la asistencia de la solución de navegación obtenida en el módulo Strap Down (C) a través del filtro de navegación (D) con ayuda de la asistencia de posición determinada (4a) y de la calidad determinada de la asistencia de posición (4b).

15 La ventaja esencial de la invención frente a los procedimientos actuales se basa en la mejora de las propiedades de adquisición y seguimiento, el aumento de la integridad del sistema de navegación y el aumento de la modularidad del sistema de navegación y del módulo de navegación de terreno.

20 En lo que sigue se describe la invención con ayuda de las figuras adjuntas, que muestran:

25 La figura 1, una representación funcional de las funciones del sistema de navegación con un módulo de navegación de terreno y

La figura 2, un diagrama de desarrollo de las funciones esenciales del sistema de navegación según la invención con el módulo de navegación de terreno.

30 El sistema de navegación Z según la invención comprende un módulo de navegación de terreno A con el cual se puede realizar la determinación de la solución de navegación 1 de un artefacto volador o de un vehículo acuático y especialmente de un submarino. Este vehículo se denomina abreviadamente vehículo en lo que sigue. La solución de

navegación comprende forzosamente la posición propia del vehículo. Además, la solución de navegación puede contener la velocidad y la situación, pero éstas no son forzosamente necesarias.

5 A este fin, se alimentan al sistema de navegación Z unas señales de medida o unos valores de medida para las aceleraciones y velocidades de rotación 2 que se obtienen por un sistema sensor inercial o una unidad de medición inercial B. Estas señales o datos de entrada son procesa-
10 dos para proporcionar una solución de navegación 1 del vehículo, una solución de posición asistida 1a y el camino relativo 1b recorrido entre dos mediciones de altura con ayuda de sensores de navegación A, B, Ga, Gb, un módulo Strap Down C y un filtro de navegación D. En el módulo de
15 navegación de terreno se aprovecha aquí la solución de posición 1a - fusionada a partir de todas las señales de sensor y asistida - como hipótesis de posición para el cálculo de la asistencia de posición 4a y de la calidad de la asistencia de posición 4b. Además, se procesa en el
20 módulo de navegación de terreno el respectivo camino recorrido relativo 1b del vehículo entre dos mediciones de altura, el cual es determinado por el módulo Strap Down C a partir de las aceleraciones y velocidades de rotación 2.

 Para una determinación estable a largo plazo de la
25 solución de navegación 1 es forzosamente necesario el procesamiento de señales de sensor adicionales. La fusión de los datos de sensores diferentes se consigue por medio del filtro de navegación D, el cual, basándose en las señales de sensor, suministra correcciones 3 para la solución de
30 navegación 1 que se calcula en el módulo Strap Down C. Típicamente, se emplea para el filtro de navegación D un filtro de Kalman, pudiendo emplearse también sin restricciones otros filtros estocásticos no lineales.

El módulo de navegación de terreno A suministra como

señal de sensor adicional 4a para el filtro de navegación D la posición tridimensional del vehículo, la cual se necesita como asistencia de posición para la navegación estable a largo plazo. Además, el módulo de navegación de terreno suministra una información sobre la calidad de la asistencia de posición 4b.

Como magnitudes de entrada se emplea para el módulo de navegación de terreno A la posición asistida 1a, es decir, los datos de posición de la solución de navegación, como hipótesis para la posición real. Asimismo, se alimentan al módulo de navegación de terreno A unos caminos recorridos relativos 1b para poder determinar el camino recorrido por el vehículo entre dos mediciones de altura. La fuente sensora para una navegación de terreno está representada por un medidor de distancia E (por ejemplo, un altímetro de radar o de láser para un artefacto volador o un sonar para un vehículo acuático), el cual determina la distancia 5 del vehículo al suelo, en lo que sigue designado como la medición de altura.

Otros sensores, como, por ejemplo, GPS Ga o altímetros barométricos Gb, pueden ser procesados también en el filtro de navegación, pero no son forzosamente necesarios.

El módulo de navegación de terreno está desglosado en la figura 2. El módulo se divide en una zona para determinar la asistencia de posición Aa y una zona para determinar la calidad de la asistencia de posición Ab.

Es común a ambas zonas el almacenamiento J de una medición de altura de terreno actual y del camino recorrido relativo entre la medición de altura de terreno actual y la medición de altura de terreno últimamente almacenada 1b. En el almacenamiento J se obtiene la medición de altura de terreno actual a partir de la medición de altura actual 5 y la posición asistida actual 1a. Estos valores almacenados se emplean en lo que sigue para la obtención de

la calidad 15 de un respectivo camino relativamente recorrido y de la calidad 16 de una respectiva medición de altura de terreno almacenada. Además, se emplean los valores almacenados para la determinación de la asistencia de posición 4a a través del cálculo L de la medida de error 12 para la respectiva posición de comparación 8 y para la determinación M del error total 13 para la respectiva posición en el sector de búsqueda 7 y para la búsqueda del error total mínimo N a través de todos los errores totales en el sector de búsqueda para la identificación de la asistencia de posición 4a. Se puede efectuar la identificación de la asistencia de posición 4a debido a que la posición en el sector de búsqueda 7 que presenta el error total mínimo 13 se corresponde con la máxima probabilidad de la posición real. Esto tiene su fundamento en que el error total mínimo 13 conduce también a la máxima similitud entre las mediciones de altura de terreno 11 determinadas a partir de las mediciones de altura 5 y almacenadas y las alturas de referencia correspondientes 6. Para la siguiente determinación de la asistencia de posición 4a y de la calidad de la asistencia de posición 4b es suficiente que en el almacenamiento J de una medición de altura de terreno actual y del camino recorrido relativo se almacene un número prefijado de mediciones de altura de terreno y de caminos recorridos relativos 1b.

Asimismo, la formación del sector de búsqueda es común a ambas zonas. La formación H de un sector de búsqueda sobre la base de criterios predeterminados y sobre la base de una respectiva solución de posición asistida predeterminada 1a y una formación de posiciones predeterminadas 7 dentro del sector de búsqueda es necesaria para determinar la asistencia de posición 4a y la calidad de la asistencia de posición 4b. El sector de búsqueda define las posiciones 7 que se toman en consideración para

la identificación de la asistencia de posición 4a. En particular, se puede emplear un sector de búsqueda que esté centrado alrededor de una solución de posición asistida 1a y que permita magnitudes de sector de búsqueda que varíen sobre la base de la inexactitud de una respectiva solución de posición asistida 1a. Para el sector de búsqueda se pueden emplear posiciones 7 que estén dispuestas equidistantemente sobre una trama predefinida.

Para la comparación entre los valores de medición de altura de terreno almacenados pasados 11 y las alturas de referencia correspondientes 6, así como para la determinación de la calidad 17 de las alturas de referencia correspondientes 6 se necesita una posición de comparación 8 basada en una respectiva posición 7 en el sector de búsqueda y en el correspondiente camino relativamente recorrido almacenado 10. Por este motivo, se determina una posición de comparación 8 para una respectiva posición 7 dentro del sector de búsqueda y de un respectivo camino relativamente recorrido almacenado 10.

El desarrollo de la determinación de la calidad de la asistencia de posición Ab comienza con la obtención M de una calidad 14 de la respectiva posición asistida actual 1a a partir de la respectiva posición asistida actual 1a por medio de una primera función de calidad. Se necesita la función de calidad para describir la influencia de una hipótesis de posición afectada de error, es decir, una posición asistida 1a afectada de error. La obtención de la función de calidad puede efectuarse especialmente con ayuda de una primera función de distribución que pueda a su vez describirse especialmente por medio de una primera varianza. En la descripción por medio de una primera varianza se limita la función de distribución a una distribución gaussiana.

Para cada posición 7 en el sector de búsqueda y para

cada posición de comparación 8 basada en esta posición se emplea la calidad de un respectivo camino relativamente recorrido almacenado 10 a fin de determinar la influencia del error del correspondiente camino relativamente recorrido almacenado 10 y expresarla por medio de una calidad. Esto se efectúa a través de la determinación P de una calidad - transformada con ayuda del mapa de referencia 6 - de un respectivo camino relativamente recorrido almacenado 10 por medio de una segunda función de calidad empleando un respectivo camino relativamente recorrido almacenado 10. El error del correspondiente camino relativamente recorrido almacenado 10 se produce principalmente debido a los errores de los valores 2 de aceleración y velocidad de rotación y del procesamiento por el módulo Strap Down C. Para la calidad - transformada con ayuda del mapa de referencia 6 - del camino relativamente recorrido almacenado 10 se puede emplear especialmente una segunda función de distribución. Asimismo, es posible aproximar esta función de distribución por medio de una distribución gaussiana y determinarla a través de una segunda varianza. Para errores pequeños de los caminos relativos recorridos almacenados 10, la determinación de la calidad transformada con ayuda del mapa de referencia 6 tiene lugar por medio de la linealización del mapa de referencia, y para errores mayores dicha determinación tiene lugar a través de una evaluación estadística de las alturas de referencia en función de los errores de los caminos relativos recorridos almacenados 10.

Para cada medición de altura de terreno almacenada 11 se obtiene una calidad para determinar la influencia de los errores de la medición de altura de terreno sobre la asistencia de posición 4a y sobre la calidad de la asistencia de posición 4b. Esto se realiza a través de la obtención Q de una calidad 16 de una respectiva medición de

altura de terreno almacenada 11 por medio de una tercera función de calidad empleando la correspondiente medición de altura de terreno almacenada 11. Esta función de calidad de una respectiva medición de altura de terreno almacenada 11 puede describirse especialmente por medio de una
5 tercera función de distribución. En particular, mediante la limitación de la función de distribución a una función de distribución gaussiana con una tercera varianza se puede determinar la función de calidad.

10 Para todas las posiciones de comparación 8 se determina la influencia de los errores de las alturas de referencia correspondientes 6 sobre la asistencia de posición 4a y sobre la calidad de la asistencia de posición 4b por medio de una función de calidad. Esto se efectúa mediante
15 la determinación R de una calidad 17 de una respectiva altura de referencia 6 para una respectiva posición de comparación 8 a partir de parámetros predeterminados y de la altura de referencia correspondiente 6 por medio de una cuarta función de calidad. Esta función de calidad de una
20 altura de referencia puede describirse especialmente por medio de una cuarta función de distribución. En particular, se puede determinar la función de calidad mediante la limitación de la función de distribución a una función de distribución gaussiana con una cuarta varianza.

25 A partir de las funciones de calidad determinadas 14, 15, 16 y 17 se puede determinar la influencia de todos los errores de las magnitudes de entrada 1a, 1b, 5 y 6 sobre el error de la medida de error 12 y se puede expresar esta influencia por medio de una quinta función de distribución
30 18. Esta determinación S de una quinta función de distribución 18 de la medida de error para una respectiva posición de comparación 8 se efectúa a partir de una función de la calidad de la respectiva posición asistida actual 14, la calidad - transformada con ayuda del mapa de refe-

rencia - de un respectivo camino relativamente recorrido 15, la calidad de una respectiva medición de altura de terreno almacenada 16 y la calidad de una respectiva altura de referencia 17. Esto significa que para cada posición de comparación 8 se determina una función de distribución 18 de la medida de error. Para una medida de error 12 basada en la diferencia absoluta y en la representación de las distintas funciones de calidad por medio de funciones de distribución gaussiana resulta una densidad de valor absoluto para la función de distribución 18 de la medida de error. La densidad de valor absoluto se describe haciendo que ésta sea cero para argumentos negativos y corresponda, para argumentos positivos, a la suma de la distribución gaussiana original y de la distribución gaussiana reflejada en el eje Y.

A partir de la determinación de la función de distribución 18 de la medida de error se conoce el modo en que se describe estocásticamente el error de la medida de error 12. En correspondencia con la obtención del error total 13 se puede determinar a partir de esto la sexta función de distribución 19 del error total. La obtención T de una sexta función de distribución 19 del error total para una respectiva posición predeterminada dentro del sector de búsqueda 7 en función de las quintas funciones de distribución obtenidas 18 de las medidas de error puede realizarse especialmente por medio del plegado de las distintas funciones de distribución de las medidas de error 15 cuando la obtención del error total 13 tenga lugar como una suma ponderada o no ponderada de todas las medidas de error 12. La sexta función de distribución 19 del error total describe las propiedades estocásticas del error total 13 que se aprovecha directamente para la determinación de la asistencia de posición 4a. Por este motivo, las propiedades estocásticas y, por tanto, la calidad de la asis-

tencia de posición 4b pueden deducirse también de la sexta función de distribución 19 del error total.

Para la descripción estocástica de la calidad de la asistencia de posición 4b se determina para cada una de las posiciones 7 en el sector de búsqueda, a partir de las funciones de distribución 19 del error total de todas las posiciones 7 en el sector de búsqueda, la probabilidad con la que la posición correspondiente en el sector de búsqueda presenta el error total mínimo 13 y, por tanto, la máxima similitud entre mediciones de altura de terreno almacenadas 11 y alturas de referencia 6. La obtención U de estas probabilidades mínimas 20 de todas las posiciones empleadas 7 en el sector de búsqueda por medio de una función de las funciones de distribución 19 de todos los errores totales como probabilidad con la que una respectiva posición del sector de búsqueda presenta el error total mínimo representa una descripción estocástica de la asistencia de posición 4a. La probabilidad mínima 20 se determina especialmente por integración de la probabilidad acumulativa de que todas las demás medidas de error sean mayores que un parámetro X, multiplicada por la función de densidad de la medida de error propiamente dicha en el punto X. Esto se indica en la ecuación 0.1, en donde P_{min} representa la probabilidad mínima para la posición 7 con el índice mn en el sector de búsqueda, f_{Qmn} describe la función de distribución del error total 19 para la posición 7 con el índice mn en el sector de búsqueda y f_{Qkl} indica todas las demás funciones de distribución del error total 19 para las posiciones con el índice kl en el sector de búsqueda. La magnitud del sector de búsqueda se indica por medio de M y N .

$$P_{min} = \int_{-\infty}^{\infty} f_{Q_{mn}}(x) \cdot \left[\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^M \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq n}}^N \int_x^{\infty} f_{Q_{kl}}(y) dy \right] \cdot dx \quad (0.1)$$

Por tanto, una alta probabilidad mínima 20 significa una alta probabilidad de que la posición correspondiente 7 dentro del sector de búsqueda corresponda a la posición real.

5 La determinación V de la calidad de la asistencia de posición 4b con ayuda de una función de todas las probabilidades mínimas 20 puede efectuarse especialmente por medio de una función de distribución discreta que esté definida por las probabilidades mínimas 20. Esta función de
10 distribución discreta puede procesarse directamente en un filtro de navegación D. Asimismo, es posible representar la calidad de la asistencia de posición 4b con ayuda de una matriz de covarianzas que se calcule a partir de las probabilidades mínimas 20 y la asistencia de posición real
15 4a. Esta matriz de covarianzas representa una aproximación de la calidad tal como ésta puede ser procesada directamente en un filtro de navegación especial D, un filtro de Kalman.

20 La asistencia de la solución de navegación obtenida en el modulo Strap Down C a través del filtro de navegación D con ayuda de la asistencia de posición determinada 4a y de la calidad determinada de la asistencia de posición 4b cierra la recursión y permite la navegación estable a largo plazo.

25

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para determinar una solución de navegación de un sistema de navegación con un módulo de navegación de terreno, que comprende los pasos siguientes:

- 5 - determinación de una solución de navegación (1), una solución de posición asistida (1a) y el camino relativo (1b) recorrido entre dos mediciones de altura con ayuda de sensores de navegación (A), (B), (Ga), (Gb), un módulo Strap Down (C) y un
10 filtro de navegación (D),
- obtención (M) de una calidad (14) de la respectiva posición asistida actual (1a) a partir de la respectiva posición asistida actual (1a) por medio de una primera función de calidad,
- 15 - formación (H) de un sector de búsqueda sobre la base de criterios predeterminados y sobre la base de una respectiva solución de posición asistida predeterminada (1a) y formación de posiciones predeterminadas (7) dentro del sector de búsqueda,
- 20 - almacenamiento (J) de una medición de altura de terreno actual y del camino recorrido relativo entre la medición de altura de terreno actual y la medición de altura de terreno últimamente almacenada (1b) para emplear éstas en la obtención de la
25 calidad (15) de un respectivo camino relativamente recorrido y de la calidad (16) de una respectiva medición de altura de terreno almacenada,
- determinación (K) de una posición de comparación (8) para una respectiva posición (7) dentro del
30 sector de búsqueda y de un respectivo camino relativamente recorrido almacenado (10),
- obtención (P) de una calidad - transformada con ayuda del mapa de referencia (6) - de un respectivo camino relativamente recorrido almacenado (10)

por medio de una segunda función de calidad empleando un respectivo camino relativamente recorrido almacenado (10),

- 5 - obtención (Q) de una calidad (16) de una respectiva medición de altura de terreno almacenada (11) por medio de una tercera función de calidad empleando la correspondiente medición de altura de terreno almacenada (11),
- 10 - obtención (R) de una calidad (17) de una respectiva altura de referencia (6) para una respectiva posición de comparación (8) a partir de parámetros predeterminados y de la altura de referencia correspondiente (6) por medio de una cuarta función de calidad,
- 15 - determinación (S) de posiciones de distribución (18) de las medidas de error para una respectiva posición de comparación (8) a partir de una función de la calidad de la respectiva posición asistida actual (14), la calidad - transformada con
20 ayuda del mapa de referencia - de un respectivo camino relativamente recorrido (15), la calidad de una respectiva medición de altura de terreno almacenada (16) y la calidad de una respectiva altura de referencia (17),
- 25 - obtención (T) de una función de distribución (19) del error total para una respectiva posición predeterminada dentro del sector de búsqueda (7) en función de las funciones de distribución obtenidas (18) de las medidas de error,
- 30 - obtención (U) de las probabilidades mínimas (20) de todas las posiciones empleadas (7) en el sector de búsqueda por medio de una función de las funciones de distribución (19) de todos los errores totales como probabilidad con la que una respecti-

va posición del sector de búsqueda presenta el error total mínimo,

- determinación (V) de la calidad de la asistencia de posición (4b) con ayuda de una función de todas las probabilidades mínimas (20),
- asistencia de la solución de navegación obtenida en el módulo Strap Down (C) a través del filtro de navegación (D) con ayuda de la asistencia de posición determinada (4a) y de la calidad determinada de la asistencia de posición (4b).

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la obtención (M) de la calidad (14) de la respectiva posición asistida actual (1a) se efectúa a partir de la respectiva posición asistida actual (1a) por medio de una primera función de calidad con ayuda de una primera función de distribución.

3.- Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque la primera función de calidad emplea una función de distribución gaussiana con una primera varianza.

4.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en la formación (H) del sector de búsqueda se emplea un sector de búsqueda centrado en torno a una solución de posición asistida (1a).

5.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 anteriores, caracterizado porque en la formación (H) del sector de búsqueda se emplean unas magnitudes de sector de búsqueda que varían sobre la base de la inexactitud de una respectiva solución de posición asistida (1a).

6.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 anteriores, caracterizado porque en la formación (H) del sector de búsqueda se emplean posiciones (7)

que están dispuestas equidistantemente sobre una trama predefinida.

7.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en el almacenamiento (J) se obtiene la medición de altura de terreno actual a partir de la medición de altura actual (5) y de la posición asistida actual (1a).

8.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en el almacenamiento (J) de una medición de altura de terreno actual y del camino recorrido relativo se almacena un número prefijado de mediciones de altura de terreno y de caminos recorridos relativos (1b).

9.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en la obtención (P) de la calidad - transformada con ayuda del mapa de referencia (6) - del camino relativamente recorrido almacenado (10) se emplea una segunda función de distribución.

10.- Procedimiento según la reivindicación 9, caracterizado porque en la obtención (P) de la calidad transformada con ayuda del mapa de referencia (6) se emplea una función de distribución gaussiana con una segunda varianza.

11.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en la obtención (Q) de la calidad (16) de una respectiva medición de altura de terreno almacenada (11) se emplea una tercera función de distribución,

12.- Procedimiento según la reivindicación 11, caracterizado porque en la obtención (Q) de la calidad se emplea una función de distribución gaussiana con una tercera varianza.

13.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en la obtención

(R) de la calidad (16) de una altura de referencia se emplea una cuarta función de distribución.

14.- Procedimiento según la reivindicación 13, caracterizado porque en la obtención (R) de la calidad se emplea una función de distribución gaussiana con una cuarta
5 varianza.

15.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la obtención (T) de las funciones de distribución (19) del error total para
10 una respectiva posición predeterminada dentro del sector de búsqueda (7) se realiza por medio del plegado de las distintas funciones de distribución de las medidas de error (15).

16.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la determinación (V) de la calidad de la asistencia de posición (4b) se efectúa con ayuda de una función de toda las probabilidades mínimas (20) por medio de una función de distribución discreta que está definida por las probabilidades mínimas
20 (20).

17.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 anteriores, caracterizado porque la determinación (V) de la calidad de la asistencia de posición (4b) se efectúa con ayuda de una matriz de covarianzas que
25 se calcula a partir de las probabilidades mínimas (20) y de la asistencia de posición real (4a).

18.- Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en la asistencia de la solución de navegación obtenida en el módulo Strap
30 Down (C) se emplean:

- la determinación de la asistencia de posición (4a) con ayuda del cálculo (L) de la medida de error (12) para la respectiva posición de comparación (8),

- la determinación (M) del error total (13) para la respectiva posición en el sector de búsqueda (7) y
- la búsqueda del error total mínimo (N) con ayuda de todos los errores totales en el sector de búsqueda para la identificación de la asistencia de posición (4a).

19.- Sistema de navegación con un módulo Strap Down y un filtro de navegación y con un módulo de navegación de terreno para determinar una solución de navegación, en donde se alimentan al módulo de navegación de terreno (A) una solución de posición asistida (1a) y unos caminos relativos (1b) recorridos entre dos mediciones de altura, caracterizado porque el módulo de navegación de terreno (A) comprende las funciones siguientes:

- una función para la obtención (M) de una calidad (14) de la respectiva posición asistida actual (1a) a partir de la respectiva posición asistida actual (1a) por medio de una primera función de calidad,
- una función para la formación (H) de un sector de búsqueda y para la formación de posiciones predefinidas (7) dentro del sector de búsqueda,
- una función para el almacenamiento (J) de una medición actual de altura del terreno y del camino recorrido relativo entre la medición actual de altura del terreno y la medición de altura del terreno últimamente almacenada (1b) a fin de emplear éstas para obtener la calidad (15) de un respectivo camino relativamente recorrido y la calidad (16) de una respectiva medición de altura del terreno,
- una función para la determinación (K) de una posición de comparación (8) para una respectiva posición (7) dentro del sector de búsqueda y de un

respectivo camino relativamente recorrido almacenado (10),

- 5 - una función para la obtención (P) de una calidad - transformada por medio del mapa de referencia (6) - de un respectivo camino relativamente recorrido almacenado (10) por medio de una segunda función de calidad empleando un respectivo camino relativamente recorrido almacenado (10),
- 10 - una función para la obtención (Q) de una calidad (16) de una respectiva medición de altura de terreno almacenada (11) por medio de una tercera función de calidad empleando la correspondiente medición de altura de terreno almacenada (11),
- 15 - una función para la obtención (R) de una calidad (17) de una respectiva altura de referencia (6) para una respectiva posición de comparación (8) a partir de parámetros predeterminados y de la correspondiente altura de referencia (6) por medio de una cuarta función de calidad,
- 20 - una función para la determinación (S) de funciones de distribución (18) de las medidas de error para una respectiva posición de comparación (8) a partir de una función de la calidad de la respectiva posición asistida actual (14), la calidad - transformada a través del mapa de referencia - de un
- 25 respectivo camino relativamente recorrido (15), la calidad de una respectiva medición de altura de terreno almacenada (16) y la calidad de una respectiva altura de referencia (17),
- 30 - una función para la obtención (T) de una función de distribución (19) del error total para una respectiva posición predeterminada dentro del sector de búsqueda (7) en función de las funciones de distribución obtenidas (18) de las medidas de

error,

- 5 - una función para la obtención (U) de las probabilidades mínimas (20) de todas las posiciones empleadas (7) en el sector de búsqueda por medio de una función de las funciones de distribución (19) de todos los errores totales como probabilidad con la que una respectiva posición del sector de búsqueda presenta el error total mínimo,
- 10 - una función para la determinación (V) de la calidad de la asistencia de posición (4b) a través de una función de todas las probabilidades mínimas (20),
- 15 - una función para la asistencia de la solución de navegación obtenida en el módulo Strap Down (C) a través del filtro de navegación (D) con ayuda de la asistencia de posición determinada (4a) y de la calidad determinada de la asistencia de posición (4b).

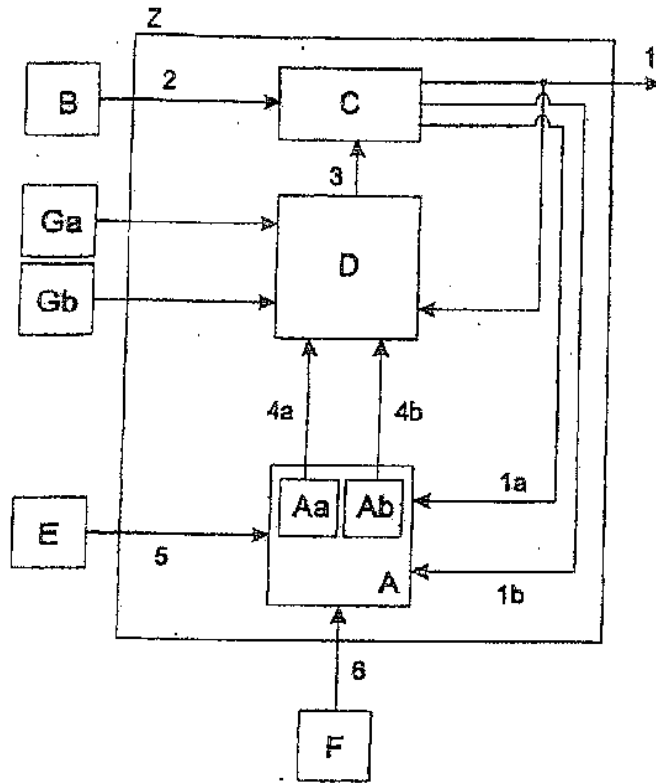


Fig. 1

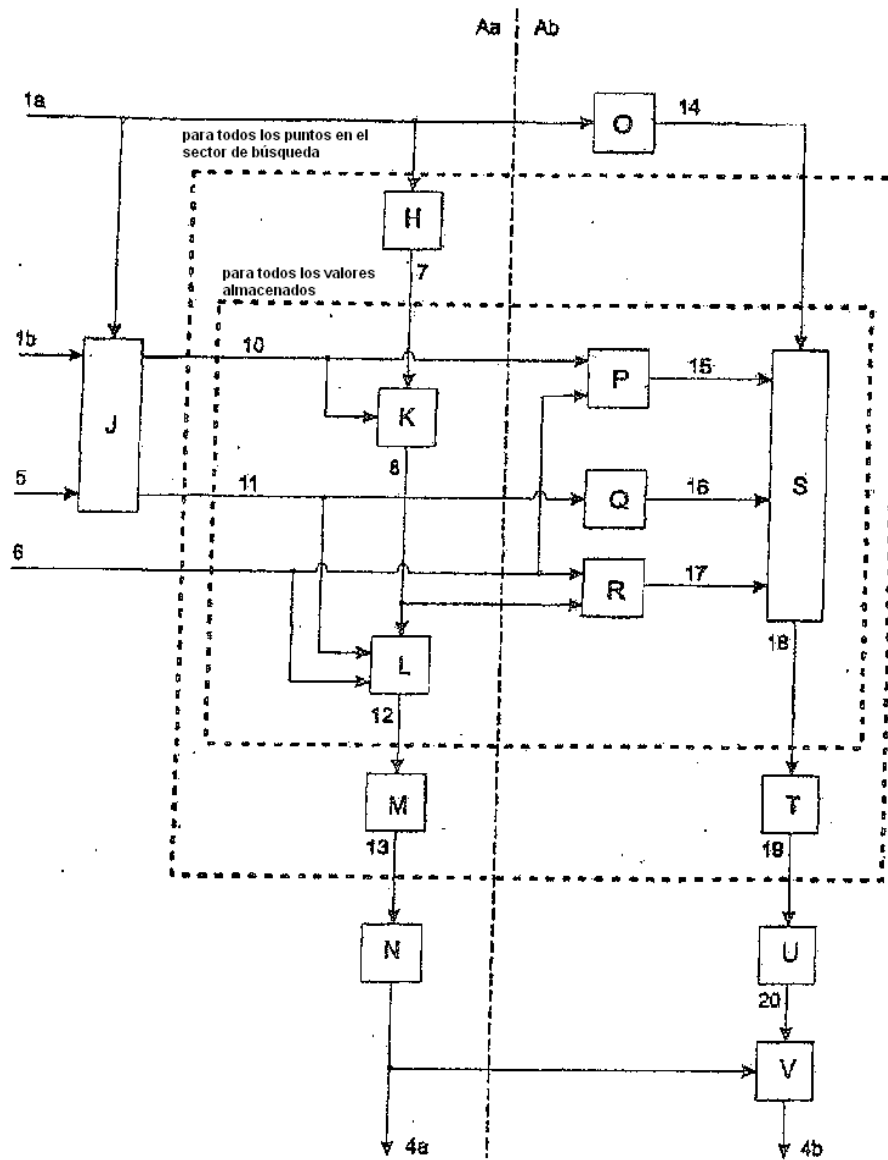


Fig. 2