



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 268 040**

51 Int. Cl.:
G01S 3/802 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02735382 .0**

86 Fecha de presentación : **27.05.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1410060**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **21.04.2004**

54 Título: **Procedimiento para la determinación pasiva de datos de un objetivo.**

30 Prioridad: **20.06.2001 DE 101 29 726**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.03.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.03.2007

73 Titular/es: **ATLAS ELEKTRONIK GmbH**
Sebaldsbrücker Heerstrasse 235
28305 Bremen, DE

72 Inventor/es: **Steiner, Hans-Joachim y**
Steimel, Ulrich

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 268 040 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

Procedimiento para la determinación pasiva de datos de un objetivo.

5 La invención concierne a un procedimiento para la determinación pasiva de datos de un objetivo por recepción selectiva en dirección de ondas acústicas de la clase citada en el preámbulo de la reivindicación 1.

10 Para determinar como datos de objetivo, sin delación propia, desde un vehículo portador, por ejemplo un buque de superficie o un submarino, la posición, la velocidad y el rumbo de un objetivo, por ejemplo un buque de superficie, un submarino o un torpedo, se reciben ondas acústicas del ruido del objetivo con una instalación de recepción de sonar y se mide el ángulo de marcación con respecto al objetivo. A partir de estos ángulos de marcación se estima, en unión de las posiciones propias del vehículo portador, una posición del objetivo y se calcula un ángulo de marcación estimado correspondiente. Se reduce iterativamente la diferencia entre el ángulo de marcación medido y el ángulo de marcación estimado hasta que se quede por debajo de un límite de error. La posición de base estimada se reconoce como posición del objetivo.

15 Partiendo de una posición inicial del objetivo, que se elige, por ejemplo, arbitrariamente como posición de arranque sobre un primer rayo de marcación o que es conocida por otros sensores situados a bordo, se calculan posiciones de componentes x-y estimadas para el objetivo y se determinan a partir de ellas ángulos de marcación estimados. El vehículo portador se desplaza con rumbo constante durante un período de tiempo prefijado para realizar las mediciones de los ángulos de marcación y efectúa un recorrido que se denomina trayecto de navegación propia. Los respectivos ángulos de marcación medidos se comparan con los ángulos de marcación estimados y se forma una diferencia de ángulo de marcación en cuyo mínimo el ángulo de marcación estimado suministra el ángulo de marcación verdadero, salvo un error residual. El error residual depende de un umbral prefijable. Una disposición de filtro de esta clase está descrita, por ejemplo, en el documento DE 34 46 658 C2. El tiempo de iteración de esta disposición de filtro viene determinado decisivamente por entradas de datos adicionales. Por ejemplo, se introducen la posición inicial o los valores de apoyo obtenidos por observación o a través de valores de medida de otros sensores a bordo del vehículo portador, por ejemplo observaciones por el periscopio o mediciones de radar. A partir de estos valores de apoyo se obtienen coeficientes de filtro que conducen a una primera estimación mejorada de la posición del objetivo.

20 El cometido de la presente invención consiste en crear un procedimiento de la clase citada en el preámbulo de la reivindicación 1, en el que, sin maniobra propia y sin entradas de datos de medida de otros sensores a bordo del vehículo portador, sea posible una determinación de los datos del objetivo en forma segura y adaptada en el tiempo a los requisitos tácticos.

25 Este problema se resuelve según la invención con las características de la parte caracterizadora de la reivindicación 1.

30 Después de la detección de un objetivo se someten a una transformación de Fourier las señales de recepción - combinadas selectivamente en dirección como señales de grupo - de la disposición de transductores electroacústicos, por ejemplo de una base de herradura o de una antena lateral a bordo de un submarino como vehículo portador o de una antena remolcada arrastrada detrás de un buque de superficie o de un submarino, y se determina la frecuencia de líneas espectrales en el espectro de frecuencia de las señales de grupo. La frecuencia de la línea espectral con el máximo nivel o la distancia en frecuencia de líneas espectrales contiguas es adoptada como frecuencia de recepción junto con el ángulo de marcación medido y sirve de base para la estimación de los datos del objetivo. Se estiman posiciones de objetivo y se obtienen, además, ángulos de marcación estimados. Entre el ángulo de marcación medido y el ángulo de marcación estimado se determina una diferencia de ángulo de marcación y, además, a partir de las mismas posiciones de objetivo estimadas y sus variaciones temporales se estiman un desplazamiento Doppler y una frecuencia de emisión irradiada o enviada desde el objetivo. La frecuencia de emisión estimada se desplaza en frecuencia de conformidad con el desplazamiento Doppler estimado y forma la frecuencia Doppler estimada, de la cual se resta la frecuencia de recepción. La diferencia entre la frecuencia de recepción y la frecuencia Doppler estimada se emplea como diferencia de frecuencia, junto con la diferencia de ángulo de marcación, para determinar los datos del objetivo según el algoritmo de mínimos cuadrados.

35 La ventaja del procedimiento de la invención según la reivindicación 1 consiste en que para la estimación del ángulo de marcación y del desplazamiento Doppler se emplean los mismos datos estimativos del objetivo, concretamente las posiciones estimadas del objetivo. El análisis de frecuencia de la señal de grupo necesario para obtener la frecuencia de recepción se realiza usualmente en una instalación de recepción de sonar y sirve, por ejemplo, para aumentar la precisión de marcación o la separación de varios objetivos detectado bajo un ángulo de marcación o la clasificación de objetivos y, por tanto, no representa un coste adicional de procesamiento de señales. A partir de la frecuencia de recepción medida y del supuesto de una velocidad de navegación usual de un vehículo acuático se puede estimar de manera sencilla una posible frecuencia de emisión del objetivo como valor inicial. Esta frecuencia de emisión es la frecuencia de una línea espectral en el ruido de navegación del objetivo o una señal de emisión transmitida del objetivo. Debido a la incorporación de la frecuencia de recepción en la determinación de los datos del objetivo se proporciona la ventaja de que es posible en breve tiempo una determinación de los datos del objetivo sin maniobra propia del vehículo portador. Otra ventaja consiste en que se pueden separar dos objetivos que naveguen durante largo tiempo bajo el mismo ángulo de marcación con respecto al vehículo portador, ya que sus frecuencias de recepción divergen una de otra debido a desplazamientos Doppler diferentes. Los desplazamientos Doppler presentan una notable diferencia,

ya que las componentes de velocidad radial entre el vehículo portador y cada uno de los dos objetivos tienen que diferenciarse cuando no se varíe el ángulo de marcación con respecto a ambos objetivos.

5 Cuando el vehículo portador se mueve con velocidad constante y con rumbo constante sobre un denominado
 trayecto de navegación propia, la frecuencia de recepción varía en función de la componente de velocidad radial
 propia y de la velocidad radial del objetivo orientada en la misma dirección. En conocimiento de la velocidad propia,
 se puede eliminar la porción propia en el desplazamiento Doppler y se puede considerar única y exclusivamente la
 porción del objetivo. Prescindiendo de la variación de frecuencia en función del tiempo, esto es, la llamada excursión
 de frecuencia, tiene lugar durante el viaje a lo largo del trayecto de navegación propia una variación del ángulo de
 10 marcación en función del tiempo. El tiempo hasta que los datos del objetivo puedan estimarse como estables se
 denomina tiempo de convergencia. El tiempo de convergencia es tanto más corto cuanto mayor sea la excursión de
 frecuencia al recorrer un trayecto de navegación propia. Los ensayos realizados con datos de medida a bordo de un
 submarino han demostrado que, en el caso de un viaje sin maniobras propias y con una excursión de frecuencia de
 15 pocos hertzios, se ha conseguido una estimación estable del rumbo, de la distancia y de la velocidad del objetivo al
 cabo de menos de 10 minutos. En este caso, la velocidad del objetivo ascendió a 10 nudos, la velocidad del vehículo
 portador ascendió a 6 nudos, la distancia inicial entre el vehículo portador y el objetivo ascendió a 6 km y el ángulo
 de marcación al comienzo de la medición ascendió a -45° . Con una estimación de los datos del objetivo teniendo
 solamente en cuenta el ángulo de marcación no se podría lograr una convergencia. Debido a la medición adicional de
 20 la frecuencia de recepción y a la estimación de una frecuencia de emisión con desplazamiento Doppler es posible una
 estimación de los datos del objetivo y se puede conseguir ésta en breve tiempo.

En el perfeccionamiento ventajoso del procedimiento de la invención según la reivindicación 2 se utiliza para
 determinar la frecuencia propia el análisis de Lofar conocido, tal como éste se ha descrito, por ejemplo, en L. Kühnle
 "Classification and Identification - CAI - by Submarine Sonars", Naval Forces, Noviembre de 1987, páginas 27 a 31.
 25 En la recepción con una antena remolcada es conveniente también una estimación de datos de objetivos muy alejados
 a causa de la pequeña atenuación de ondas acústicas de baja frecuencia en el medio de transmisión y a la buena
 concentración de las ondas acústicas y la precisión de la medición del ángulo de marcación resulta suficientemente
 grande a causa del pequeño ángulo de apertura.

30 Cuando no está disponible una antena remolcada como disposición de transductores electroacústicos, es ventajoso
 realizar el análisis de Lofar en el caso de recepción con una antena lateral, o sea, un llamado flank array, y un análisis de
 Demon en el caso de recepción con una base de herradura, o sea, un llamado conformal array, en el que se desmodula
 el ruido recibido después de un filtrado de paso de banda y se determinan frecuencias de líneas espectrales de la señal
 desmodulada. Estas frecuencias están situadas en la misma banda de frecuencia que las líneas espectrales determinadas
 35 por medio del análisis de Lofar y son originadas por el número de revoluciones de la hélice y el número de palas de la
 hélice, tal como se ha descrito en el artículo Naval Forces, etc.

En el análisis de Lofar y en el análisis de Demon se obtienen espectros de frecuencia con varias líneas espectrales,
 identificando la línea espectral con la frecuencia más baja el número de revoluciones de la hélice. En caso de que no se
 40 reciba esta frecuencia, la distancia entre líneas espectrales contiguas corresponde a esta frecuencia. Para la obtención
 de los datos del objetivo se pueden emplear como frecuencia de recepción las propias frecuencias o bien esta distancia
 en frecuencia.

La precisión del análisis de frecuencia y la determinación de la frecuencia de recepción intervienen directamente en
 45 la precisión de la estimación de los datos del objetivo. Según el perfeccionamiento del procedimiento de la invención
 conforme a la reivindicación 4, no se emplea una frecuencia única, sino que se combinan las frecuencias de varias
 líneas espectrales y éstas forman la frecuencia de recepción. La ventaja consiste especialmente en que no se tienen que
 estimar individualmente frecuencias de emisión y desplazamientos Doppler para cada frecuencia, sino que solamente
 una única frecuencia de recepción interviene en la estimación de los datos del objetivo. De este modo, no se agranda
 50 el algoritmo de estimación y, no obstante, se optimiza la estimación de los datos del objetivo.

La ventaja de los perfeccionamientos del procedimiento de la invención según las reivindicaciones 5, 6 y 7 consiste
 en que, en caso de que se suprima una de las líneas espectrales, no es necesario calcular una nueva frecuencia de
 55 recepción, ya que todas las frecuencias se transforman en una frecuencia espectral ficticia común de una línea espectral
 artificial y estos valores de frecuencia transformados o su valor medio forman valores de medida de la frecuencia de
 recepción. Cuando se emplea una de las líneas espectrales como línea espectral artificial, no tiene que realizarse para
 ello una transformación de frecuencia y, por otro lado, no se interrumpe la estimación en caso de que se produzca
 su desaparición durante un rastreo. Las desviaciones de los valores de frecuencia respecto de la frecuencia espectral
 60 ficticia, producidas durante la transformación, son compensadas por la formación del valor medio.

Según el perfeccionamiento ventajoso del procedimiento de la invención conforme a la reivindicación 8, se com-
 65 piensan estas desviaciones de frecuencia por medio de un procedimiento de mínimos cuadrados medios, a cuyo fin
 se desplazan los valores de frecuencia transformados hacia una frecuencia espectral ficticia seleccionada. Se consi-
 gue así que se aprovechen todas las mediciones de líneas espectrales disponibles durante el período de tiempo, aun
 cuando algunas líneas espectrales desaparezcan temporalmente y no se suministren mediciones válidas para las líneas
 espectrales. Debido a la transformación de las frecuencias en una frecuencia espectral ficticia de una línea espectral
 artificial es posible la obtención de datos del objetivo incluso aunque solamente una única línea espectral proporcione
 una aportación a la frecuencia espectral ficticia. Se puede utilizar este procesamiento de señales, ya que todas las líneas

espectrales de un objetivo han experimentado porcentualmente el mismo desplazamiento Doppler. Debido a la transformación de las líneas espectrales individuales en una misma línea espectral artificial con una frecuencia espectral ficticia se compensan todas las irregularidades en la medición de frecuencia que se presenten durante el rastreo.

5 Para estimar la frecuencia Doppler se determinan según un perfeccionamiento ventajoso del procedimiento de la invención conforme a la reivindicación 9 una función de cociente de componentes x-y estimadas de la posición supuesta del objetivo. Estas componentes x-y afectadas de errores se obtienen a partir de una posición inicial del objetivo más un término de recorrido dependiente de la velocidad con errores de componentes de velocidad y errores de componentes de recorrido. La posición inicial del objetivo se fija, por ejemplo, teniendo en cuenta el alcance de
10 la instalación de recepción de sonar bajo el ángulo de marcación medido. Las componentes x-y así estimadas se diferencian según el tiempo. Además, se forma el total de las componentes x-y estimadas.

El producto de la componente x multiplicado por su derivada en el tiempo más el producto de la componente y multiplicada por su derivada en el tiempo se divide por el total de las componentes x-y multiplicado por la velocidad
15 del sonido y forma una función de cociente que es igual al desplazamiento Doppler de la frecuencia de emisión estimada de una onda acústica irradiada por el objetivo. La frecuencia de emisión estimada presenta un error de frecuencia de emisión. La frecuencia Doppler estimada se determina a partir de la diferencia de la frecuencia de emisión estimada, afectada del error de frecuencia de emisión, menos su producto por la función de cociente. La ventaja de la estimación del objetivo según la reivindicación 9 consiste en que con la minimización de la diferencia de la frecuencia de recepción respecto de la frecuencia Doppler estimada se toma como base la posición del objetivo estimada a partir de
20 posibles componentes de velocidad. Estas componentes de velocidad corresponden, teniendo en cuenta la marcación con respecto al objetivo, a una componente de velocidad radial que a su vez provoca el desplazamiento Doppler de la frecuencia de emisión del objetivo. Mediante la determinación y la adición de la frecuencia de recepción se obtienen las tres ventajas decisivas, es decir, las posibilidades de determinar una primera posición del objetivo sin maniobra propia, separar y determinar varios objetivos y sus datos de objetivo bajo la misma marcación, y acortar tiempos de convergencia para las estimaciones de la posición del objetivo.

Los errores de la componente de recorrido y los errores de la componente de velocidad, así como los errores de la frecuencia de emisión forman un vector de error. Según el perfeccionamiento ventajoso del procedimiento de la invención conforme a la reivindicación 10, la frecuencia Doppler estimada se desarrolla en una serie de Taylor según
30 este vector de error, cuyo primer miembro es igual a la frecuencia de recepción medida y cuyo segundo miembro es igual al producto del vector de error y los coeficientes de frecuencia. Todos los demás miembros de orden superior son despreciablemente pequeños. Los coeficientes de frecuencia se determinan por diferenciación parcial de la función de cociente según el vector de error. Mediante un desarrollo de la serie de Taylor se obtiene un modelo de estimación lineal que indica la desviación de frecuencia entre la frecuencia de recepción medida y la frecuencia Doppler estimada
35 en función de errores de la posición propia, errores de las componentes de recorrido y de velocidad de las coordenadas x-y del objetivo y errores de la frecuencia de emisión. Este modelo de estimación puede representarse en el modo de escritura de matrices.

Según el perfeccionamiento ventajoso del procedimiento de la invención conforme a la reivindicación 11, la estimación del ángulo de marcación se determina a partir de las componentes x-y estimadas del objetivo, a cuyo fin, partiendo de la posición inicial, se añaden a cada componente x-y el error de recorrido y el término de recorrido dependiente de la velocidad con errores de componente de velocidad. A partir de las componente x-y estimadas se obtiene por combinación trigonométrica la arcotangente del ángulo de marcación estimado. A través de un desarrollo
40 de la serie de Taylor de esta función de arcotangente se establece una correlación lineal entre la desviación del ángulo de marcación medido respecto del ángulo de marcación estimado y los errores de componente de recorrido y de componente de velocidad. Mediante una diferenciación parcial de esta función trigonométrica según los errores de recorrido y los errores de la componente de velocidad se obtienen coeficientes parciales para el desarrollo de la serie.

El desarrollo de la serie se interrumpe después del primer miembro y suministra una matriz de coeficientes parciales, cuyos coeficientes parciales se obtienen por medio de un filtro adaptativo como el que se ha descrito, por ejemplo, en el documento DE 34 46 658 C2. Multiplicando por un vector de error, que aquí consta de los errores de la componente de recorrido y de la componente de velocidad, se obtiene la desviación buscada del ángulo de marcación medido
50 respecto del ángulo de marcación estimado.

La ventaja del perfeccionamiento del procedimiento de la invención según la reivindicación 11 consiste en que el vector de error aquí considerado es el mismo que en el caso de la estimación de la frecuencia Doppler, sólo que no se tiene aquí en cuenta ningún error de la frecuencia de emisión. Se suman la diferencia de frecuencia y la diferencia de ángulo de marcación obtenidas a través de los desarrollos de la serie de Taylor y se determina iterativamente el
60 mínimo de la suma que suministra los datos del objetivo.

La ventaja del procedimiento de la invención según la reivindicación 12 consiste en que debido a una formación del valor medio de los ángulos de marcación medido y estimado no intervienen errores de marcación sistemáticos en la determinación de los datos del objetivo. Estos errores de marcación sistemáticos se presentan, por ejemplo, cuando el vehículo portador y el objetivo no se encuentran en el mismo plano de marcación, por ejemplo en el plano horizontal, y, por el contrario, las ondas acústicas incidentes presentan un ángulo, por ejemplo un ángulo de elevación. Con la instalación de recepción de sonar se mide entonces una dirección de incidencia del sonido que corresponde a la proyección de la dirección de incidencia en el espacio sobre el plano de marcación. Este error de marcación sistemático

ES 2 268 040 T3

está contenido también en los ángulos de marcación estimados. Como quiera que se forman cada vez el valor medio de los ángulos de marcación y el valor medio de los ángulos estimativos y se restan éstos de los respectivos ángulos de marcación medidos y estimados, este error de marcación sistemático se resta también de cada ángulo de marcación medido y estimado, de modo que el error de marcación sistemático casi no participa ya en la búsqueda del mínimo de las desviaciones cuadráticas.

La ventaja especial del procedimiento de la invención según la reivindicación 12 consiste en que es indiferente que este error de marcación sistemático sea provocado por un ángulo de elevación o, por ejemplo, por errores de brújula o errores de medición de una instalación de navegación situada a bordo del vehículo portador para determinar la posición propia. Además, es ventajoso el hecho de que los errores de marcación sistemáticos debidos a propagación por varias vías de las ondas acústicas procedentes del objetivo a consecuencia de reflexiones en la superficie y/o en el fondo del sector de mar o en estratos de agua no intervienen tampoco en la determinación de los datos del objetivo. Posiciones oblicuas desconocidas de la disposición de transductores de la instalación de recepción de sonar debido a corrientes de agua no conducen tampoco a una determinación errónea de los datos del objetivo, aun cuando éstas falseen la determinación de la posición propia y provoquen errores de marcación sistemáticos en la determinación del ángulo de marcación. Esta determinación mejorada de la posición del objetivo queda garantizada incluso aunque no se presente continuamente un error de marcación sistemático. En la obtención de la matriz de coeficientes se toma ahora como base una función de arcotangente y el valor medio de la función de arcotangente, consistiendo cada coeficiente en el coeficiente parcial y su valor medio. Multiplicando por el vector de error se obtiene la desviación buscada de la diferencia entre el ángulo de marcación medido menos su valor medio de ángulo de marcación y el ángulo de marcación estimado menos su valor medio de ángulo estimativo, la cual ya no presentan ningún error sistemático.

Debido a la formación del valor medio de los coeficientes parciales y a la formación de la diferencia con respecto a los coeficientes parciales actuales se elimina un error sistemático en la determinación del ángulo de marcación.

Se describe la invención con más detalle ayudándose del dibujo en un ejemplo de realización para un procedimiento para la determinación pasiva de datos de un objetivo con una instalación de recepción de sonar. Muestran:

La figura 1, un escenario para la determinación de datos de un objetivo,

La figura 2, un sistema de coordenadas x-y con datos del objetivo,

La figura 3, un diagrama de frecuencia,

La figura 4, gráficos de error para una determinación de datos de objetivo sin maniobra,

La figura 5, gráficos de error para una determinación de datos de objetivo con error de marcación sistemático presente,

La figura 6, un diagrama de bloques,

La figura 7, la evolución en el tiempo de una frecuencia propia medida en el mar,

Las figuras 8a-d, gráficos de datos de objetivo basados en datos de medida con una antena remolcada,

La figura 9 y la figura 10, frecuencias de líneas espectrales medidas y una línea espectral artificial en función del tiempo, y

La figura 11, gráficos de datos de objetivo basados en datos de medida de una antena remolcada con maniobras propias.

La figura 1 muestra un escenario para una determinación pasiva de datos de un objetivo. Con una disposición de transductores electrónicos - por ejemplo una antena lineal o una antena remolcada - de una instalación de recepción de sonar a bordo de un vehículo portador se recibe un ruido irradiado por dos objetivos desde la misma dirección de incidencia y se mide un ángulo de marcación B_i . Uno de los objetivos se encuentra sobre un rumbo 1 y el segundo objetivo sobre un rumbo 2, los cuales están representados en un sistema de coordenadas x-y. En el instante t_0 el vehículo portador se encuentra en el origen 0/0 y los objetivos se encuentran bajo un ángulo de marcación en la dirección del eje y, que indica al mismo tiempo la dirección Norte N_0 como dirección de referencia. En el instante t_1 el vehículo portador se desplaza sobre su rumbo 3 con velocidad propia constante, uno de los objetivos se desplaza sobre su rumbo 1 con una velocidad v_1 y el otro objetivo se desplaza sobre su rumbo 2 con la velocidad v_2 hacia las siguientes posiciones del objetivo. El ángulo de marcación medido B_{1mess} con respecto a ambas posiciones de objetivo es igual y se emplea para una primera estimación de los datos de objetivo x_{est} , y_{est} .

La figura 2 muestra el sistema de coordenadas x-y de la figura 1 en un instante t. El vehículo portador con la disposición de transductores se encuentra en la posición propia x_E , y_E , la cual forma al mismo tiempo el origen del sistema de coordenadas x-y. En este instante, el objetivo se encuentra en la posición P_{true} . Ha abandonado su posición inicial P_0 en las coordenadas x_{0true} , y_{0true} con la velocidad v_{xtrue} , v_{ytrue} y ha recorrido las componentes de recorrido $v_{xtrue} \cdot \Delta t$ y $v_{ytrue} \cdot \Delta t$. La nueva posición verdadera P_{true} del objetivo conduce a la medición de un ángulo de marcación B_{mess} .

ES 2 268 040 T3

La nueva posición P_{true} se determina por medio de una posición estimada P_{est} y el cálculo del ángulo de marcación estimado correspondiente B_{est} se determina iterativamente por minimización de la desviación entre B_{mess} y B_{est} .

Se supone que el objetivo se mueve desde la coordenada x_{0true} con un error de recorrido Δx_0 hasta la coordenada R_{xest} en dirección x con una velocidad v_x y un error de componente de velocidad Δv_x en un intervalo de tiempo Δt . En dirección y, el objetivo se ha movido durante el intervalo de tiempo Δt desde la coordenada y_{0true} hasta la coordenada R_{yest} con un error de recorrido Δy_0 y una velocidad v_y con un error de componente de velocidad Δv_y . Las coordenadas del objetivo se estiman como:

$$R_{xest} = x_{0true} + v_x \cdot \Delta t + (\Delta x_0 + \Delta v_x \cdot \Delta t) = R_{xtrue} + \Delta R_x \quad (A)$$

$$R_{yest} = y_{0true} + v_y \cdot \Delta t + (\Delta y_0 + \Delta v_y \cdot \Delta t) = R_{ytrue} + \Delta R_y \quad (B)$$

con los errores $\Delta R_x, \Delta R_y$. Después de transformación, se obtiene

$$R_{xtrue} = R_{xest} - \Delta R_x = R_{xest} - (\Delta x_0 + \Delta v_x \cdot \Delta t) \quad (a)$$

$$R_{ytrue} = R_{yest} - \Delta R_y = R_{yest} - (\Delta y_0 + \Delta v_y \cdot \Delta t) \quad (b)$$

A partir de esto, se calcula el ángulo de marcación estimado B_{est} :

$$B_{est} = \arctan \frac{R_{xest} - \Delta R_x}{R_{yest} - \Delta R_y} \quad I$$

Se ha determinado la posición verdadera P_{true} cuando los errores $\Delta R_x = \Delta x_0 + \Delta v_x \cdot \Delta t$ y $\Delta R_y = \Delta y_0 + \Delta v_y \cdot \Delta t$ son igual a cero. Se han estimado entonces correctamente las componentes de velocidad v_x y v_y que han conducido a la ocupación de la nueva posición verdadera P_{true} del objetivo. El ángulo de marcación estimado correspondiente B_{est} es igual al ángulo de marcación verdadero B_{true} e importa:

$$B_{est} = B_{true} = \arctan \frac{x_{0true} + v_{xttrue} \cdot \Delta t - x_E}{y_{0true} + v_{yttrue} \cdot \Delta t - y_E} = B_{mess}$$

Los datos de objetivo $P = (x_0, y_0, v_x, v_y)$ se han estimado correctamente cuando el vector de error es igual a cero:

$$\Delta P = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y) = 0 \text{ con}$$

$$\Delta P_1 = \Delta x_0, \Delta P_2 = \Delta y_0, \Delta P_3 = \Delta v_x \text{ y } \Delta P_4 = \Delta v_y.$$

Para la determinación de los datos del objetivo se minimiza la diferencia de ángulo de marcación entre los ángulos de marcación estimado y medido:

$$(B_{iest} - B_{imes}) = \min$$

Se ha determinado la posición de objetivo P_{true} , salvo un error residual fijado por un umbral determinante del mínimo. Entonces es

$$B_{iest} \approx B_{ittrue}$$

La incorporación de una frecuencia Doppler estimada hace posible una estimación de posición sin maniobra propia por minimización simultánea de una diferencia de frecuencias entre la frecuencia de recepción medida y la frecuencia Doppler estimada teniendo en cuenta la estimación del ángulo de marcación según I.

El objetivo ha abandonado la posición inicial P_0 con la velocidad $v = v_1$ según la figura 2. En conocimiento del ángulo de marcación verdadero B_{true} se convierten las componentes de velocidad v_x y v_y del objetivo en una componente de velocidad radial V_R que mira en la dirección entre la posición propia x_E, y_E y la posición de objetivo verdadera P_{true} .

$$V_R = V_R' + V_R'' = v_y \cdot \cos B_{true} + v_x \cdot \sin B_{true} \quad (c)$$

ES 2 268 040 T3

Esta componente de velocidad radial V_R tiene en cuenta las componentes de velocidad radial del objetivo V_{RZ} y del vehículo portador V_{RE} añadidas con signo correcto

$$V_R = V_{RE} - V_{RZ} \quad (d)$$

A causa de la componente de velocidad radial V_R se desplaza en frecuencia una frecuencia de emisión F_{strue} contenida en la señal de emisión o en el ruido del objetivo y transmitida y se recibe como frecuencia de recepción F_{true} una frecuencia de emisión afectada de Doppler, tal como se ha descrito en el capítulo 7.4 "Der Dopplereffekt", páginas 334, 335 del libro de texto "Experimentalphysik I", segunda parte, Edgar Lüscher, Hochschultaschenbuch, Bibliographisches Institut, Mannheim, 1967, y se cumple para la frecuencia Doppler:

$$F_{true} = F_{strue} \left(\frac{c + V_{RE}}{c + V_{RZ}} \right)$$

A través de un desarrollo de serie y después de insertar la ecuación (d) se obtiene para la frecuencia de recepción, que es igual a la frecuencia de emisión verdadera afectada de Doppler:

$$F_{true} = F_{strue} \left[1 - \frac{V_R}{c} \right] \quad (XX)$$

La frecuencia de recepción depende de una función de cociente que es proporcional a la componente de velocidad radial V_R :

$$Q = V_R/c \quad (XXI)$$

La componente de velocidad radial V_R depende, según la ecuación (c), de las componentes de velocidad v_x y v_y en las direcciones x e y y del ángulo de marcación B_{true} :

$$V_R = V_{R'} + V_{R''} = v_y \cdot \cos B_{true} + v_x \sin B_{true} \quad (c)$$

Las componentes de velocidad v_x y v_y son iguales a la variación en el tiempo de las coordenadas x - y del objetivo:

$$v_x = \frac{dR_{xtrue}}{dt} = \dot{R}_{xtrue}$$

$$v_y = \frac{dR_{ytrue}}{dt} = \dot{R}_{ytrue}$$

Con las ecuaciones (a) y (b) se obtiene:

$$v_x = \dot{R}_{xtrue} = \dot{R}_{xest} - \Delta \dot{R}_x \quad (e)$$

$$v_y = \dot{R}_{ytrue} = \dot{R}_{yest} - \Delta \dot{R}_y \quad (f)$$

Añadiendo el ángulo de marcación verdadero B_{true} entre la dirección de referencia N_0 y la dirección hacia la posición de objetivo verdadera P_{true}

$$\sin B_{true} = \frac{R_{xtrue}}{R_{true}} \quad (g)$$

$$\cos B_{true} = \frac{R_{ytrue}}{R_{true}} \quad (h)$$

se obtiene con las ecuaciones (a) y (b) para la distancia verdadera R_{true} al objetivo

$$R_{true} = \sqrt{R_{xtrue}^2 + R_{ytrue}^2}$$

$$R_{true} = \sqrt{(R_{xest} - \Delta R_x)^2 + (R_{yest} - \Delta R_y)^2} \quad (i)$$

en donde se cumple que

$$\Delta R_x = \Delta x_0 + \Delta v_x \cdot \Delta t$$

$$\Delta R_y = \Delta y_0 + \Delta v_y \cdot \Delta t$$

En la ecuación (c) para la componente de velocidad radial V_R se insertan ahora las ecuaciones (e), (f), (g), (h) y (i) y se obtiene para el desplazamiento Doppler la función de cociente

$$Q = \frac{V_R}{C} \quad (XXI)$$

en función del vector de error $\Delta P = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$

$$Q(\Delta P) = \frac{1}{c} \frac{(\dot{R}_{xest} - \Delta \dot{R}_x)(R_{xest} - \Delta R_x) + (\dot{R}_{yest} - \Delta \dot{R}_y)(R_{yest} - \Delta R_y)}{\sqrt{(R_{xest} - \Delta R_x)^2 + (R_{yest} - \Delta R_y)^2}} \quad (XXII)$$

La frecuencia de emisión F_s irradiada por el objetivo se estima con un error ΔF_s .

$$F_{sest} = F_{strue} + \Delta F_s$$

$$F_{strue} = F_{sest} - \Delta F_s$$

y se inserta junto con la función de cociente Q según la ecuación XXII en la ecuación XX para la frecuencia propia, que es igual a la frecuencia Doppler verdadera F_{true} .

$$F_{true} = (F_{sest} - \Delta F_s) \left[1 - Q(\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y) \right] \quad (XXIII)$$

La frecuencia Doppler F_{true} se estima con una diferencia de error ΔF como error.

$$F_{true} = F_{est} - \Delta F$$

y se inserta en la ecuación XXIII. Para cada medición de ángulo de marcación i se tiene que obtener la frecuencia Doppler a partir de la posición estimada:

$$F_{iest} - \Delta F_i = G_i(\Delta P) = (F_{sest} - \Delta F_s) \left[1 - Q(\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y) \right] \quad (XXIV)$$

ES 2 268 040 T3

El vector de error ΔP ha de ampliarse con otro término de error ΔF_s para la estimación de la frecuencia de emisión F_{sest} :

$$\Delta P_1 = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y, \Delta F_s) \quad (XXV)$$

Alrededor de este vector de error ΔP se desarrolla, para estimar la frecuencia Doppler, la ecuación de estimación XXIV en una serie de Taylor y se interrumpe ésta después del segundo miembro:

$$G_i(\Delta P) = G_i(\Delta P) \Big|_{\Delta P=0} + \sum_{i=1}^5 \left[\frac{\partial G_i}{\partial \Delta P_i} \Big|_{\Delta P=0} \right] \cdot \Delta P_i \quad (XXVI)$$

En este caso, la frecuencia Doppler estimada F_{iest} es igual a la frecuencia de recepción medida F_{imes para $\Delta P = 0$:

$$G_i(\Delta P) \Big|_{\Delta P=0} = F_{iest} \Big|_{\Delta P=0} = F_{imes} \quad (XXVII)$$

Se inserta la ecuación XXVII en la ecuación XXVI y se obtiene para la frecuencia Doppler estimada:

$$F_{iest} = G_i(\Delta P) = F_{imes} + \sum_{i=1}^5 \left[\frac{\partial G_i}{\partial \Delta P_i} \Big|_{\Delta P=0} \right] \cdot \Delta P_i$$

una suma que es igual a la frecuencia de recepción medida F_{imes} más la diferencia de frecuencia ΔF_i .

$$G_i(\Delta P) = F_{imes} + \Delta F_i = F_{iest}$$

$$\Delta F_i = F_{imes} - F_{iest}$$

Para determinar la frecuencia Doppler se tiene que minimizar la diferencia de frecuencia ΔF_i :

$$\Delta F_i = \sum_{i=1}^5 \left[\frac{\partial G_i}{\partial \Delta P_i} \Big|_{\Delta P=0} \right] \cdot \Delta P_i \quad (XXVIII)$$

$$\Delta F_i \equiv \sum_{i=1}^5 g_{i1} \cdot \Delta P_i \equiv F_{imes} - F_{iest} \quad (IXXX)$$

Mediante diferenciación parcial de la ecuación de estimación XXIV - en la que se inserta la función de cociente Q (ΔP) correspondiente a la ecuación XXII - según el vector de error ΔP_1 conforme a la ecuación XXV, se obtienen las relaciones siguientes para los coeficientes de frecuencia g_{i1} :

$$g_{i1} = \frac{F_{sest}}{C \cdot R_{iest}} \left[\dot{R}_{xiest} - \frac{R_{xiest} \cdot (R_{xiest} \cdot \dot{R}_{xiest} + R_{yiest} \cdot \dot{R}_{yiest})}{x \cdot R_{iest}^2} \right] \quad XXXI$$

$$g_{i2} = \frac{F_{sest}}{C \cdot R_{iest}} \left[\dot{R}_{yiest} - \frac{R_{yiest} \cdot (R_{xiest} \cdot \dot{R}_{xiest} + R_{yiest} \cdot \dot{R}_{yiest})}{x \cdot R_{iest}^2} \right] \quad XXXII$$

$$g_{i3} = \frac{F_{sest}}{C \cdot R_{iest}} R_{xiest} + g_{i1} \cdot \Delta t_i \quad XXXIII$$

$$g_{i4} = \frac{F_{sest}}{C \cdot R_{iest}} R_{yiest} + g_{i2} \cdot \Delta t_i \quad \text{XXXIV}$$

$$g_{i5} = \frac{R_{xiest} \cdot \dot{R}_{xiest} + R_{yiest} \cdot \dot{R}_{yiest}}{C \cdot R_{iest}} - 1 \quad \text{XXXV}$$

Todos los coeficientes de frecuencia g_{i1} se multiplican por el respectivo error del vector de error ΔP_1 según la ecuación IXXX y se minimiza iterativamente la diferencia de frecuencia por estimación de las componentes x-y de la posición del objetivo junto con la diferencia de ángulo de marcación según la ecuación I.

El ángulo de marcación estimado según la ecuación I

$$B_{iest} = \arctan \frac{R_{xiest} - \Delta R_{xi}}{R_{yiest} - \Delta R_{yi}} \quad \text{IV}$$

es desarrollado también en una serie de Taylor alrededor del vector de error $\Delta P_1 = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$, que no contiene ciertamente el error de frecuencia ΔF_s , pero que, por el contrario, es igual al vector de error aplicado en la ecuación XXV, y se interrumpe dicha serie después del segundo miembro:

$$B_{iest}(\Delta P) = B_{iest} \Big|_{\Delta P=0} + \sum_{i=1}^4 \frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta P_i} \Big|_{\Delta P=0} \cdot \Delta P_i$$

Con

$$\frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta P_i} \Big|_{\Delta P=0} = h_{i1}$$

como coeficiente parcial se obtiene:

$$B_{iest}(\Delta P) - B_{iest} \Big|_{\Delta P=0} = \sum_{i=1}^4 h_{i1} \cdot \Delta P_i, \quad \text{V}$$

en donde el ángulo de marcación estimado B_{iest} es igual al ángulo de marcación medido B_{imes} cuando el vector de error ΔP es igual a cero.

$$B_{iest} \Big|_{\Delta P=0} = B_{imes} \quad \text{VI}$$

Los coeficientes parciales h_{i1} en la ecuación V se determinan por diferenciación parcial del ángulo de marcación estimado B_{iest} de la ecuación IV según los errores de recorrido y los errores de la componente de velocidad del vector de error $\Delta P = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$:

$$h_{i1} = \frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta x_0} \Big|_{\Delta P=0} = \frac{\partial}{\partial x_0} \left[\arctan \frac{R_{xiest} - \Delta R_{xi}}{R_{yiest} - \Delta R_{yi}} \right]$$

$$h_{i1} = \frac{-R_{yiest}}{(R_{xiest})^2 + (R_{yiest})^2} \quad (1)$$

ES 2 268 040 T3

La diferenciación según $\Delta P_2 = \Delta y_0$ da como resultado el coeficiente parcial:

$$h_{i1} = \left. \frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta y_0} \right|_{\Delta P=0} = \frac{R_{xiest}}{(R_{xiest})^2 + (R_{yiest})^2} \quad (2)$$

Se obtienen los coeficientes h_{i3} y h_{i4} por diferenciación parcial según los errores de componente de velocidad $\Delta v_x = \Delta P_3$, $\Delta v_y = \Delta P_4$ e inserción de (1) y (2)

$$h_{i3} = \left. \frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta v_x} \right|_{\Delta P=0} = \Delta t_i \cdot h_{i1} \quad (3)$$

$$h_{i4} = \left. \frac{\partial B_{iest}}{\partial \Delta v_y} \right|_{\Delta P=0} = \Delta t_i \cdot h_{i2} \quad (4)$$

Los coeficientes parciales h_{i3} y h_{i4} son iguales al producto del intervalo de tiempo Δt_i y los coeficientes parciales anteriormente determinados h_{i1} y h_{i2} .

Insertando (1), (2), (3), (4) en la ecuación V se obtiene la diferencia de ángulo de marcación D y su cuadrado δ :

$$\delta = \left[B_{iest} - B_{imess} \right]^2 = \sum_{i=1}^4 \left[h_{i1} \cdot \Delta P_i \right]^2 \quad \text{VII}$$

La ecuación de estimación para los datos del objetivo se forma con las ecuaciones VII y IXXX.

Con cada medición y estimación i del ángulo de marcación B_{imess} , B_{iest} y con cada medición de la frecuencia de recepción F_{imess} y estimación de la frecuencia Doppler F_{iest} se determina iterativamente el mínimo a través de l_k mediciones y estimaciones:

$$\sum_{i=1}^{l_k} (B_{imess} - B_{iest})^2 + (F_{imess} - F_{iest})^2 = \min$$

$$\sum_{i=1}^{l_k} \left[\sum_{l=1}^4 [h_{il} \cdot \Delta P_l]^2 + \sum_{l=1}^5 [g_{il} \cdot \Delta P_l]^2 \right] = \min \quad \text{XXX}$$

Los datos de objetivo estimados en que se basa el mínimo indican la posición, la velocidad y el rumbo del objetivo con el vector de datos de objetivo $P = (x, y, v_x, v_y, F)$.

La figura 3 muestra un diagrama de frecuencia con frecuencias de recepción $F_{z1}, F_{z2}, F_{z3}, F_{z4}$ en función del tiempo t de cuatro objetivos que irradian todos la misma frecuencia de emisión $F_s = 1000$ Hz. A consecuencia de la componente de velocidad radial relativa V_R del vehículo portador y del objetivo, cada frecuencia de recepción $F_{z1}, F_{z2}, F_{z3}, F_{z4}$ se compone de una porción de objetivo y una porción propia. La excursión de frecuencia durante el acercamiento y el alejamiento del objetivo depende, a velocidad de navegación constante de cada objetivo, del ángulo de marcación medido B_{imess} . En el lugar en el que las frecuencias de recepción $F_{ZE1}, F_{ZE2}, F_{Z3}, F_{Z4}$ son iguales a la frecuencia de emisión $F_s = 1000$ Hz, la componente de velocidad radial es igual a cero y el lugar alcanza la máxima aproximación CPA. Para el primer objetivo Z_1 es mínimo el desplazamiento Doppler de la frecuencia de emisión F_s y, por tanto, son mínimos la excursión de la frecuencia de recepción F_{z1} de 3 Hz y el tiempo de paso por la CPA de 7 min. Para el cuarto objetivo son máximos el desplazamiento Doppler y la excursión de la frecuencia de recepción F_{z4} , ya que el cuarto objetivo se aproxima a la disposición de transductores receptores sobre un rumbo de colisión. La excursión de frecuencia corresponde a la función de cociente Q según las ecuaciones XXI y XXII o a la componente de velocidad radial relativa V_R entre el objetivo y el vehículo portador.

ES 2 268 040 T3

Los ángulos de marcación B_{imess} y las frecuencias de recepción F_{imess} medidos en cada intervalo de tiempo Δt sirven de base a la ecuación de estimación XXX y a partir de ellos se determinan iterativamente como datos del objetivo la posición de marcación, la distancia, la velocidad y el rumbo del objetivo.

5 La figura 4 indica gráficos de error para una determinación de datos de objetivo en la que al comienzo del viaje la distancia al objetivo es de 20 km, la marcación de posición con respecto al objetivo $B_0 = 0^\circ$ con respecto a la dirección Norte N_0 , la velocidad 11,3 m/s = 22 nudos, el rumbo del objetivo 155° , el rumbo propio del vehículo portador 25° y su velocidad 6 nudos.

10 La figura 4a muestra que los errores de marcación durante todo el viaje están dentro de una banda de error de $\pm 0,5^\circ$. El error de distancia relativo $\Delta R/\%$ en función del tiempo está indicado en la figura 4b. La estimación de la distancia R converge al cabo de 15 minutos y presenta al cabo de 20 minutos, con una promediación sobre 20 carreras de Montecarlo, una dispersión de menos de $\pm 10\%$, sin que se haya realizado una maniobra. El error de velocidad se muestra en la figura 4c y está en una banda de error de ± 1 m/s al cabo de 17,5 minutos y con una velocidad del
15 objetivo de 11,3 m/s. El rumbo se determina ya de forma estable al cabo de 10 minutos y está en una banda de error de $K = \pm 10^\circ$, como se muestra en la figura 4d.

Se elimina un falseamiento de la medición del ángulo de marcación B_{imess} por efecto de un error de marcación sistemático ϑ mediante incorporación de una formación del valor medio de los ángulos de marcación medido y estimado durante el viaje del vehículo portador con rumbo constante y velocidad constante a lo largo de un llamado trayecto de navegación propia. Este error de marcación sistemático ϑ se presenta, por ejemplo, cuando la dirección de referencia N_0' , por ejemplo debido a una determinación errónea de la posición de la disposición de transductores, no mira exactamente en la dirección Norte N_0 , tal como se muestra en la figura 2. El error de marcación sistemático ϑ puede ser provocado por errores en la indicación de la brújula, por incidencia de sonido bajo un ángulo de inclinación con respecto al plano de marcación o, en caso de que se emplee una antena remolcada, por corrientes de agua o influencias de flujo de la hélice del vehículo portador de remolcado. El ángulo de marcación B_{imess} se mide ahora contra la dirección Norte errónea N_0' y es demasiado grande en la medida del error de marcación ϑ .

Para eliminar el error de marcación sistemático ϑ se forma un valor medio de ángulo de marcación a través de l_k mediciones del ángulo de marcación B_{imess} que se toman a la distancia del intervalo de tiempo Δt_i .

$$\overline{B_{imess}}^k = \frac{1}{l_k} \sum_{i=1}^{l_k} B_{imess}$$

y se forma un valor medio de ángulo estimativo del ángulo de marcación estimado B_{iest} según la ecuación I:

$$\overline{B_{iest}}^k = \frac{1}{l_k} \sum_{i=1}^{l_k} \arctan \frac{R_{xiest} - \Delta R_{xi}}{R_{yiest} - \Delta R_{yi}} = \overline{\arctan \frac{R_{xest} - \Delta R_x}{R_{yest} - \Delta R_y}}^k$$

II

A continuación, se forma como valor de diferencia estimativo la diferencia del ángulo de marcación actualmente estimado B_{iest} según la ecuación I y el valor medio de ángulo estimativo $\overline{B_{iest}}^k$ según la ecuación II por cada trayecto de
50 travesía propia k:

$$F_i^k = B_{iest} - \overline{B_{iest}}^k \quad \text{III}$$

$$F_i^k = \arctan \frac{R_{xiest} - \Delta R_{xi}}{R_{yiest} - \Delta R_{yi}} - \overline{\arctan \frac{R_{xest} - \Delta R_x}{R_{yest} - \Delta R_y}}^k \quad \text{IV}$$

El valor de diferencia estimativo F_i^k , se desarrolla en una serie de Taylor alrededor del vector de error $\Delta P_1 = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$ y se interrumpe después del segundo miembro:

$$F_i^k(\Delta P) = F_i^k |_{\Delta P=0} + \sum_{j=1}^4 \frac{\partial F_i^k}{\partial \Delta P_j} |_{\Delta P=0} \cdot \Delta P_j$$

Con

$$\frac{\partial F_i^k}{\partial \Delta P_1} \Big|_{\Delta P=0} = \gamma_{i1}^k$$

como coeficiente se obtiene:

$$F_i^k(\Delta P) - F_i^k \Big|_{\Delta P=0} \approx \sum_{j=1}^4 \gamma_{ij}^k \cdot \Delta P_j, \quad \text{V}$$

en donde se cumple que

$$F_i^k \Big|_{\Delta P=0} = B_{i_{mess}} - \overline{B_{mess}}^k \quad \text{VI}$$

que es el valor de diferencia de medida del ángulo de marcación actualmente medido $B_{i_{mess}}$ y el valor medio de todos los ángulos de marcación B_{mess} medidos sobre un trayecto de navegación propia k . Los coeficientes γ_{i1}^k en la ecuación V se determinan por diferenciación parcial del valor de diferencia estimativo F_i^k conforme a IV según los errores de recorrido y los errores de la componente de velocidad del vector de error $\Delta P = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$. Los coeficientes γ_{i1}^k se componen de los coeficientes parciales h_{i1}^k y el valor medio correspondiente $\overline{h_1^k}$. Los coeficientes parciales h_{i1}^k se han derivado en las ecuaciones (1), (2), (3), (4). Los coeficientes significan:

$$\gamma_{i1}^k = h_{i1}^k - \overline{h_1^k} \quad (5)$$

$$\gamma_{i2}^k = h_{i2}^k - \overline{h_2^k} \quad (6)$$

$$\gamma_{i3}^k = \Delta t_i \left[h_{i1}^k - \overline{h_1^k} \right] \quad (7)$$

$$\gamma_{i4}^k = \Delta t_i \left[h_{i2}^k - \overline{h_2^k} \right] \quad (8)$$

Insertando los coeficientes γ_{i1} en la ecuación V se obtiene la diferencia del valor de diferencia de estimación F_i^k según III y el valor de diferencia de medida $F_i^k \Big|_{\Delta P=0}$ según VI como diferencia de ángulo de marcación:

$$D_1 = \left\{ \left[B_{i_{est}} - \overline{B_{est}}^k \right] - \left[B_{i_{mess}} - \overline{B_{mess}}^k \right] \right\}^2 = \sum_{i=1}^4 \left\{ \left[h_{i1}^k - \overline{h_1^k} \right] \cdot \Delta P_1 \right\}^2 \quad \text{VIII}$$

La diferencia de ángulo de marcación según la ecuación VIII y la diferencia de frecuencia según la ecuación IXXX sirven de base a la determinación de los datos del objetivo y se eliminan iterativamente a través de l_k mediciones y estimaciones:

$$\sum_{i=1}^{l_k} \left\{ \left[B_{imess} - \overline{B_{mess}^k} \right] - \left[B_{iest} - \overline{B_{est}^k} \right] \right\}^2 + \left[F_{imess} - F_{iest} \right]^2 = \quad \text{XL}$$

$$= \sum_{j=1}^{l_k} \sum_{l=1}^4 \left\{ \left[h_{il}^k - \overline{h_{il}^k} \right] \cdot \Delta P_l \right\}^2 + \sum_{s=1}^5 \left[g_{is} \cdot \Delta P_s \right]^2 = \min$$

La figura 5 muestra gráficos de error para una estimación de los datos del objetivo según la ecuación VIII, en la que tienen que realizarse maniobras propias por parte del vehículo portador, ya que no se han añadido mediciones ni estimaciones de frecuencia al análisis de los datos del objetivo.

La figura 5a muestra en función del tiempo t el error de marcación sistemático ϑ . Éste asciende durante el recorrido de un primer trayecto de navegación propia a aproximadamente $1,2^\circ$. La primera maniobra propia M1 se caracteriza porque el error de marcación ha saltado de $-1,2^\circ$ a $+1,2^\circ$ después de concluida la maniobra y recorrido el segundo trayecto de navegación propia. En la siguiente maniobra propia M2 después de 8 minutos, el error de marcación salta a aproximadamente $-1,2^\circ$ y permanece inalterado durante las mediciones a lo largo del siguiente trayecto de navegación propia. Las maniobras propias M1, M2, ... M5 están indicadas cada una de ellas por medio de rayas verticales y numeradas en la zona superior del gráfico de error.

Al cabo de 15 minutos y tres maniobras propias, el error de distancia $\Delta R/\%$ según la figura 5b, el error de velocidad $\Delta v/m/s$ según la figura 5c y el error de rumbo K según la figura 5d están dentro de una banda de error usual.

La figura 6 muestra un diagrama de bloques de una instalación de recepción de sonar para determinar los datos de objetivo P con una disposición de filtro adaptativa para evaluar ángulos de marcación B_{imess} y frecuencias de recepción F_{imess} medidos. Las señales de recepción de una disposición 10 de transductores se combinan como señales de grupo en un formador de dirección 11 por compensación de tiempo de propagación o de fase y se detecta un objetivo bajo un ángulo de marcación B_{imess} con un circuito de medida 12. El circuito de medida 12 es activado por un circuito de control 13 a la distancia de intervalos de tiempo Δt_i . El procesamiento completo de las señales se efectúa a la distancia de los intervalos de tiempo Δt_i . Detrás del circuito de medida 12 está dispuesto un circuito de estimación 15 que recibe como datos de entrada adicionales la dirección Norte desde un dispositivo de brújula 16 como dirección de referencia N_0 , la posición propia x_E, y_E de la disposición 10 de transductores desde una instalación de navegación 17 situada a bordo, una posición inicial $P_0 = (x_0, y_0)$ del objetivo desde un circuito de estado de arranque 18, componentes de velocidad v_{ix} y v_{iy} en las direcciones x e y, y un vector de error $\Delta P_0 = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y, \Delta F_s)$ desde una disposición de estimación 20. A partir de estos datos de entrada se estiman en el circuito de estimación 15 unas componentes de recorrido R_{xiest}, R_{yiest} y unos errores de recorrido $\Delta R_{xi}, \Delta R_{yi}$ de conformidad con las ecuaciones de estimación (A) y (B). A partir de estos valores de estimación se calcula en un circuito de arcotangente 21 un ángulo de marcación estimado B_{iest} según la ecuación I.

En un circuito diferenciador de ángulo de marcación 23 que está pospuesto al circuito de estimación 15 se forman según las ecuaciones (1), (2), (3), (4) los coeficientes parciales h_{il} dependientes de las componentes de recorrido estimadas R_{xiest}, R_{yiest} y sus errores $\Delta R_{xi}, \Delta R_{yi}$, así como sus valores medios $\overline{h_{il}}$, para calcular a partir de ellos los coeficientes γ_{il}^k según las ecuaciones (5), (6), (7), (8) y combinarlos formando diferencias de ángulo de marcación según las ecuaciones de estimación VII y VIII:

$$\delta_i^* = \left[B_{imess} - B_{iest} \right]^2 = \sum_{l=1}^4 \left\{ h_{il} \cdot \Delta P_l \right\}^2 \quad \text{VII}$$

$$\delta_i = \sum_{l=1}^{l_k} \left\{ \left[B_{imess} - \overline{B_{mess}^k} \right] - \left[B_{iest} - \overline{B_{est}^k} \right] \right\}^2 = \quad \text{VIII}$$

$$\sum_{l=1}^{l_k} \sum_{j=1}^4 \left\{ \left[h_{il}^k - \overline{h_{il}^k} \right] \cdot \Delta P_l \right\}^2 = \min$$

A través de $i = l_k$ mediciones por cada trayecto de navegación propia, cuyo número l_k se prefija en un circuito de control 60, se evalúan los ángulos de marcación medidos y estimados B_{imess} y B_{iest} . El período de tiempo $l_k \cdot \Delta t$ indica la longitud del filtro.

Las señales de grupo en la salida del formador de dirección 11 son analizadas en un circuito 24 de análisis de frecuencia. La frecuencia de recepción obtenida es alimentada a un circuito diferenciador de frecuencia 25 que está

pospuesto al circuito de estimación 15. A partir de las componentes de recorrido estimadas $R_{x\text{iest}}$, $R_{y\text{iest}}$ y sus variaciones temporales $\dot{R}_{x\text{iest}}$ y $\dot{R}_{y\text{iest}}$, así como los errores ΔR_{xi} , ΔR_{yi} y $\Delta \dot{R}_{xi}$ y $\Delta \dot{R}_{yi}$ se obtiene la diferencia de frecuencia ΔF_i correspondiente a la ecuación de estimación IXXX:

$$\Delta F_i = \sum_{l=1}^5 g_{il} \cdot \Delta P_l = F_{i\text{mess}} - F_{i\text{est}} \quad (\text{IXXX})$$

Las salidas del circuito diferenciador de ángulo de marcación 23 y del circuito diferenciador de frecuencia 25 están unidas con un circuito de iteración 30 en el que se forma iterativamente el mínimo de la suma de la diferencia de ángulo de marcación y la diferencia de frecuencia o sus valores de diferencia elevados al cuadrado de conformidad con las ecuaciones de estimación

$$\sum_{i=1}^k \left[\sum_{l=1}^4 [h_{il} \cdot \Delta P_l]^2 + \sum_{l=1}^5 [g_{il} \cdot \Delta P_l]^2 \right] = \min \quad (\text{XXX})$$

y

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^k \left\{ \left[B_{i\text{mess}} - \overline{B_{i\text{mess}}}^k \right] - \left[B_{i\text{est}} - \overline{B_{i\text{est}}}^k \right] \right\}^2 + \left[F_{i\text{mess}} - F_{i\text{est}} \right]^2 = \\ & = \sum_{i=1}^k \sum_{l=1}^4 \left\{ \left[h_{il}^k - \overline{h_{il}}^k \right] \cdot \Delta P_l \right\}^2 + \sum_{l=1}^5 \left[g_{il} \cdot \Delta P_l \right]^2 = \min \end{aligned}$$

(XL)

Se realiza la minimización hasta que el vector de error ΔP_l se quede por debajo de un umbral inferior ΔP_l menor/igual que ΔP_{min} .

Para cada ángulo de marcación medido $B_{i\text{mess}}$ se obtienen en el circuito de estimación 15 los componentes de recorrido $R_{x\text{est}}$ y $R_{y\text{est}}$, así como los errores de recorrido ΔR_x y ΔR_y hasta que el factor de error ΔP_l se quede por debajo de un umbral inferior $\Delta P_l \leq \Delta P_{\text{min}}$. Salvo un error residual fijado por el umbral, el ángulo de marcación estimado $B_{i\text{est}}$ es entonces igual al ángulo de marcación verdadero $B_{i\text{true}}$ y las componentes de recorrido y de velocidad estimadas $R_{x\text{est}}$, $R_{y\text{est}}$, $V_{x\text{est}}$, $V_{y\text{est}}$ son iguales a las componentes de recorrido y de velocidad verdaderas $R_{x\text{true}}$, $R_{y\text{true}}$, $V_{x\text{true}}$, $V_{y\text{true}}$ y la frecuencia Doppler estimada $F_{i\text{est}}$ es igual a la frecuencia Doppler verdadera $F_{i\text{true}}$. El circuito umbral 31 utilizado para ello está pospuesto al circuito de iteración 30 y activa la disposición de estimación 20. Cuando no se alcanza el umbral ΔP_{min} , los datos de objetivo P se presentan en una unidad de visualización 100.

La figura 7 muestra la evolución en el tiempo de la frecuencia de recepción medida F_{z1} de una línea espectral irradiada por el objetivo con la frecuencia de emisión $F_s = 1000$ Hz cuando no se realiza una maniobra propia con el vehículo portador de la disposición de transductores. Para la medición es decisiva la maniobra M1 de la antena remolcada, la cual se inicia en un instante $t = 15$ minutos después de que el objetivo haya alcanzado en el instante $t = 7,5$ minutos el lugar de máxima aproximación CPA, en el cual la frecuencia de recepción F_{z1} es igual a la frecuencia de emisión F_s . Al comienzo de la medición, la frecuencia de recepción F_{z1} era igual a 1003,8 Hz y después de 15 minutos era igual a 996,3 Hz. En este instante comienza a girar la antena remolcada a consecuencia de la maniobra propia M1 y vuelve a aumentar la frecuencia de recepción F_{z1} hasta 998 Hz. Al final de la maniobra propia disminuye de nuevo la frecuencia de recepción F_{z1} durante el tiempo t .

Los datos de objetivo determinados con el procedimiento según la invención agregando la evolución en el tiempo de la frecuencia de recepción F_{z1} según la figura 7 pueden deducirse de los diagramas de la figura 8. En el escenario que sirve de base se realiza, como muestra la figura 7, la maniobra propia después de 15 minutos. La figura 8a muestra que ya al cabo de 3 minutos se estima como estable el rumbo del objetivo, que está entre 28° y 34° . La figura 8b muestra la distancia R al objetivo estimada con el procedimiento según la invención, la cual converge también después de menos de 2,5 minutos. Se ve que la distancia R disminuye dentro de los primeros minutos y que se ha alcanzado la CPA después de 7,5 minutos. A continuación, se vuelve a hacer mayor la distancia R al objetivo. La figura 8c muestra la evolución de la frecuencia de emisión estimada $F_s \approx 1000$ Hz en función del tiempo. Después de 15,5 minutos se interrumpe la curva, ya que en este instante se inicia la maniobra propia M1 de la antena remolcada y no se evalúan datos de medida durante esta maniobra de rumbo M1. Se puede apreciar en la figura 8d que ya al cabo de 3 minutos se estima con seguridad la velocidad $v_{m/s}$ del objetivo, que fluctúa entre 4,8 y 5,1 m/s.

ES 2 268 040 T3

Para la obtención de los datos de objetivo en la figura 8 se utilizó una longitud de filtro de 30 minutos, es decir que no se emplearon ya ángulos de marcación B_{imess} medidos ni frecuencias de recepción F_{imess} medidas con una antigüedad de más de 30 minutos. Sin embargo, los gráficos de datos de objetivo en la figura 8 muestran que se pueden estimar con seguridad los datos de objetivo en menos de 5 minutos utilizando informaciones de frecuencia, de modo que se puede trabajar también con una longitud de filtro o duración en tiempo de, por ejemplo, 5 minutos. Esto tiene la ventaja en caso de maniobras del objetivo de que, sin una intervención operativa, se pueden volver a estimar con seguridad los datos de objetivo 5 minutos después de la maniobra del objetivo.

En el circuito de análisis de frecuencia 24 se analizan las señales de grupo del ruido recibido con la disposición de transductores 10. Cuando se utiliza una antena lateral lineal o una antena remolcada como disposición de transductores 10, se confecciona, por ejemplo, un Lofargrama en el que se reconocen las líneas espectrales de baja frecuencia del ruido recibido y se determinan sus frecuencias F_i . Asimismo, empleando una antena lateral, o sea, un llamado flank array, se puede realizar un análisis de Demon de las señales características direccionales a la salida del formador de dirección 11, en el que se desmodula el ruido recibido después de un filtrado de paso de banda. La frecuencia modulante es analizada y suministra las líneas espectrales a las mismas frecuencias que el Lofargrama. Este espectro con frecuencia fundamental y sus armónicos es originado por el número de revoluciones de la hélice de propulsión del vehículo acuático.

El análisis espectral proporciona al comienzo del escenario, por ejemplo, frecuencias medidas $F_1 = 1045$ Hz y $F_2 = 1005$ Hz de dos líneas espectrales. Su evolución en el tiempo se muestra en la figura 9. Ambas frecuencias medidas F_1 y F_2 , que pertenecen a las frecuencias de emisión irradiadas desconocidas $F_{s1} = 1000$ Hz y $F_{s2} = 1040$ Hz, provienen del mismo objetivo y, por tanto, están afectadas porcentualmente del mismo desplazamiento Doppler. Se combinan formando una línea espectral artificial y luego se alimentan a la unidad de análisis de datos de objetivo para su evaluación. La frecuencia espectral ficticia de la línea espectral artificial se fija, por ejemplo, en $F_{kunst} = 1030$ Hz. Para obtener la frecuencia de recepción F_{imess} se captan, combinan y declaran válidas varias frecuencias F_{i1} medidas en el intervalo de tiempo Δt . Esta frecuencia válida F_{g1} se utiliza para la transformación de las frecuencias medidas F_{i1} , a cuyo fin se divide la frecuencia espectral ficticia F_{kunst} por la frecuencia válida F_{g1} y se multiplica por la frecuencia momentáneamente medida F_{i1} . Se obtienen así valores de la frecuencia F_{k1} transformada en la línea espectral artificial como valores de medida de la frecuencia de recepción F_{imess} que fluctúan dentro de límites muy estrechos alrededor de la frecuencia espectral ficticia $F_{kunst} = 1030$ Hz.

$$F_{k1} = F_{imess} = \frac{F_{kunst}}{F_{g1}} \cdot F_{i1}$$

La segunda frecuencia medida F_2 asciende a 1005 Hz y se convierte en la misma frecuencia espectral ficticia $F_{kunst} = 1030$ Hz, a cuyo fin se divide la frecuencia espectral ficticia $F_{kunst} = 1030$ Hz por la frecuencia F_{g2} proveniente de mediciones válidas y se multiplica por la frecuencia momentáneamente medida F_{2i} :

$$F_{k2} = F_{imess} = \frac{F_{kunst}}{F_{g2}} \cdot F_{2i}$$

La figura 9 muestra, aparte de las frecuencias medidas F_{1i} y F_{2i} , las frecuencias transformadas F_{k1} y F_{k2} en función del tiempo t , que presentan un desfase de aproximadamente 2,7 Hz como desviación de una respecto de otra. La frecuencia transformada F_{k2} se desplaza en la medida de la desviación media en dirección a la frecuencia transformada F_{k1} , o viceversa. El resultado se muestra en la figura 10. La evolución de la frecuencia espectral F_k es alimentado como frecuencia de recepción F_{imess} a la unidad de análisis de datos de objetivo.

Los resultados del análisis de datos de objetivo agregando la frecuencia espectral F_k como frecuencia de recepción F_{imess} se muestran en los diagramas de la figura 11. La figura 11a muestra el ángulo de marcación B en función del tiempo t /min. Hasta la primera maniobra M1 después de 8 minutos, las primeras estimaciones de distancia al objetivo son ya estables, tal como muestra la figura 11b. La distancia R entre el vehículo portador con la disposición de transductores y el objetivo es de 7 km al cabo de 5 minutos. La figura 11c muestra la velocidad v /m/s del objetivo en función del tiempo t , que, al cabo de 3 minutos, adopta también valores estables de 3 m/s a 5 m/s.

Solamente el rumbo no puede ser determinado aún claramente en este tiempo, tal como muestra la figura 11d. Ahora bien, antes de que se realice la primera maniobra M1, se estima con seguridad el rumbo al cabo de 7 minutos. Después de 8 minutos, el vehículo portador realiza una maniobra de velocidad M2. Todos los gráficos de datos de objetivo 11a - 11c permiten apreciar que esta maniobra de velocidad M2 no perturba la estimación de los datos de objetivo, sino que confirma los valores anteriores. Al cabo de 4 minutos, ha concluido la maniobra M2. Esta maniobra de velocidad M2 conduce, debido a variaciones de la componente de velocidad radial V_R , a una variación del desplazamiento Doppler y, por tanto, de la frecuencia de recepción F_{imess} . Esta variación no se hace perceptible negativamente en el análisis de los datos de objetivo. La segunda maniobra de velocidad M2 al cabo de 19 minutos no conduce tampoco a una pérdida de la determinación de los datos del objetivo. Al cabo de 29 minutos, el vehículo portador realiza una maniobra de rumbo, es decir que se modifica el ángulo de marcación referido al vehículo con

ES 2 268 040 T3

respecto al objetivo y la variación del ángulo de marcación es muy grande. Durante este tiempo, no es posible una estimación estable del ángulo de marcación, tal como permite deducir la solución de continuidad en la curva de la figura 11a. Una vez concluida la maniobra M3, se proporciona nuevamente a partir de 32,5 minutos una estimación estable del ángulo de marcación. Sin embargo, esta maniobra de rumbo M3 no perturba la determinación de rumbo k del objetivo según la figura 11d ni la estimación de distancia R según la figura 11b ni tampoco la determinación de velocidad según la figura 11c.

Resumiendo, se puede consignar que se desprende claramente de los gráficos de datos de objetivo según la figura 11 que las primeras estimaciones de los datos de objetivo se consiguen sin maniobra propia en un tiempo de convergencia de menos de 7 minutos y que las maniobras de velocidad y de rumbo por parte del vehículo portador no alargan el tiempo de convergencia de la estimación de los datos del objetivo.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación pasiva de datos de un objetivo por recepción selectiva en dirección de ondas acústicas que son irradiadas o emitidas por un objetivo, con una disposición de transductores electroacústicos de una instalación de recepción de sonar en un vehículo portador, a partir de ángulos de marcación estimados (B_{iest}) obtenidos a partir de posiciones estimadas del objetivo, así como a partir de ángulos de marcación medidos (B_{imes}), minimizándose iterativamente la diferencia de ángulo de marcación entre ángulos de marcación medidos y estimados, **caracterizado** porque se someten las ondas acústicas recibidas bajo un ángulo de marcación a un análisis de frecuencia y se determina como frecuencia de recepción (F_{imes}) la frecuencia de al menos una línea espectral, porque se obtiene una diferencia de frecuencia (ΔF_i ; $B_{imes} - B_{iest}$) entre la frecuencia de recepción (F_{imes}) y una frecuencia Doppler estimada (F_{iest}), porque se determinan la frecuencia Doppler estimada (F_{iest}) a partir de una frecuencia de emisión estimada (F_{sest}) irradiada por el objetivo y de un desplazamiento Doppler (Q) derivado de posiciones de objetivo estimadas (R_{xiest} , R_{yiest}) - que se aprovechan también para obtener el ángulo de marcación estimado (B_{iest}) - y sus variaciones temporales (\dot{R}_{xiest} , \dot{R}_{yiest}) en la dirección de marcación, y porque se obtiene una diferencia de ángulo de marcación (δ_i ; δ_i^* ; $B_{imes} - B_{iest}$) como diferencia entre el ángulo de marcación medido (B_{imes}) y el ángulo de marcación estimado (B_{iest}), y porque se determina iterativamente el mínimo de la suma del cuadrado de la diferencia de ángulo de marcación $B_{imes} - B_{iest}$ y el cuadrado de la diferencia de frecuencia $F_{imes} - F_{iest}$ en función del número l_k de todos los ángulos de marcación medidos según la fórmula siguiente:

$$\sum_{i=1}^{l_k} \left[\left(B_{imes} - B_{iest} \right)^2 + \left(F_{imes} - F_{iest} \right)^2 \right] = \min$$

proporcionando la posición estimada al alcanzarse el mínimo los datos del objetivo.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se determina la frecuencia de recepción con un análisis de Lofar.

3. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque se determina la frecuencia de recepción con un análisis de Demon.

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque se combinan frecuencias medidas de varias líneas espectrales y éstas forman valores de medida de la frecuencia de recepción (F_{imes}).

5. Procedimiento según la reivindicación 4, **caracterizado** porque algunas frecuencias medidas de varias líneas espectrales son transformadas individualmente en valores de una frecuencia espectral ficticia de una línea espectral artificial común y forman valores de medida de la frecuencia de recepción (F_{imes}).

6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado** porque la frecuencia espectral ficticia es la frecuencia medida de una de las líneas espectrales recibidas.

7. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado** porque los valores medios de los valores de frecuencia transformados forman valores medios de la frecuencia de recepción (F_{imes}).

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 ó 6, **caracterizado** porque se calcula una desviación media cuadrática de todos los valores de frecuencia transformados respecto de un valor de frecuencia transformado seleccionado, y los valores de frecuencia transformados son desplazados en la medida de esta desviación y forman valores de medida de la frecuencia de recepción (F_{imes}).

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque algunas componente x-y ($R_{xiest} - \Delta R_x$; $R_{yiest} - \Delta R_y$) de una posición inicial (x_0 , y_0), más un término de recorrido dependiente de la velocidad [$(v_x + \Delta v_x) \cdot \Delta t$, $(v_y + \Delta v_y) \cdot \Delta t$] con errores de componente de velocidad (Δv_x , Δv_y) y errores de componente de recorrido (Δx_0 , Δy_0), son multiplicadas por sus derivadas en el tiempo, y este producto es dividido por el total de las componentes x-y, y se forma la siguiente función de cociente

$$Q(\Delta P) = \frac{1}{c} \frac{(\dot{R}_{xiest} - \Delta \dot{R}_x)(R_{xiest} - \Delta R_x) + (\dot{R}_{yiest} - \Delta \dot{R}_y)(R_{yiest} - \Delta R_y)}{\sqrt{(R_{xiest} - \Delta R_x)^2 + (R_{yiest} - \Delta R_y)^2}}$$

que es igual al desplazamiento Doppler y en donde $\Delta P = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y)$ representa un vector de error y c es la velocidad del sonido, y porque la frecuencia de emisión estimada F_{sest} reducida en la medida de un error de frecuencia

de emisión ΔF_s es multiplicada por la diferencia entre la unidad y la función de cociente $Q(\Delta P)$, y la frecuencia Doppler estimada como errónea en la medida de la diferencia de frecuencia ΔF_i se indica conforme a la fórmula siguiente:

$$F_{iest} - \Delta F_i = (F_{sest} - \Delta F_s) \left[1 - Q(\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta v_x, \Delta v_y) \right] \quad (XXIII)$$

10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** porque se forma el vector de error (ΔP) a partir de los errores de componente de recorrido ($\Delta x_0, \Delta y_0$), los errores de componente de velocidad ($\Delta v_x, \Delta v_y$) y el error de frecuencia de emisión (ΔF_s), porque se desarrolla la frecuencia Doppler estimada ($F_{iest} - \Delta F_i$) en un serie de Taylor alrededor del vector de error (ΔP), y porque se determinan sus coeficientes de frecuencia por diferenciación parcial según el vector de error (ΔP), siendo su primer miembro igual a la frecuencia de recepción medida (F_{imes}) y siendo su segundo miembro según la fórmula dispuesta más abajo igual al producto de coeficientes de frecuencia (g_{i1}) multiplicado por el vector de error (ΔP) y formando la diferencia de frecuencia (ΔF_i) para determinar el mínimo:

$$\Delta F_i = \sum_{l=1}^5 g_{il} \cdot \Delta P_l$$

11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado** porque se obtiene una función trigonométrica a partir de las componentes x-y ($R_{xiest} - \Delta R_{xi}, R_{yiest} - \Delta R_{yi}$), porque se determina la diferencia de ángulo de marcación mediante un desarrollo de la serie de Taylor de la función trigonométrica, porque el vector de error (ΔP_l) derivado de los errores de componente de recorrido ($\Delta x_0, \Delta y_0$) y los errores de componente de velocidad ($\Delta v_x, \Delta v_y$) forma las variables en el desarrollo de la serie de Taylor, porque sus coeficientes parciales (h_{il}) se determinan por diferenciación parcial de la función trigonométrica según el vector de error (ΔP_l), siendo su primer miembro igual al ángulo de marcación medido (B_{imes}) y siendo su segundo miembro igual al producto de los coeficientes parciales (h_{il}) multiplicado por el vector de error (ΔP_l) y formando así la diferencia de ángulo de marcación δ_i^* según la fórmula siguiente:

$$\delta_i^* = \left[B_{imes} - B_{iest} \right]^2 = \sum_{l=1}^4 \left\{ h_{il} \cdot \Delta P_l \right\}^2$$

y porque la suma de la diferencia de ángulo de marcación δ_i^* elevada al cuadrado y la diferencia de frecuencia ΔF_i elevada al cuadrado es minimizada iterativamente según la fórmula dispuesta más abajo y su mínimo suministra los datos de objetivo.

$$\sum_{i=1}^k \left[\left(B_{imes} - B_{iest} \right)^2 + \left(F_{imes} - F_{iest} \right)^2 \right] =$$

$$\sum_{i=1}^k \left\{ \sum_{l=1}^4 h_{il} \cdot \Delta P_l \right\}^2 + \left[\sum_{l=1}^5 g_{il} \cdot \Delta P_l \right]^2 = \min$$

12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado** porque se mide en un período de tiempo durante un movimiento rectilíneo del vehículo portador a lo largo de un trayecto de navegación propia un número (l_k) de ángulos de marcación (B_{imes}) con respecto al objetivo y se determina un valor medio de ángulo de marcación ($\overline{B_{imes}}$) a partir de los ángulos de marcación medidos (B_{imes}), porque se obtiene para cada ángulo de marcación medido (B_{imes}) un ángulo de marcación estimado (B_{iest}), porque se calcula un valor medio de ángulo estimativo ($\overline{B_{est}}$) a partir de los ángulos de marcación estimados (B_{iest}), porque se resta de cada ángulo de marcación medido (B_{imes}) el valor medio de ángulo de marcación ($\overline{B_{imes}}$) y se resta de cada ángulo de marcación estimado (B_{iest}) el valor medio de ángulo estimativo ($\overline{B_{est}}$) y dichos valores medios forman un valor de diferencia de medida y un valor de diferencia estimativo, respectivamente, porque se restan el valor de diferencia de medida y el valor de diferencia estimativo y esta resta proporciona una desviación (D) - libre de un ángulo de marcación sistemático (ϑ) - del ángulo de marcación estimado (B_{iest}) respecto del ángulo de marcación medido (B_{imes}), y porque, en función de la duración en tiempo $l_k \cdot \Delta t_i$ de todas las mediciones de ángulo de marcación y en función del número l_k de todas las mediciones de ángulo de marcación, se determina la suma de las desviaciones de ángulo de marcación al cuadrado $D = [(B_{imes} - \overline{B_{imes}}) - (B_{iest} - \overline{B_{est}})]$ y las diferencias de frecuencia al cuadrado $\Delta F_i = (F_{imes} - F_{iest})$, y porque se determina iterativamente el mínimo de la suma (min) y, por tanto, se proporcionan los datos del objetivo según la fórmula siguiente:

$$\sum_{i=1}^4 \left\{ \left[\left(B_{imes} - \overline{B_{ness}} \right) - \left(B_{iest} - \overline{B_{est}} \right) \right]^2 + \left(F_{imes} - F_{iest} \right)^2 \right\} = \min$$

5

13. Procedimiento según la reivindicación 11 con la 12, **caracterizado** porque se forman la función trigonométrica y su valor medio, porque se determina la desviación o la desviación cuadrática mediante un desarrollo de la serie de Taylor de la función trigonométrica y su valor medio según el vector de error (ΔP_1), porque sus coeficientes (γ_{i1}) son iguales a los coeficientes parciales (h_{i1}) y sus valores medios ($\overline{h_1}$), porque su primer miembro es igual al valor de diferencia de medida y su segundo miembro es igual al producto de los coeficientes (γ_{i1}) multiplicado por el vector de error (ΔP_1) y forma la desviación (D), y porque la suma de la desviación cuadrática y la diferencia de frecuencia elevada al cuadrado se minimiza con arreglo a la fórmula siguiente:

10

15

$$\sum_{i=1}^4 \left\{ \left[\sum_{l=1}^4 (h_{il} - \overline{h_1}) \cdot \Delta P_1 \right]^2 + \left[\sum_{l=1}^5 g_{il} \cdot \Delta P_1 \right]^2 \right\} = \min$$

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

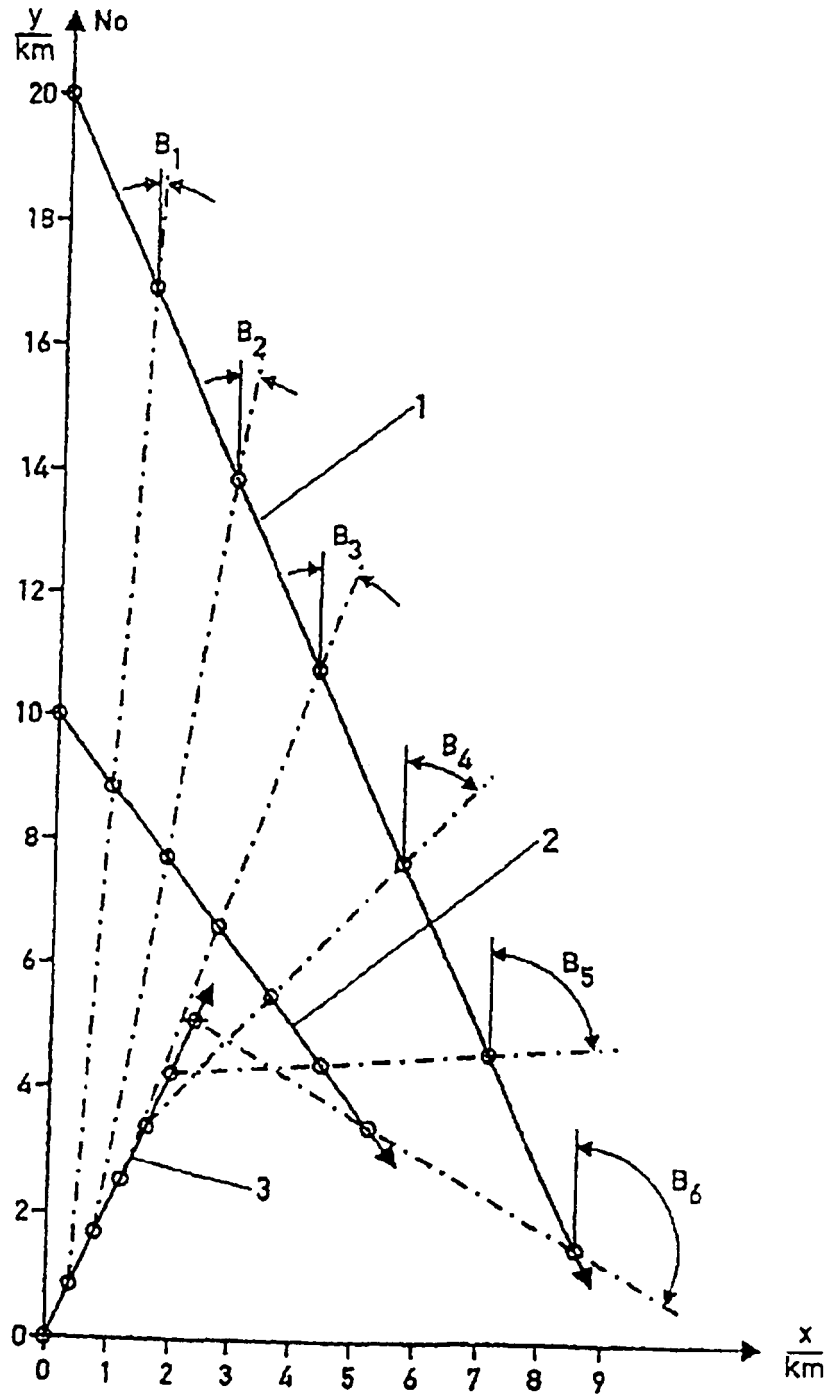


Fig. 1

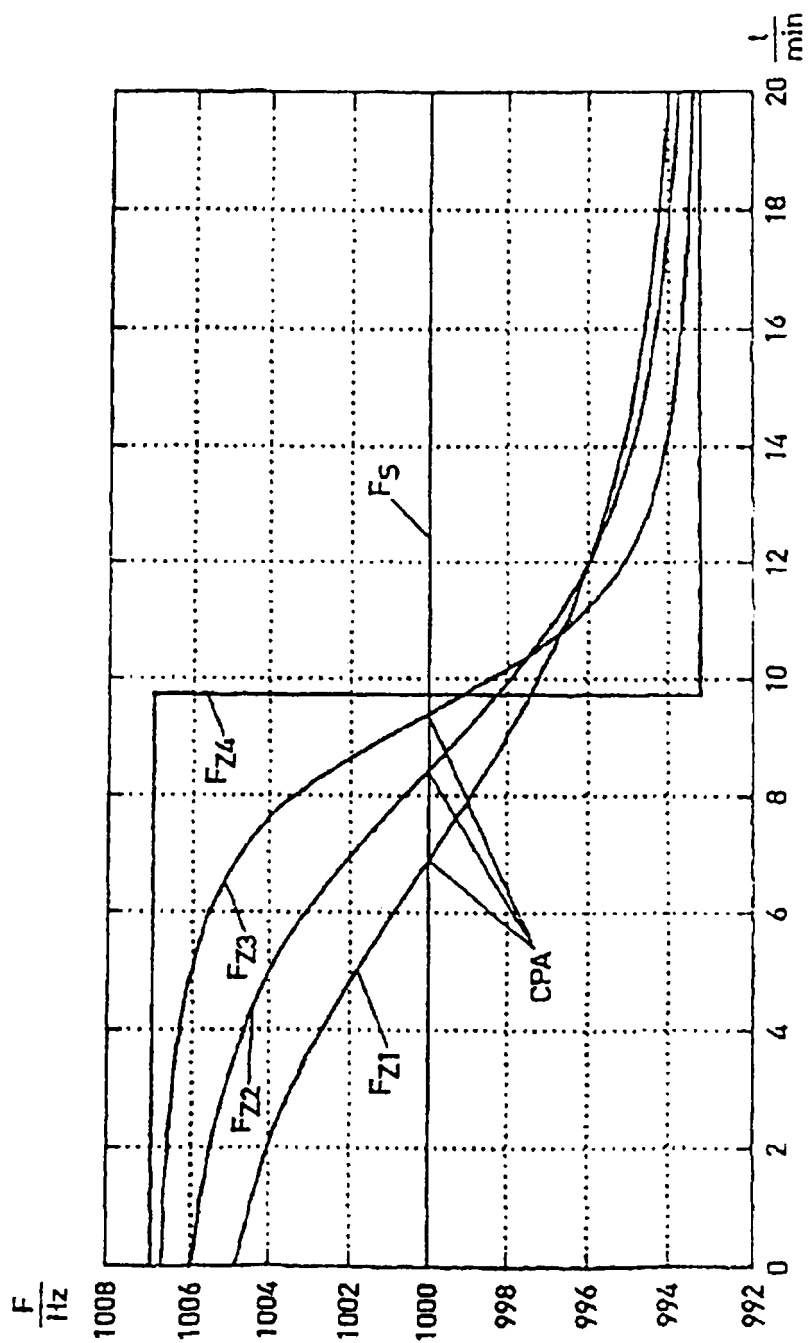


Fig. 3

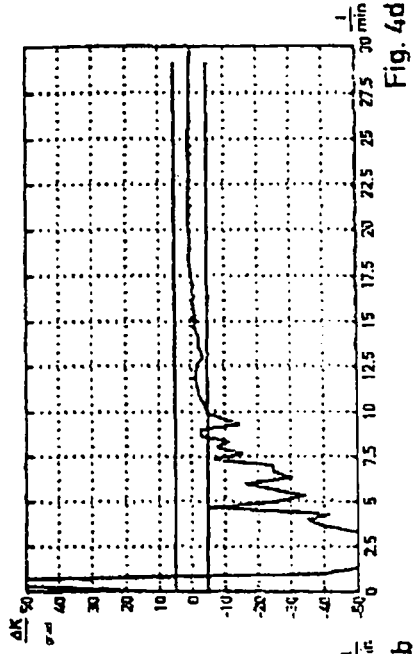
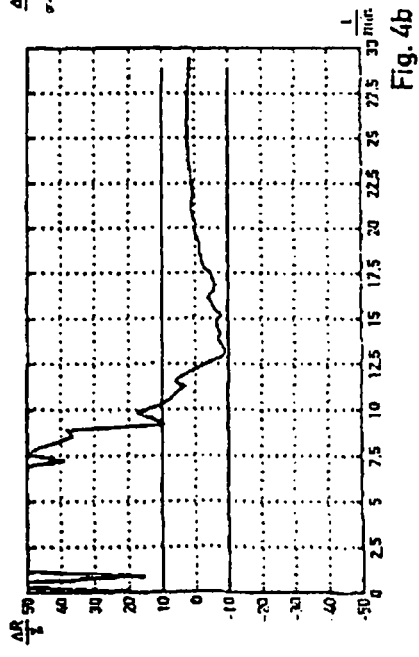
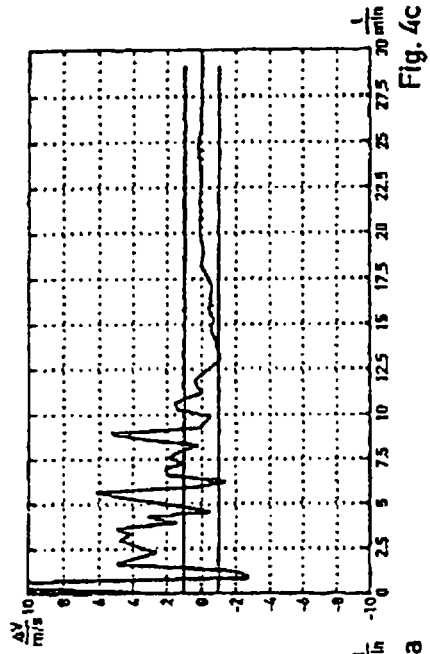
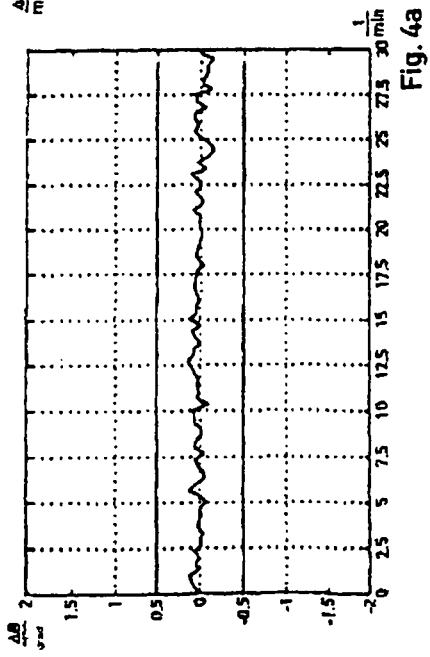


Fig. 4

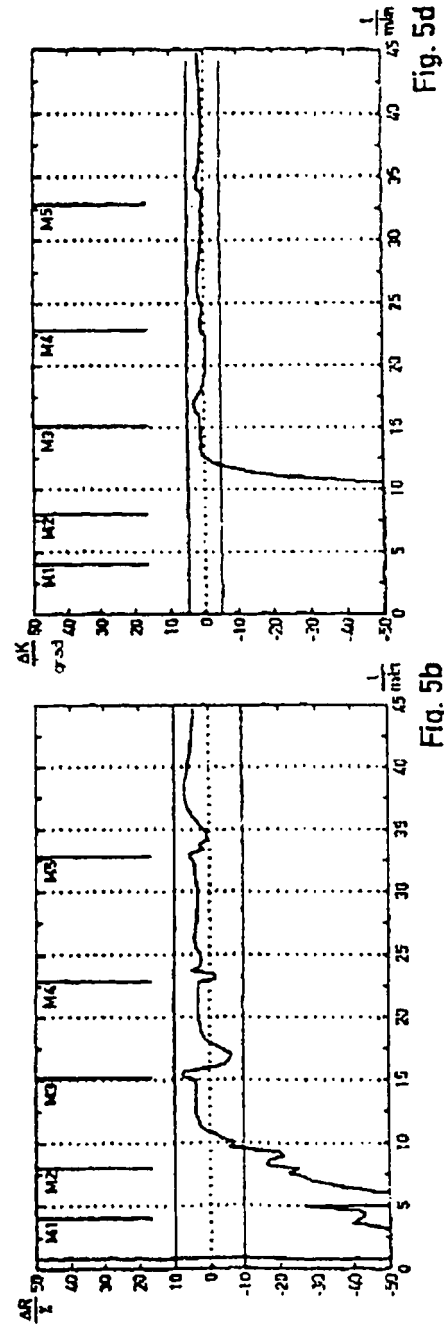
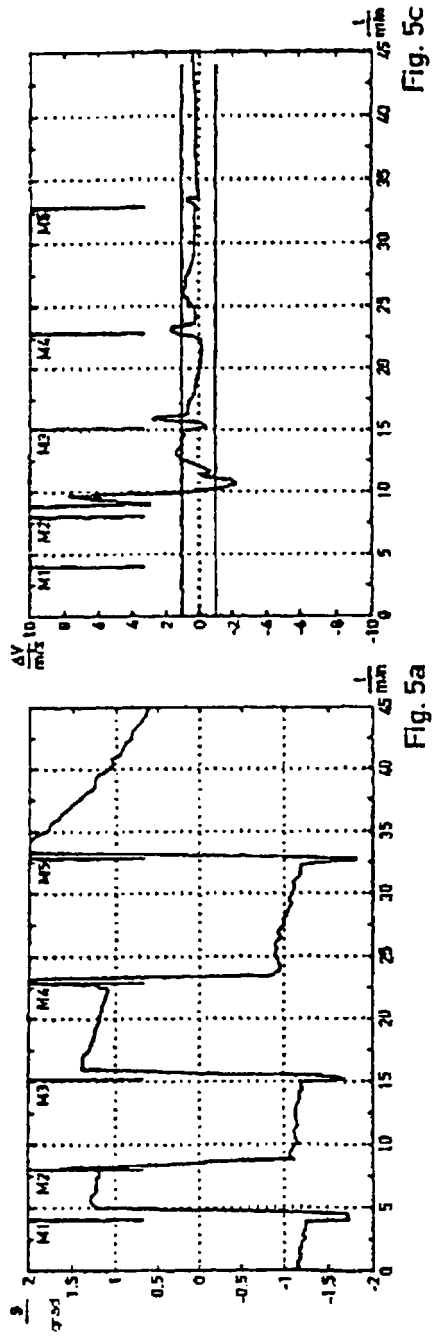
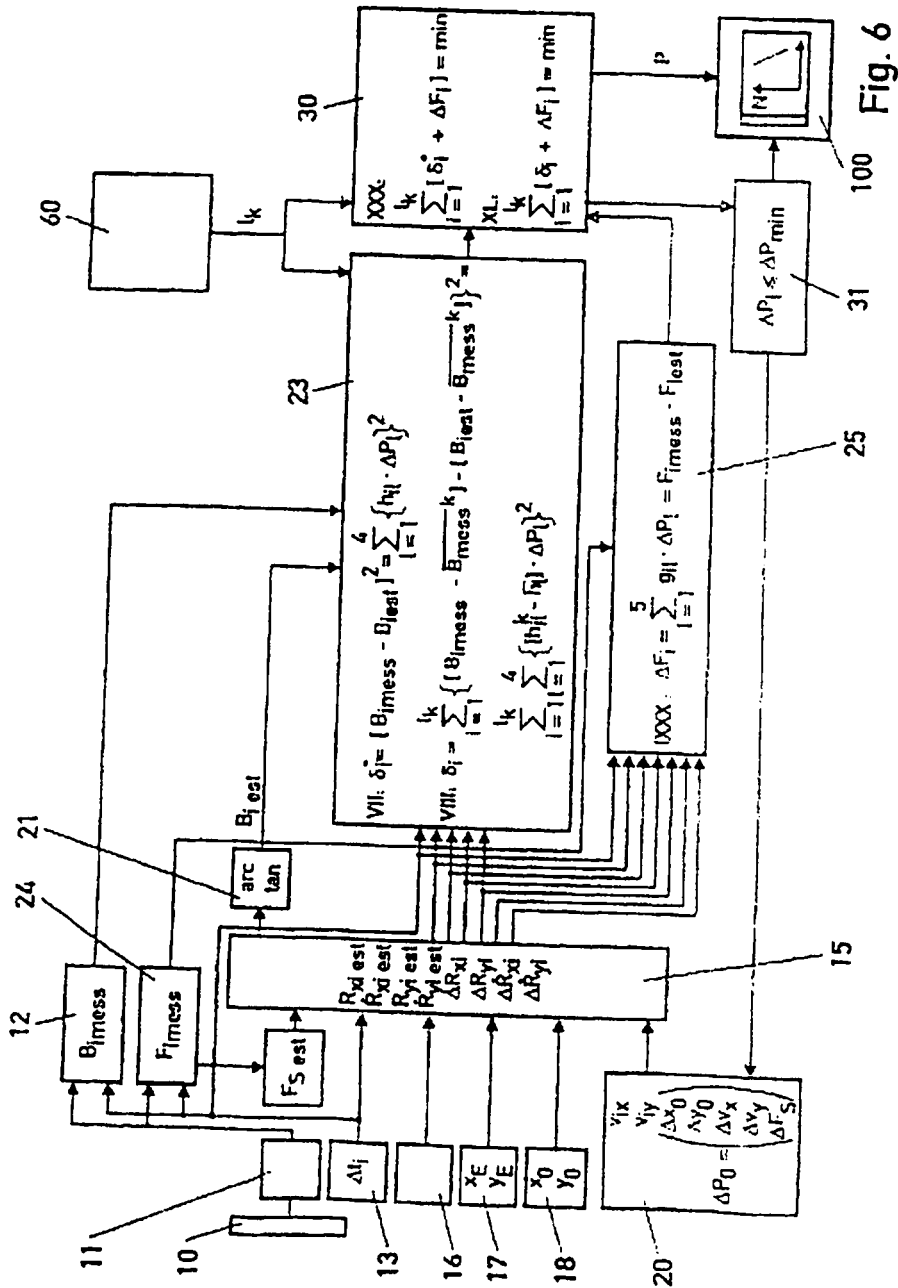


Fig. 5



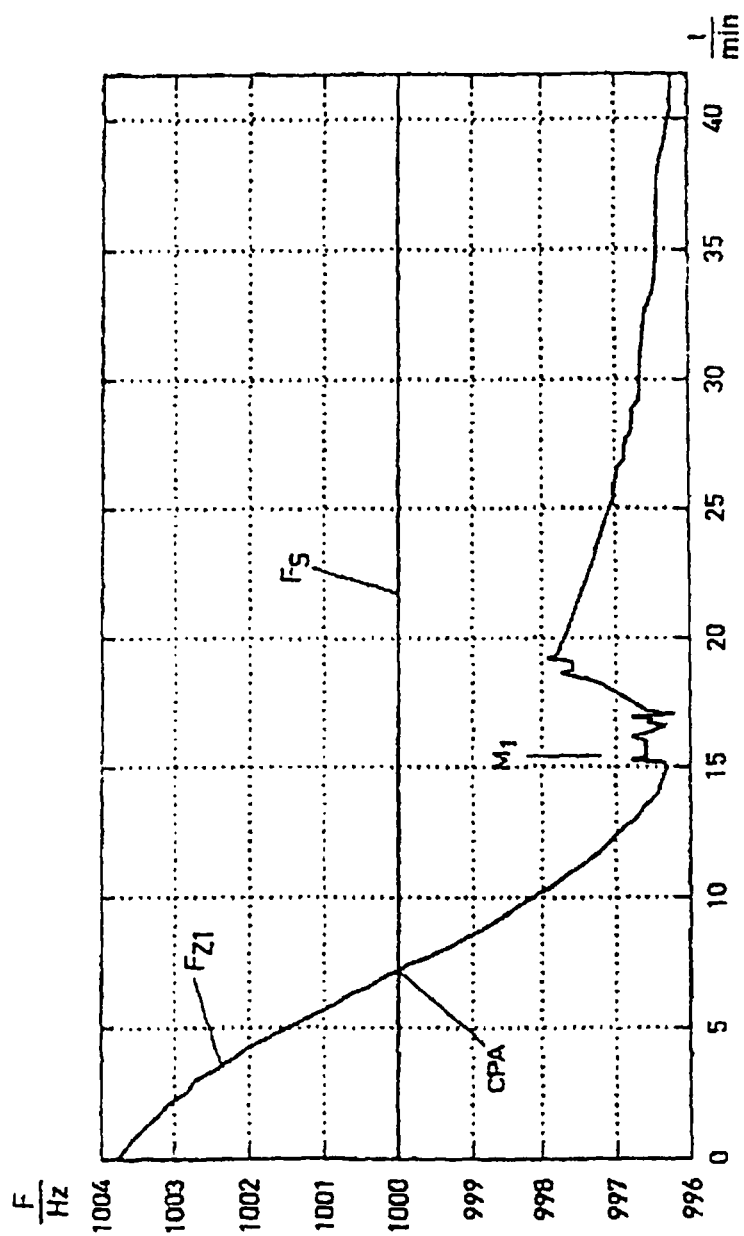


Fig. 7

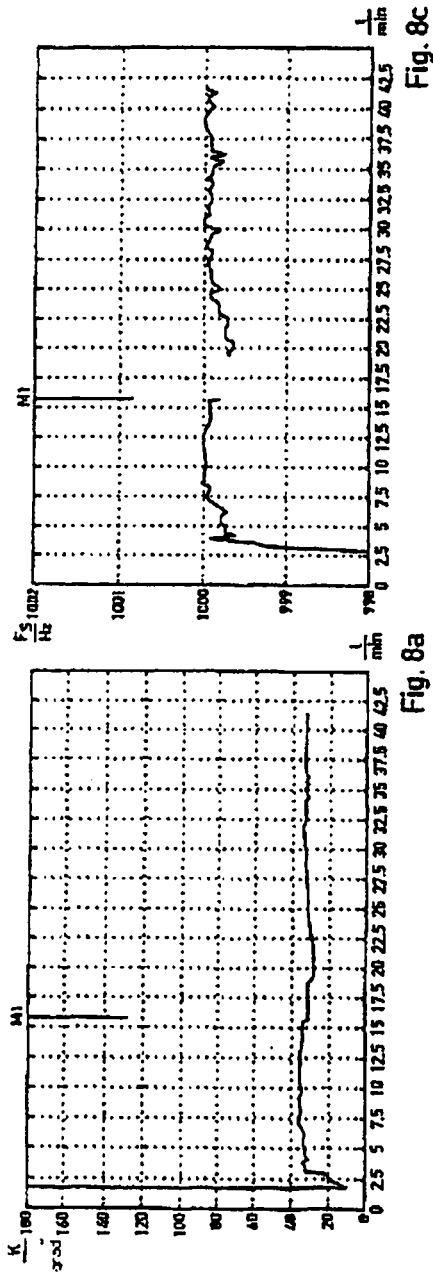


Fig. 8a

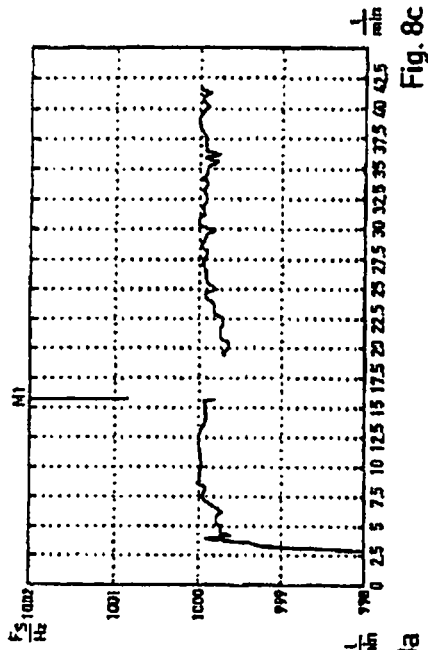


Fig. 8c

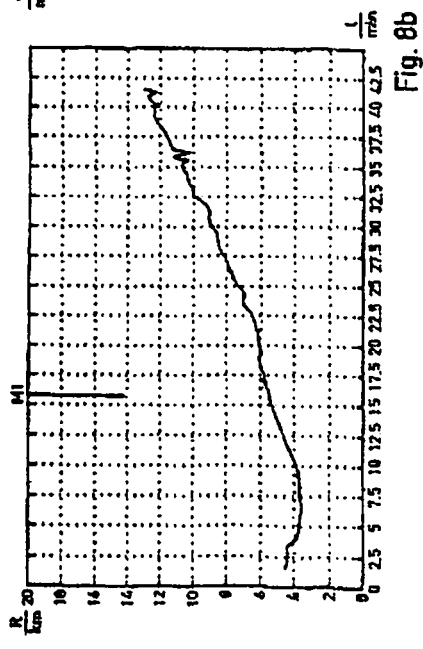


Fig. 8b

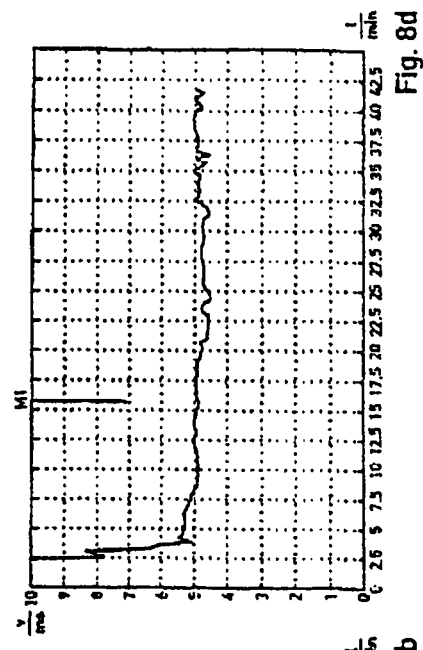


Fig. 8d

Fig. 8

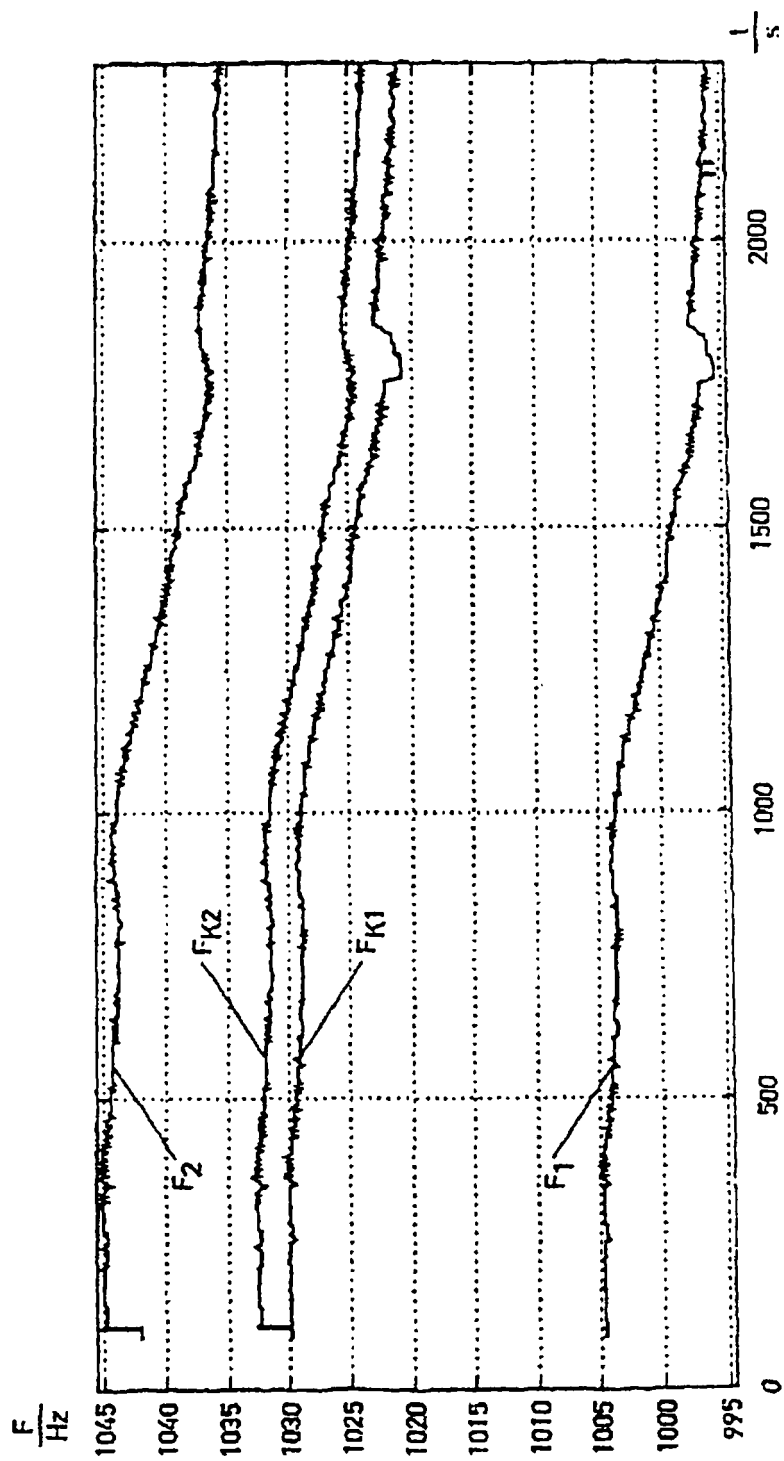


Fig. 9

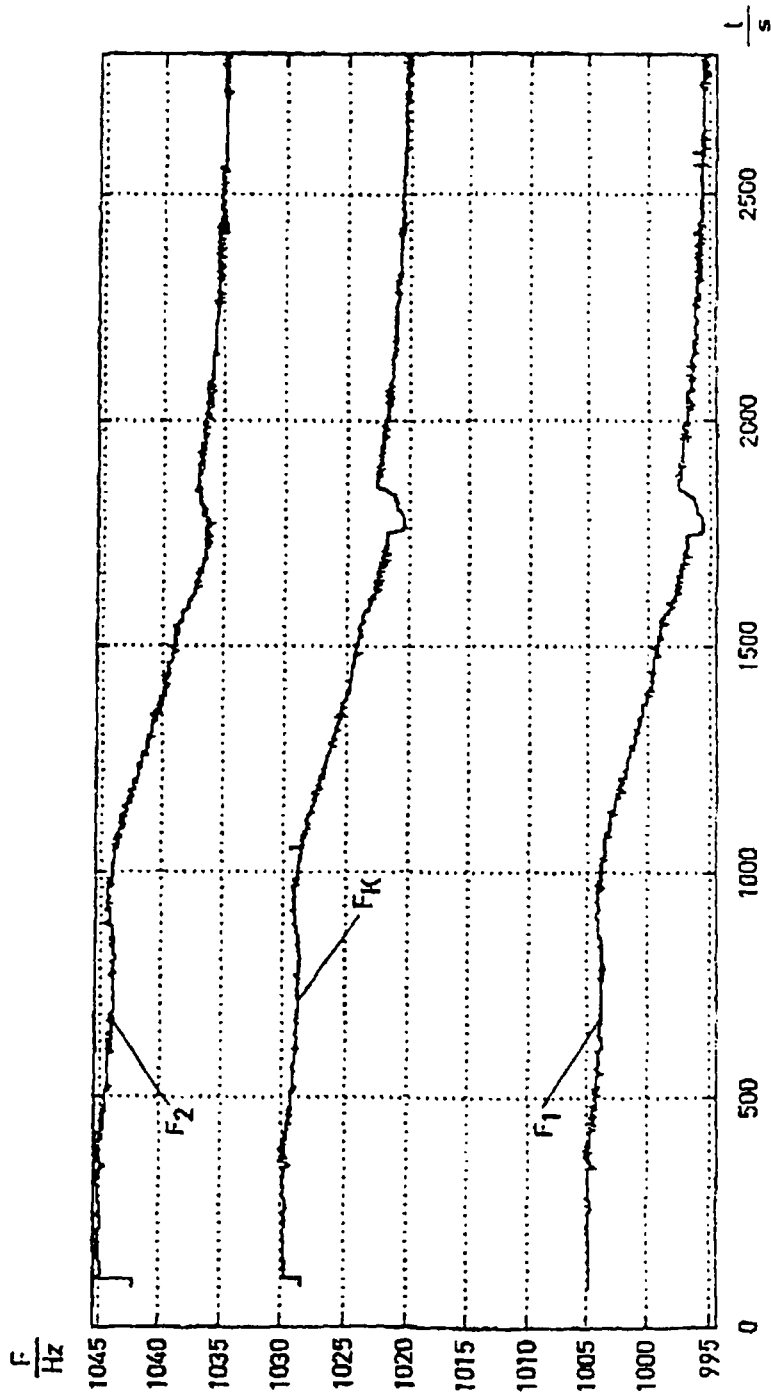


Fig. 10

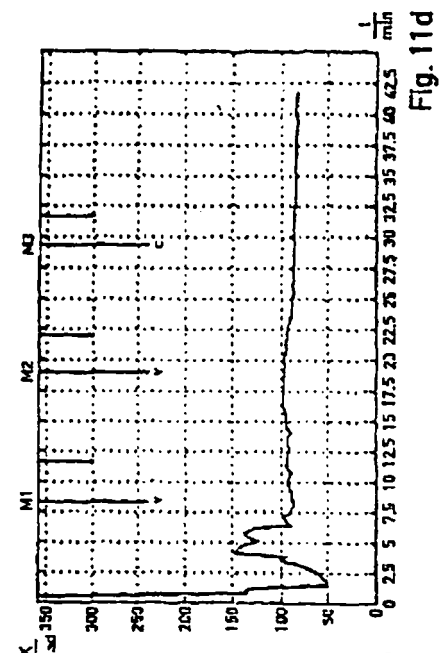
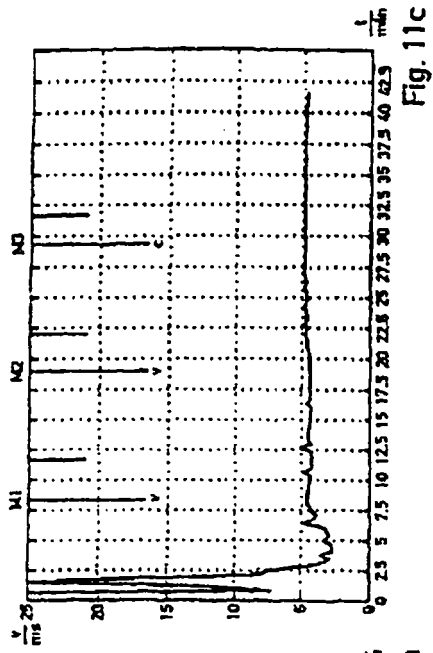
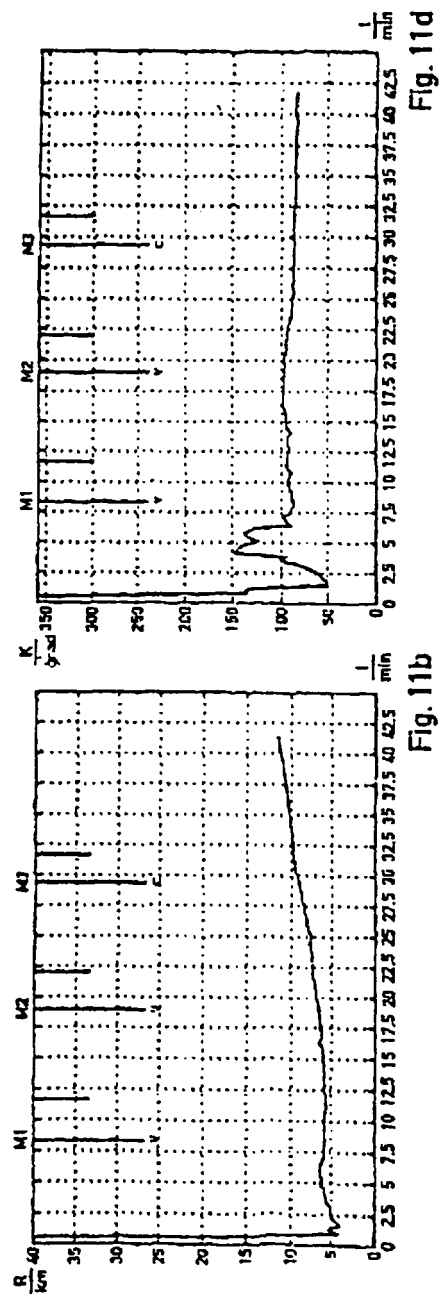
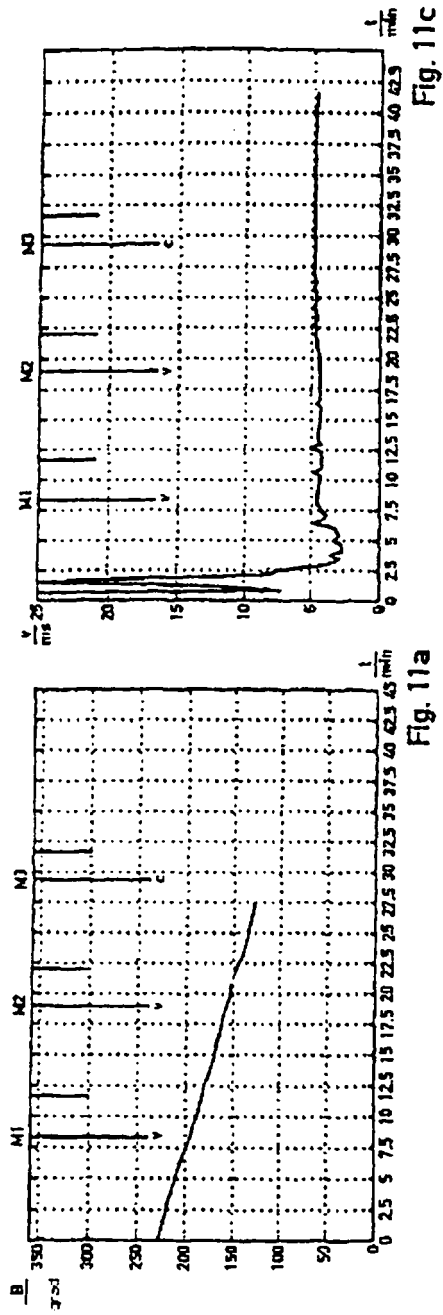


Fig. 11