

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 373 026**

51 Int. Cl.:
G01S 3/805 (2006.01)
G01S 3/808 (2006.01)
G01S 3/80 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **10163799 .9**
96 Fecha de presentación: **25.05.2010**
97 Número de publicación de la solicitud: **2267475**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **29.12.2010**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE DETERMINACIÓN DE LA DIRECCIÓN PARA DETECTAR Y RASTREAR
ÁNGULOS DE MARCACIÓN SUCESIVOS.**

30 Prioridad:
09.06.2009 DE 102009024339

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.01.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.01.2012

73 Titular/es:
**ATLAS Elektronik GmbH
Sebaldsbrücker Heerstrasse 235
28309 Bremen, DE**

72 Inventor/es:
Brinkmann, Kevin, Dr.;
Hurka, Jörg, Dr.;
Daun, Martina;
Koch, Wolfgang, Dr. y
Ruthotto, Eicke

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 373 026 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 de determinación de la dirección para detectar y rastrear ángulos de marcación sucesivos

5 La invención se refiere a un procedimiento de determinación de la dirección para detectar y rastrear ángulos de marcación sucesivos de objetivos emisores de sonido de banda ancha a través de todo el panorama azimutal o de un sector azimutal predeterminable con una instalación de determinación de la dirección para la recepción de ondas sonoras de banda ancha según el preámbulo de la reivindicación 1 y a una instalación de determinación de la dirección según el preámbulo de la reivindicación 14.

10 En la técnica de sonar con una instalación de determinación de la dirección pasiva se monitoriza todo el azimut o un sector para detectar ruidos de objetivos emisores de sonido, tales como naves de superficie, submarinos, vehículos subacuáticos o torpedos y rastrear los ángulos de marcación a los objetivos. El término "rastrear" significa la formación de una traza. El rastreo de ángulos de marcación significa, por tanto, la formación de una o varias trazas de marcación para uno o varios objetivos (con respecto al significado de los llamados "rastreos" véase: Koch, W. "On Optimal Distributed Kalman Filtering and Retrodiction at Arbitrary Communication Rates for Maneuvering Targets", en IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 2008. MFI 2008. 20-22 de agosto, pág. 457-462, XP 031346243).

20 Con los transductores electroacústicos u optoacústicos de una antena receptora de la instalación de determinación de la dirección se forman características direccionales por medio de las cuales se realiza una marcación a través de una de sus direcciones de recepción principales que apuntan en direcciones adyacentes diferentes cuando la intensidad, es decir la amplitud o el nivel, de la señal de grupo asociada se sitúa por encima de un umbral predeterminable y el ruido recibido es significativamente mayor que el ruido ambiente. Las señales de recepción recibidas con banda ancha por un grupo predeterminable o por todos los transductores de una antena de recepción son sumadas en fase con un retardo de tiempo de propagación o con compensación de fase para formar una señal de grupo, dependiendo de su posición con respecto a una línea de referencia, cuya característica direccional asociada con su dirección de recepción principal transversal a la línea de referencia indica un ángulo de marcación. Para ello, las amplitudes o los niveles o en general las intensidades de las señales de grupo son mostradas por el ángulo de marcación. En virtud de estas intensidades de las señales de grupo, por medio de un algoritmo de detección adecuado es detectada una marcación a un objetivo o varias marcaciones a varios objetivos. Esta indicación es actualizada continuamente de un ciclo de reloj al siguiente. Cuando el objetivo cambia su curso respecto a la instalación de determinación de la dirección, la marcación al objetivo cambia. En este caso, si el objetivo se acerca a la instalación de determinación de la dirección, aumenta la intensidad de la señal de grupo. Si el objetivo se aleja de la instalación de determinación de la dirección, se reduce la intensidad de la señal del grupo hasta que se pierde en el ruido ambiente.

40 Una traza de marcación se forma con el tiempo mostrando las señales de grupo en función del ángulo de marcación en gráficas de intensidad sucesivas—siguiendo el perfil angular de las señales de grupo —y puesto que la intensidad de esta traza de marcación es mayor que las intensidades de las señales de grupo circundantes, esta traza de marcación destaca en las gráficas de intensidad. Esta traza de marcación es marcada entonces manualmente por un rastreador, es decir con una marca o marcación para seguir el objetivo asociado a través de sus marcaciones a lo largo del tiempo. El rastreo del objetivo se termina manualmente y el rastreador asociado es suprimido cuando el operario ya no puede reconocer un máximo pronunciado en la gráfica dependiente del ángulo de las intensidades de las señales de grupo.

50 La invención se propone el objeto de indicar un procedimiento de determinación de la dirección, así como una instalación de determinación de la dirección para detectar y rastrear ángulos de marcación sucesivos, es decir que detecte el objetivo o los objetivos, disponga y cancele los rastreadores, automáticamente.

Este objeto se lleva a cabo según la invención por las características de la reivindicación 1 ó 14. Es posible automatizar la detección de ángulos de marcación y el marcado de una traza de marcación por la predicción según la invención de un ángulo de marcación y, eventualmente de una intensidad, en particular una amplitud o nivel, de una traza de marcación y su asignación a un ángulo de marcación medido y, eventualmente a una intensidad correspondiente. De hecho, es suficiente realizar esta predicción sólo para el ángulo de marcación. No obstante, la predicción puede ser realizada adicionalmente también para la intensidad. El ángulo de marcación estimado y/o la intensidad estimada son mostrados ventajosamente.

60 Las trazas de marcación a lo largo del tiempo presentan un curso que en general corresponde esencialmente a una función arcotangente. Según la invención estas trazas de marcación son aproximadas por fragmentos de recta, de modo que en cada caso un fragmento del curso es predicho por un valor inicial, concretamente el ángulo de marcación asociado a la traza de marcación determinada en último lugar y la pendiente del fragmento hasta la siguiente medición del ángulo de marcación en un vector de estado y un ángulo de marcación siguiente y, eventualmente una intensidad siguiente, sobre la traza de marcación son predichas a partir de esto con un error de estimación que tiene en cuenta un error de traza asociado al ángulo de marcación determinado en último lugar y, eventualmente a la intensidad determinada en último lugar. Puesto que los ángulos de marcación medidos, así como eventualmente las

intensidades medidas, están sujetos a errores de medición, la aproximación según la invención se basa igualmente en un proceso de ruido.

5 A continuación se determina una probabilidad de asociación con la que un ángulo de marcación medido y, eventualmente una intensidad medida, pueden ser asociados a una de las trazas de marcación. En función de una probabilidad de asociación determinada son estimados un ángulo marcación medido y, eventualmente una intensidad medida, junto con un ángulo de marcación predicho y eventualmente una intensidad predicha para un ángulo de marcación estimado y, eventualmente una intensidad estimada, por medio de un filtro de estimación, en particular un filtro de Kalman. No obstante, también una traza de marcación puede ser asociada a varios ángulos de marcación medidos durante un ciclo de reloj y, eventualmente a varias intensidades medidas durante el mismo ciclo de reloj. Los valores respectivos estimados por estas asociaciones (valores estimados) para el ángulo de marcación y la tasa de marcación, así como eventualmente para la intensidad y la tasa de intensidad, son después sumados de forma ponderada. El valor o valores determinados de esta forma, es decir para el caso en el que varios valores medidos para una traza de marcación son asociados, los valores de la suma ponderada, son asociados después al vector de estado de traza de la traza de marcación en cuestión o en caso de una asociación a varias trazas de marcación, a los vectores de estado de traza de las trazas de marcación en cuestión. Los valores así obtenidos para un ángulo de marcación estimado y eventualmente una intensidad estimada, son usados junto con la tasa de marcación estimada y, eventualmente la tasa de intensidad, como variables de partida del vector de estado predicho en el siguiente ciclo de reloj para la traza de marcación en cuestión. Las trazas de marcación así formadas se muestran como función de una calidad de traza.

En cuanto al procedimiento de determinación de la dirección según la invención, la predicción puede referirse al ángulo de marcación o al ángulo de marcación y a la intensidad. Para todas las predicciones se emplea el mismo algoritmo de predicción que se basa en la aproximación de un curso en el tiempo de una traza de marcación con fragmentos de recta como modelo dinámico de movimiento del objetivo.

Una ventaja de la invención es la inicialización, extracción, confirmación, y supresión de trazas de marcación automatizadas sin intervención de operario. Otra ventaja del procedimiento de determinación de la dirección según la invención consiste en que incluso un perfil probablemente curvo de una traza de marcación puede también ser aproximado por segmentos de recta debido a la densidad de los ángulos de marcación medidos a lo largo del tiempo. Esto es válido incluso cuando el ángulo de marcación a un objetivo que se mueve en un curso constante y con una velocidad constante con respecto a la instalación de determinación de la dirección, no cambia una tasa de marcación constante para un intervalo de movimiento constante del objetivo. La estructuración de las varianzas del modelo y la intensidad del ruido del proceso tienen como resultado una aproximación que tiene en cuenta este comportamiento del ángulo de marcación.

En un perfeccionamiento ventajoso del procedimiento de determinación de la dirección según la invención se investiga la calidad con la que el ángulo de marcación medido y, eventualmente la intensidad medida, se ajustan a la traza de marcación estimada y si el ángulo de marcación estimado en último lugar puede ser mostrado como prolongación de la traza de marcación anterior. Teniendo en cuenta una densidad preestablecida para nuevas trazas de marcación en el panorama azimutal o en el sector azimutal, y una densidad preestablecida de alarmas falsas, es determinada una calidad de traza para cada traza de marcación junto con la probabilidad de asociación. Esta calidad de traza es sumada a través de un número predeterminable de ciclos de reloj y tiene en cuenta toda la historia de la traza de marcación o una parte de la historia de la misma. La calidad de traza calculada actualmente en cada caso es comparada con dos límites para con el ángulo de marcación iniciar o confirmar una nueva traza de marcación provisional y confirmar o suprimir una traza de marcación existente. Si no hay valor medido, la estimación más reciente es continuada por predicción y la calidad de traza disminuye. Medidas superfluas con las que no pueden ser asociadas trazas de marcación son valoradas como el inicio de una nueva traza de marcación. Los límites son definidos por probabilidades predeterminables para la confirmación de una traza de marcación falsa o la supresión de una traza de marcación verdadera. Las trazas de marcación determinadas en último lugar y sus valoraciones son conducidas a una lista de trazas de marcación y se representan en una pantalla correspondiendo a la calidad de traza. Estas trazas de marcación confirmadas pueden ser marcadas por ejemplo por un color y pueden así ser asociadas a un objetivo.

En un perfeccionamiento ventajoso del procedimiento de determinación de la dirección según la invención, el ángulo de marcación y, eventualmente la intensidad de traza, son determinados a partir del ángulo de marcación predicho y, eventualmente de la intensidad predicha, más la diferencia del ángulo de marcación medido y el predicho y, eventualmente la intensidad medida y predicha, teniendo en cuenta el error de estimación y el error de medición. Resulta así que el ángulo de marcación se ajusta mejor a la traza de marcación estimada cuanto menos difieran el ángulo de marcación medido y, eventualmente la intensidad medida, del ángulo de marcación estimado y la intensidad estimada, respectivamente, y menor sea el error de estimación.

Para pronosticar el siguiente vector de estado predicho, de acuerdo con un perfeccionamiento ventajoso del procedimiento de determinación de la dirección según la invención, la tasa de marcación determinada a partir de la traza de marcación estimada anteriormente y, eventualmente la tasa de intensidad o pendiente de la traza de marcación con respecto a su perfil angular, y eventualmente su intensidad, para el ángulo de marcación determinado en último

lugar y eventualmente la intensidad de traza determinada en último lugar son multiplicadas por el intervalo de tiempo y son sumadas.

Según otro perfeccionamiento ventajoso de la invención, el error de estimación es determinado en función del error de traza determinado en último lugar, las varianzas del modelo y la varianza en la tasa de variación de la tasa de marcación y eventualmente la tasa de intensidad y la covarianza entre el ángulo de marcación y, eventualmente la intensidad, y sus tasas de variación. El error de estimación se hace mayor cuanto mayores sean predeterminadas las varianzas del modelo y mayor sea la magnitud en que la pendiente estimada difiera de la pendiente determinada anteriormente. Si se incrementan las varianzas del modelo, es posible asociar la traza de marcación estimada incluso con ángulos de marcación medidos que se dispersen ampliamente y la traza de marcación no es terminada inmediatamente en el caso de "valores medidos escapados" cuando por ejemplo la razón señal/ruido de la intensidad fluctúa en una mayor medida y ya no se recibe una señal de grupo significativa, por ejemplo debido a variaciones en el comportamiento de transmisión en la trayectoria de propagación de las ondas sonoras entre el objetivo y la instalación de determinación de la dirección.

La ventaja de un perfeccionamiento del procedimiento de determinación de la dirección según la invención consiste en que la seguridad de la indicación de trazas de marcación puede ser variada por el límite superior de la calidad de la traza. Si la probabilidad de confirmación de una traza de marcación falsa se disminuye, el límite superior se eleva y el número de trazas de marcación confirmadas se reduce. Esto hace posible suprimir trazas de marcación que se produzcan por recepción de ondas sonoras vía lóbulos laterales de la característica direccional. Las trazas de marcación desde posiciones detrás de la embarcación que lleva la instalación de determinación de la dirección provocadas por la incidencia del sonido de una hélice de propulsión son igualmente suprimidas.

Para determinar la calidad de una traza de marcación estimada con un ángulo de marcación predicho y, eventualmente una intensidad predicha, es determinada la distancia estadística normalizada entre cada uno de los ángulos de marcación medidos y, eventualmente valores de intensidad, y cada valor de ángulo de marcación e intensidad predichos y es una medida de la probabilidad de asociación del ángulo de marcación o valor de intensidad medidos respecto a la traza de marcación estimada. El cuadrado de la diferencia entre el ángulo de marcación y/o valor de intensidad medidos y predichos, así como la suma de los errores asociados que comprenden errores de medición y errores de estimación, son incluidos en la determinación de la distancia estadística normalizada al cuadrado, siendo la probabilidad mayor cuanto menor sea la diferencia de los valores del ángulo de marcación o valores de intensidad y cuando mayores se predeterminen las varianzas del modelo y las desviaciones permitidas de la pendiente predicha y por tanto las desviaciones de la traza de marcación estimada sean toleradas.

Para reducir la capacidad de cálculo requerida según otro perfeccionamiento ventajoso del procedimiento de determinación de la dirección según la invención es introducido un valor de puerta por medio del cual son suprimidos pares cuya probabilidad de asociación se sitúan por debajo de un valor predeterminable.

Es importante la calidad con la que el ángulo de marcación medido es introducido en las trazas de marcación estimadas anteriormente. Para ello, a partir de la probabilidad de asociación es determinada una calidad de traza con ayuda de un cociente de probabilidad logarítmico. El cociente de probabilidad es conocido de la técnica de radares para rastros de posiciones de objetivo y está descrito, por ejemplo, en el capítulo 6 del libro "Design and Analysis of Modern Tracking Systems" de Samuel Blackman y Robert Popoli, Artec House, Boston, Londres, 1999. Sin embargo, en las instalaciones de sonar pasivas no pueden ser rastreadas posiciones de objetivo puesto que sólo son medidos ángulos de marcación y la distancia entre la instalación de determinación de la dirección y el objetivo no es conocida. El procedimiento de determinación de la dirección-rastreo según la invención se basa en el seguimiento de ángulos de marcación que forman una traza de marcación, cuando corresponden a uno y el mismo objetivo. Los ángulos de marcación y, eventualmente las intensidades de traza, son estimados usando los ángulos de marcación y, eventualmente las intensidades predichas y las tasas de marcación y, eventualmente las tasas de intensidad junto con los ángulos de marcación y, eventualmente las intensidades medidas, y a partir de ello se determinan y muestran las trazas de marcación.

Para determinar la calidad de las trazas de marcación es prefijada una probabilidad de detección P_D para un ángulo de marcación real nuevo en la distancia angular entre las direcciones de recepción principales de características direccionales adyacentes, por ejemplo correspondiente a una densidad empírica de ángulos de marcación recientemente detectados en cada ciclo de reloj en todo el panorama azimutal o en el sector azimutal, es convertido a forma logarítmica y un incremento de calidad para la traza de marcación es sumada en cada ciclo de reloj. El incremento de calidad contiene la razón, en forma logarítmica, entre la probabilidad de detección y la probabilidad de falsa alarma prefijada que, por ejemplo, es determinada a partir de una densidad empírica de alarmas falsas en el panorama azimutal o sector azimutal para un ángulo de marcación en la distancia angular entre las direcciones de recepción principales. Teniendo en cuenta la suma de los errores de medición y los errores de estimación, este logaritmo forma un primer término del incremento de calidad, del que es restado la mitad del cuadrado de la distancia estadística normalizada entre los ángulos de marcación medidos y predichos para cada traza de marcación en cada ciclo de reloj. Todos o un número predeterminable de los incrementos de calidad determinados en último lugar que pertenecen a la misma traza de marcación, forman la calidad de traza.

Las ventajas de la realización de aparatos de la invención con una instalación de determinación de la dirección corresponden a aquellas que han sido mencionadas en relación con el procedimiento de determinación de la dirección según la invención. Pueden ser usados aquí diferentes sensores de determinación de la dirección, comprendiendo cada uno una antena de recepción y un formador de haz. La antena de recepción está diseñada para diferentes rangos de frecuencias de recepción y comprende, por ejemplo, una base cilíndrica, una antena lateral, una antena remolcada, una llamada "Conformal Array" o disposición conforme de transductores o una matriz plana o disposición de transductores planos, así como sus algoritmos de procesamiento de señal dispuestos a continuación, como está indicado en el documento DE 10 2007 019 445. Las señales de grupo del formador de haz son evaluadas en la instalación de determinación de la dirección según la invención y son usados para rastrear objetivos siguiendo sus trazas de marcación.

Especialmente ventajoso para el procesamiento de señal según la invención es usar un filtro de Kalman para modelizar la aproximación lineal de la traza de marcación, la predicción del ángulo de marcación y, eventualmente la intensidad, a partir de los ángulos de intensidad y, eventualmente intensidades de traza, calculados en último lugar y sus errores de estimación, así como para la determinación del ángulo de marcación instantáneo y el error de traza. La probabilidad de asociación de un ángulo de marcación medido y un ángulo de marcación predicho, por pares, es determinada en una etapa de cálculo de la distancia teniendo en cuenta los errores de medición y los errores de estimación usando el método "Global nearest neighbor method" (método GNN) o método para la determinación del vecino global más próximo). Este método del vecino global más próximo está descrito en el documento DE 10 2007 019 445 para la comprobación de la asociación de trazas de marcación que son producidas por diferentes sectores en una instalación de determinación de la dirección. La ventaja consiste en particular en que la asociación más probable es encontrada fácilmente por medio de la matriz de costes allí indicada usando el método JVC (Jonker, Volgenant, Castañón). La distancia estadística normalizada al cuadrado entre un ángulo de marcación medido y un ángulo de marcación predicho es obtenida a la salida de la etapa de cálculo de la distancia.

La probabilidad de asociación de un ángulo de marcación medido a una traza de marcación estimada correspondiente a su distancia estadística normalizada al cuadrado a la salida de la etapa de cálculo de la distancia es usada en un calculador de calidad de traza para determinar una calidad de traza en una etapa de cálculo posterior determinando el cociente de probabilidad de cada traza de marcación. Esta calidad de traza es comparada en una disposición de comparación de límites del calculador de calidad de traza con un límite superior y un límite inferior. Si la calidad de traza está por encima de un límite superior, que es determinado por probabilidades predeterminadas para la confirmación de una traza de marcación falsa o la supresión de una traza de marcación verdadera, la traza de marcación tiene una alta calidad y si es menor que un límite inferior, que es formado a partir de las mismas probabilidades, la traza de marcación es suprimida. Si la calidad de la traza está entre los límites, entonces la traza de marcación estimada provisional es o bien confirmada por otras mediciones y la calidad de la traza crece por encima del límite superior y la traza de marcación se convierte en una traza de marcación confirmada o no es confirmada y la calidad de la traza decrece hasta que cae por debajo del límite superior y la traza de marcación provisional es suprimida. Es igualmente posible mostrar y marcar toda la longitud de una traza de marcación provisional cuya calidad de traza esté por encima del límite superior T_2 en el último ciclo de reloj, de manera que estos ángulos de marcación, que ya se han producido, pueden ser sumados de acuerdo con un análisis de movimiento de objetivo, por ejemplo para una determinación pasiva de la distancia al objetivo, como está indicado por ejemplo en el documento DE 10 2007 019 445. Para ello, la disposición de comparación de límites a la salida del calculador de calidad de traza está unida al registrador de trazas de marcación en el que son registrados los ángulos de marcación de cada traza de marcación a la salida del filtro de Kalman, junto con la calidad de traza. La salida de la disposición de comparación de límites controla igualmente un puerto que está previsto entre el registrador y una pantalla para mostrar los ángulos de marcación confirmados como continuación de la traza de marcación asociada en una gráfica de intensidad, en cada ciclo de reloj.

Otras formas de realización ventajosas del procedimiento de determinación de la dirección según la invención y de la instalación de determinación de la dirección según la invención resultan de las reivindicaciones subordinadas, así como de los ejemplos de realización que serán explicados con más detalle con referencia al dibujo. En el dibujo muestran:

Fig. 1, un diagrama marcación/tiempo con una traza de marcación;

Fig. 2, un diagrama de bloques de una instalación de determinación de la dirección;

Fig. 3, el curso de una calidad de traza a lo largo del tiempo;

Fig. 4, un diagrama de bloques para la explicación del flujo de datos en un segundo ejemplo de realización de la invención de acuerdo con un procedimiento de rastreo con múltiples hipótesis, y

Fig. 5, un diagrama para explicar el flujo de datos en el bloque designado por MHT de la Fig. 4.

La Fig. 1 muestra un diagrama marcación-tiempo, en el que la marcación Θ representada a lo largo del eje horizontal se muestra respecto al tiempo representado en el eje vertical. Este diagrama muestra un fragmento TS de una

traza de marcación n.º 1 estimada hasta el instante $t = k-1$ que es obtenida por predicción del ángulo de marcación para el instante $t = k$. Para ello, empezando por un ángulo de marcación $\Theta(k-1)$ para el instante $t = k-1$ en la traza de marcación n.º 1 se predice un ángulo de marcación $\Theta^{pre}(k/k-1)$ para el instante $t = k$ basándose en datos de medición del pasado hasta el instante $t = k-1$. El fragmento TS presenta un curso lineal a lo largo del tiempo. La tasa de marcación o pendiente de la traza de marcación $\dot{\Theta}(k-1)$ para el instante $t = k-1$ es determinada por análisis de regresión a partir de la secuencia de mediciones asociadas hasta el instante $t = k-1$ con una desviación típica $\sigma_{\dot{\Theta}}(k-1)$. Los dos ángulos de marcación $\Theta_1^{mess}(k)$ y $\Theta_2^{mess}(k)$ medidos en $t = k$ son comprobados usando el ángulo de marcación predicho $\Theta_1^{pre}(k/k-1)$ para la asociación por pares con la traza de marcación n.º 1. El primer ángulo de marcación medido Θ_1^{mess} está situado a la distancia $a = \Theta_1^{mess}(k) - \Theta_1^{pre}(k/k-1)$, el segundo ángulo de marcación medido $\Theta_2^{mess}(k)$ está situado a distancia $b = \Theta_2^{mess}(k) - \Theta^{pre}(k/k-1)$ del ángulo de marcación predicho $\Theta^{pre}(k/k-1)$. En primer lugar son determinadas las probabilidades de posible asociación de cada ángulo de marcación medido respecto al predicho por medio de las distancias a y b y los errores de medición y estimación con la ayuda de la distancia estadística normalizada al cuadrado. En el ejemplo representado esta distancia es menor para el par formado por el ángulo de marcación medido $\Theta_1^{mess}(k)$ y el ángulo de marcación predicho $\Theta^{pre}(k/k-1)$ que para el par formado por el ángulo de marcación medido $\Theta_2^{mess}(k)$ y $\Theta^{pre}(k/k-1)$. Por tanto, la probabilidad de asociación del ángulo de marcación medido $\Theta_1^{mess}(k)$ con la traza de marcación n.º 1 es máxima, por lo que el ángulo de marcación medido $\Theta_1^{mess}(k)$ es asociado a la traza de marcación n.º 1. Acto seguido, por medio de un filtro de estimación es estimado un ángulo de marcación $\hat{\Theta}(k/k)$ para el instante $t = k$ a partir de esta asociación, es decir teniendo en cuenta el ángulo de marcación medido $\Theta_1^{mess}(k)$ y el ángulo de marcación predicho $\Theta^{pre}(k/k-1)$. Este filtro de estimación está realizado, por ejemplo, como filtro de Kalman que realiza también la predicción mencionada antes. Partiendo de este ángulo de marcación estimado $\hat{\Theta}(k)$ es predicho el siguiente ángulo de marcación $\Theta^{pre}(k+1/k)$ después de otro ciclo de reloj T para el instante $t = k+1$ para la traza de marcación n.º 1. Este proceso está ilustrado en un diagrama de bloques posterior.

La Fig. 2 muestra un diagrama de bloques de una instalación de determinación de la dirección. Con la antena de recepción cilíndrica 1 se forman las características direccionales en las direcciones de recepción principales I, II, III... que presentan una distancia angular $\Delta\Theta$ entre sí. Las señales de recepción de los transductores electroacústicos 2.1 a 2.n son sumadas en fase, respectivamente, en un formador de haz 3 después de un retardo de tiempo de propagación determinado por las distancias entre cada transductor 2.1 a 2.n y una línea de referencia B para formar señales de grupo de las características direccionales, y, dependiendo de la característica direccional, producen una amplitud a^{mess} y un ángulo de marcación Θ^{mess} . En lugar de la amplitud es posible también emplear un nivel correspondiente o en general la intensidad de la señal. La amplitud medida y el ángulo de marcación medido constituyen elementos de un vector de medición. Las gráficas de intensidad (amplitud o nivel) de las señales de grupo de características direccionales adyacentes se muestran en la pantalla 4 cada ciclo de reloj en función de su dirección de recepción principal como ángulos de marcación Θ para la detección de ángulos de marcación que indican la dirección a los objetivos emisores de sonido y para el seguimiento en el tiempo de los ángulos de marcación del mismo objetivo. Las intensidades sucesivas sobre el mismo ángulo de marcación identifican la traza de marcación de un objetivo (traza de objetivo) que se está acercando al rayo de marcación de la instalación de determinación de la dirección o se aleja de la instalación de determinación de la dirección. Las intensidades sucesivas de un objetivo que pasa muestran como traza de marcación un curso de arcotangente a través del ángulo de marcación, cambiando poco el ángulo de marcación a lo largo del tiempo cuando el objetivo está muy alejado y, por tanto, la tasa de marcación $\dot{\Theta}$ es pequeña. Cuando el objetivo pasa, la tasa de marcación $\dot{\Theta}$ presenta un gran valor y cuando el objetivo se aleja otra vez adopta un valor inferior casi constante. Hasta $t = k-1$, la tasa de marcación n.º 1 muestra un ángulo de marcación casi constante y la tasa de marcación $\dot{\Theta}$ es muy pequeña. Posteriormente, el ángulo de marcación $\hat{\Theta}$ cambia y la tasa de marcación $\dot{\Theta}$ adopta otro valor. La traza de marcación n.º 2 mostrada no empieza hasta $t = k$ porque en ese momento fue detectado un objetivo. La tasa de marcación n.º 3 termina en $t = k-2$ puesto que la traza de marcación fue suprimida en ese momento.

Con el procedimiento de determinación de la dirección según la invención y la instalación de determinación de la dirección según la invención son predichos los ángulos de marcación de estas trazas de marcación con la suposición del modelo de que los fragmentos de las trazas de marcación son líneas rectas y su pendiente es constante por tramos, es decir la tasa de marcación es constante. La predicción se realiza por la estimación de un vector de estado con un error de estimación que es predeterminado por las varianzas del modelo $\sigma_{\Theta,proz}^2, \sigma_{\dot{\Theta},proz}^2$ y $\sigma_{a,proz}^2, \sigma_{\dot{a},proz}^2$ en una matriz de covarianzas Q en un filtro de Kalman 5. La rigidez del filtro es ajustada por medio de la potencia pre-

establecida o ajustable q con q_Θ para el ángulo de marcación y q_a para la amplitud de un proceso de ruido. La matriz de covarianzas Q es por tanto:

$$Q = \begin{bmatrix} f_1(T)_{q_\Theta} & f_2(T)_{q_\Theta} & 0 & 0 \\ f_2(T)_{q_\Theta} & f_3(T)_{q_\Theta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & f_1(T)_{q_a} & f_2(T)_{q_a} \\ & & f_2(T)_{q_a} & f_3(T)_{q_a} \end{bmatrix}$$

5

$$= \begin{bmatrix} \sigma_{\Theta,proz}^2 & \sigma_{\Theta\dot{\Theta},proz}^2 & 0 & 0 \\ \sigma_{\Theta\dot{\Theta},proz}^2 & \sigma_{\dot{\Theta},proz}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{a,proz}^2 & \sigma_{a\dot{a},proz}^2 \\ 0 & 0 & \sigma_{a\dot{a},proz}^2 & \sigma_{\dot{a},proz}^2 \end{bmatrix}$$

con $f_1(T) = \frac{T^3}{3}$ $f_3(T) = T$ $f_2(T) = \frac{T^2}{3}$

10 En una parte de predicción 5.1 del filtro de Kalman 5 es predicho un vector de estado $x^{pre}(k/k-1)$ para el tiempo instantáneo relativo al instante $t = k$ partiendo del vector de estado de traza $\hat{x}(k-1/k-1)$ con sus elementos de ángulos de marcación estimados $\hat{\Theta}(k-1/k-1)$ y amplitud de traza estimada $\hat{a}(k-1/k-1)$, así como sus tasas de variación en el momento actual para el instante $t = k-1$ como:

$$x^{pre}(k/k-1) = \begin{bmatrix} \Theta^{pre}(k/k-1) \\ \dot{\Theta}^{pre}(k/k-1) \\ a^{pre}(k/k-1) \\ \dot{a}^{pre}(k/k-1) \end{bmatrix} = F \cdot x(k-1/k-1)$$

15 con el ángulo de marcación predicho:

$$\Theta^{pre}(k/k-1) = \hat{\Theta}(k-1/k-1) + \dot{\hat{\Theta}}(k-1/k-1) \cdot T$$

y la tasa de ángulo de marcación predicha

$$\dot{\Theta}^{pre}(k/k-1) = \dot{\hat{\Theta}}(k-1/k-1)$$

y la amplitud predicha

20 $a^{pre}(k/k-1) = \hat{a}(k-1/k-1) + \dot{\hat{a}}(k-1/k-1) \cdot T$

y su derivada respecto al tiempo predicha denominada tasa de amplitud

$$\dot{a}^{pre}(k/k-1) = \dot{\hat{a}}(k-1/k-1),$$

que tiene en cuenta la modelización del fragmento con una matriz de covarianzas del error de estimación:

$$P^{pre}(k/k-1) = F \cdot P(k-1/k-1) F^T + Q \text{ con}$$

25
$$F = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

como matriz de transición para el proceso dinámico de la modelización.

Los errores de medición típicos de la instalación σ_{Θ}^{mess} , σ_a^{mess} son determinados para el vector de medición:

$$z^{mess}(k) = \begin{bmatrix} \Theta^{mess}(k) \\ a^{mess}(k) \end{bmatrix}$$

30 a la salida del formador de haz 3 que contiene todos los ángulos de marcación $\Theta^{mess}(k)$ y amplitudes $a^{mess}(k)$ medidos para el instante $t = k$, siendo dichos errores de medición examinados junto con el ángulo de marcación predicho $\Theta^{pres}(k/k-1)$ y la amplitud predicha $a^{pre}(k/k-1)$ y el error de estimación respectivo $P^{pre}(k/k-1)$ en una etapa de cálculo de la distancia 6 para la probabilidad de su asociación por pares con una traza de marcación predicha. Para ello, una distancia estadística normalizada al cuadrado d_1^2

35
$$d_1^2(k/k-1) = y^T(k/k-1) S^{-1}(k/k-1) y(k/k-1) \text{ con}$$

$$y(k/k-1) = z(k) - H\hat{x}^{pre}(k/k-1)$$

es determinada entre todos los pares de ángulos de marcación y amplitudes, estando referidas la suma de la diferencia de ángulos de marcación al cuadrado y la diferencia de amplitudes al cuadrado y a la suma de errores

$S(k/k-1)$ de errores de medición R y el error de estimación predicho $P^{pre}(k/k-1)$ de $t = k-1$ a $t = k$ y la probabilidad

5 de asociación es máxima cuando la distancia estadística normalizada al cuadrado d_1^2 es mínima. El algoritmo de asociación allí empleado es conocido como método GNN y está descrito en el documento DE 10 2007 019 445 usando un cálculo de matriz de costes.

La etapa de cálculo de la distancia 6 está seguida por un circuito de puerta 7 por medio del cual son suprimidos

10 pares con una probabilidad de asociación excesivamente baja. Para ello la distancia estadística normalizada d_1^2 es comparada con un valor de puerta G :

$$G = 2 \ln \frac{P_D \cdot \Delta\Theta}{(1 - P_D)(2\pi)^{M/2} P_{FA} \sqrt{|S|}}$$

que tiene en cuenta la suma S de los errores de medición y los errores de estimación. Aquí, M designa la dimensionalidad del vector de medición que en caso de que sea usada exclusivamente la marcación es 1, cuando son usadas la marcación y la intensidad es 2 y cuando se usa la marcación, la intensidad y la frecuencia es 3. Además para

15 predefinir el valor de puerta G es elegida además una probabilidad de detección P_D de un objetivo con una característica direccional a partir de una densidad esperada β_{NT} de ángulos de marcación recientemente detectados en cada intervalo de tiempo T en el panorama azimutal o sector azimutal de la instalación de determinación de la dirección y una probabilidad de falsa alarma P_{FA} es seleccionada a partir de la densidad esperada β_{FT} de falsas alarmas

20 teniendo en cuenta la distancia angular $\Delta\Theta$ entre las direcciones de recepción principales de dos características direccionales adyacentes. Esto también se aplica a las amplitudes.

Los pares formados por el vector de medición $z^{mess}(k)$, el vector de estado predicho $x^{pre}(k/k-1)$ y sus errores son

25 suministrados por medio de una etapa de asociación de datos de medición posterior a una etapa de filtrado 5.2 en el filtro de Kalman 5.

En la etapa de filtrado 5.2 es determinado el vector de estado de traza $\hat{x}(k/k)$ para el instante $t = k$ para cada traza de marcación a partir del vector de estado predicho $x^{pre}(k/k-1)$ y su error de estimación $P^{pre}(k/k-1)$ y los valores

medidos $z^{mess}(k)$ y una matriz de covarianzas de medición R

$$30 \quad \hat{x}(k/k) = x^{pre}(k/k-1) + K(k)[z(k) - Hx^{pre}(k/k-1)]$$

con la matriz de medición

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

y la matriz

$$K(k) = P^{pre}(k/k-1)H^T [H \cdot P^{pre}(k/k-1)H^T + R]^{-1}$$

35 así como la matriz de covarianzas del error de traza

$$\hat{P}(k/k) = [I - K(k)H]P^{pre}(k/k-1)[I - K(k)H]^T + K(k)R K(k)^T$$

siendo I la matriz unidad.

Este vector de estado de traza $\hat{x}(k/k)$ constituye la base para la predicción del siguiente vector de estado

40 $x^{pre}(k/k+1)$ y del error de estimación $P^{pre}(k/k+1)$ para el instante $t = k+1$.

Un calculador de calidad de traza 9 comprende una etapa de cálculo 11 para determinar una calidad de traza L a partir de un cociente de probabilidad logarítmico y un dispositivo de comparación de límites 12 para comprobar la

45 calidad de traza L para determinar si la traza de marcación asociada está confirmada y es mostrada por el ángulo de marcación $\Theta(k)$ y la amplitud de traza $a(k)$, o si debería ser seguir siendo comprobada o suprimida. La etapa de cálculo 11 está unida por el lado de entrada a la salida de la etapa de filtro 5.2 del filtro de kalman 5 y recibe el vector de estado filtrado o estimado $\hat{x}(k/k)$ y la matriz de covarianzas $\hat{P}(k/k)$ como variables de entrada las covarianzas medidas σ_{Θ}^{2mess} , σ_a^{2mess} y el error de estimación al cuadrado $\sigma_{\Theta}^2(k/k-1)$, $\sigma_a^2(k/k-1)$.

50 En la etapa de cálculo 11 se determina la calidad de traza actual

$$L(k) = L(k-1) + \Delta L$$

a partir de la calidad de traza del ciclo de reloj anterior y un incremento de calidad ΔL para la asociación del ángulo de marcación medido a la traza de marcación en cuestión, siendo calculado este incremento de calidad ΔL de la siguiente forma:

$$\Delta L = \ln \frac{P_D \cdot \Delta \Theta}{P_{FA} \sqrt{|S|}} - \frac{d^2(k/k-1) + M \cdot \ln 2\pi}{2}$$

5 el cual es determinado para cada ciclo de reloj T a partir de la distancia estadística normalizada al cuadrado d_1^2 a la salida de la etapa de cálculo de la distancia 6 y la raíz cuadrada de la suma de la varianza de medición σ^{2mess} y las varianzas de estimación $\sigma_{\theta}^2(k/k-1)$ y $\sigma_a^2(k/k-1)$. Como se explicó antes, M denota en este caso la dimensionalidad del vector de medición. La calidad de traza L es aumentada o disminuida por el incremento de calidad ΔL asociado en cada ciclo de reloj.

10 Un límite inferior T_1

$$T_1 = \ln \left(\frac{\beta}{1-\alpha} \right)$$

y un límite superior

$$T_2 = \ln \left(\frac{1-\beta}{\alpha} \right)$$

15 son definidos en la disposición de comparación de límites 12 a partir de una probabilidad predeterminada α para la confirmación de una traza de marcación falsa y una probabilidad predeterminada β para la supresión de una traza de marcación verdadera y la calidad de traza L es comparada con estos límites,

20 Si se sobrepasa el límite superior T_2 , una traza de marcación provisional es confirmada y mostrada; si es pasado por debajo el límite inferior T_1 , es suprimida una traza de marcación provisional. Las trazas de marcación provisionales cuyas calidades estén entre estos límites son almacenadas hasta que sobrepasen el límite superior o caigan por debajo del límite inferior. Cada medición que no pueda ser asociada es clasificada como el inicio de una traza de marcación. Si la calidad de traza de una traza de marcación confirmada disminuye debido a la falta de mediciones, la traza de marcación es suprimida cuando la calidad de traza ha caído por debajo de un valor predeterminado.

25 La probabilidad α está basada en el conocimiento de la tasa de alarmas falsas por segundo y el número medio deseado de confirmaciones de trazas de marcación falsas por segundo, y es menor cuantas menos trazas de marcación falsas sean permitidas. Por tanto, el límite superior T_2 es alto cuando la probabilidad α es baja, es decir, cuando sólo son permitidas pocas trazas de marcación falsas.

30 Las calidades de traza producidas a la salida del calculador de calidad de traza 9, así como los valores, estimados por medio de la etapa de filtrado 5.2 del filtro de Kalman 5, suministradas al calculador de calidad de traza 9 y producidas en su salida para el ángulo de marcación y la amplitud de traza son almacenadas para cada traza de marcación en un registro 13 y transmitidas vía un puerto 14 a la pantalla 4 donde son mostradas con una marca cuando la calidad de traza está por encima del límite superior T_2 . Es igualmente posible mostrar y marcar toda la longitud de una traza de marcación provisional cuya calidad de traza en el último ciclo de reloj sobrepase el límite superior T_2 , de manera que estos ángulos de marcación que se produjeron en el pasado puedan también ser usados por ejemplo para la determinación pasiva de la distancia al objetivo usando análisis de movimiento de objetivo, como está especificado por ejemplo en el documento DE 10 2007 019 445.

40 La Fig. 3 muestra un perfil típico de una calidad de traza L a lo largo del instante t. Se indican el límite inferior T_1 y el límite superior T_2 . La traza de marcación es suprimida cuando la calidad de traza L cae por debajo del límite T_1 . Las calidades de traza que están entre los límites indican trazas de marcación provisionales que son almacenadas como tales en el registro. Se muestran sólo cuando la calidad de traza asociada L excede el límite superior T_2 y constituyen a partir de ahí una traza de marcación confirmada.

45 La calidad de traza L de una traza de marcación provisional según la Fig. 3 cae hasta el instante t_1 y se acerca al umbral inferior T_1 , pero sin alcanzarlo y luego asciende de nuevo pero en primer lugar sin exceder el umbral T_2 . Mientras tanto es gestionada como una traza de marcación provisional. En el instante t_2 , la calidad de traza L excede el límite superior T_2 y la traza de marcación provisional se convierte en una traza de marcación confirmada. Cuando la calidad de traza L cae un valor predeterminado, por ejemplo empezando a partir del instante t_3 , por ejemplo por que el objetivo ya no puede ser detectado dentro de un periodo de tiempo, la traza es suprimida.

55 Para inicializar el procedimiento de determinación de la dirección según la invención o el dispositivo según la invención, se forman las primeras señales de grupo en el instante $t=1$, produciendo primeros vectores de medición $z(1)$ con m_1 ángulos de marcación medidos y, eventualmente amplitudes. Una traza de marcación provisional es iniciada para cada ángulo de marcación medido o amplitud medida y es determinado un vector de estado $\hat{x}(1)$ con:

$$\hat{\Theta}(1) = \Theta^{mess}(1) \text{ y } \hat{a}(1) = a^{mess}(1)$$

El error de estimación es predeterminado por:

$$\hat{P}(1) = P_0$$

5 La calidad de traza es $L(1) = 0$. El filtro de Kalman es iniciado usando estas variables de entrada.

En el instante $t = k$ son medidos m_k vectores de medición $z(k)$. Los vectores de estado:

$$x^{pre}(k/k-1) = \begin{bmatrix} \Theta^{pre}(k/k-1) \\ \dot{\Theta}^{pre}(k/k-1) \\ a^{pre}(k/k-1) \\ \dot{a}^{pre}(k/k-1) \end{bmatrix}$$

10 son predichos y la asociación por pares a las trazas de marcación actuales se encuentra en la etapa de cálculo de distancia δ , y éstas son procesadas en el filtro de Kalman 5, si la probabilidad es suficientemente alta. La calidad de traza L de cada traza de marcación es determinada en el calculador de calidad de traza 9 y las trazas de marcación provisionales son anotadas en el registro 13. Nuevas mediciones inician trazas de marcación provisionales. Las trazas de marcación provisionales se convierten en trazas de marcación confirmadas, o son suprimidas en función de las calidades de traza determinadas a lo largo del curso de los ciclos de reloj. Si no hay ninguna nueva medición para una traza de marcación predicha, entonces los vectores de estado determinados en último lugar y los errores de estado son predichos en el siguiente ciclo de reloj.

20 Según el procedimiento de determinación de la dirección descrito antes, se realiza un procedimiento de señal de banda ancha, en el que en cada detección es considerada esencialmente toda la energía sonora emitida a través de un rango de frecuencias amplio. La información que está contenida en las frecuencias de la energía sonora incidente ya no es por tanto considerada. Una detección se describe, por consiguiente, por un vector de medición que está limitado a un ángulo de marcación medido y una intensidad medida.

25 Sin embargo, alternativamente, se realiza el procesamiento de señal con banda estrecha, diferenciándose entre el procesamiento de señal llamado DEMON y el procesamiento de señal llamado LOFAR. En el caso del procesamiento de señal DEMON, toda la intensidad sonora registrada en un ciclo de reloj por dirección es examinada en cuanto a la presencia de una modulación de amplitud. Para todas las características direccionales son encontradas las posibles detecciones de objetivo a partir del espectro de modulación respectivo usando un algoritmo, comprendiendo una detección la marcación asociada al objetivo, una frecuencia de modulación y la intensidad de la línea de frecuencia.

35 En el llamado procesamiento de señal LOFAR, toda la intensidad sonora registrada en un ciclo de reloj por dirección es examinada en cuanto a las frecuencias que se producen. Un algoritmo encuentra posibles detecciones de objetivo para cada característica direccional, comprendiendo una detección la marcación al objetivo, la frecuencia y la intensidad de la línea de frecuencia correspondiente.

40 Además, la información de frecuencia puede ser considerada en el procesamiento de señal de banda estrecha. Para ello, una detección viene dada por un vector de medición que incluye una frecuencia, así como una marcación y una intensidad.

45 En consecuencia, el vector de estado de traza en el caso de procesamiento de señal de banda ancha comprende únicamente un ángulo de marcación, así como su derivada respecto al tiempo, a la que se hace referencia como tasa de marcación, y una intensidad, así como su derivada respecto al tiempo, a la que se hace referencia como tasa de intensidad. Por el contrario, el vector de estado de traza en el caso de procesamiento de señal de banda estrecha comprende adicionalmente una frecuencia, así como su derivada respecto al tiempo, a la que se hace referencia como tasa de frecuencia. En consecuencia, en el caso de un procesamiento de señal de banda estrecha, la matriz de covarianzas Q es completada con varianzas que están referidas a la frecuencia y a la tasa de frecuencia.

50 El procedimiento de determinación de la dirección que ha sido explicado antes con referencia las figuras 1 a 3 parte de que una detección o medición es asociada en cada caso sólo a una traza de marcación individual. A este método se hace también referencia, por tanto, como método de rastreo de hipótesis única, refiriéndose con hipótesis a la suposición de que una medición es asociada a una traza de marcación específica.

55 Alternativamente, sin embargo, la invención prevé también el uso del método de rastreo con múltiples hipótesis, en el que una medición es asociada normalmente a una pluralidad de trazas de objetivo.

La Fig. 4 muestra, en principio, el flujo de datos para un método de este tipo. Los datos de medición producidos por una instalación de sonar son leídos en el bloque 41, produciendo una lista de detecciones para cada ciclo de reloj,

dependiendo de si el procesamiento de señal se lleva a cabo con banda ancha o banda estrecha. En el caso de procesamiento de señal de banda ancha, se obtiene por tanto como resultado un vector de medición:

$$z_j(k) = \begin{bmatrix} \theta_j^{mess}(k) \\ a_j^{mess}(k) \end{bmatrix}$$

y en el caso de procesamiento de señal de banda estrecha, un vector de medición:

5

$$z_j(k) = \begin{bmatrix} \theta_j^{mess}(k) \\ v_j^{mess}(k) \\ a_j^{mess}(k) \end{bmatrix}$$

El índice j en este caso denota una medición obtenida en el tiempo $t = k$ de un total de $m(k)$ mediciones con $j = 1, \dots, m(k)$. Sin embargo, las detecciones obtenidas contienen también alarmas falsas, además de las detecciones de objetivo verdaderas, los datos de medición son preferiblemente leídos junto con el valor actual del propio curso por medio de un módulo de lectura de datos del bloque 41 de la instalación de sonar, resultando así las siguientes listas de $m(k)$ detecciones para el k-ésimo ciclo de reloj para el caso de procesamiento de señal banda ancha.

10

$$\begin{array}{l} 1: \quad \theta_1^{mess}(k) \quad a_1^{mess}(k) \\ 2: \quad \theta_2^{mess}(k) \quad a_2^{mess}(k) \\ \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ m(k): \quad \theta_{m(k)}^{mess}(k) \quad a_{m(k)}^{mess}(k) \end{array}$$

y para el caso del procesamiento de señal de banda estrecha

15

$$\begin{array}{l} 1: \quad \theta_1^{mess}(k) \quad v_1^{mess}(k) \quad a_1^{mess}(k) \\ 2: \quad \theta_2^{mess}(k) \quad v_2^{mess}(k) \quad a_2^{mess}(k) \\ \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ m(k): \quad \theta_{m(k)}^{mess}(k) \quad v_{m(k)}^{mess}(k) \quad a_{m(k)}^{mess}(k) \end{array}$$

Estos datos que corresponden a las componentes del vector de medición respectivo mencionado antes son después transferidos junto con el propio curso a un bloque de rastreo de múltiples hipótesis 42. El propósito de este bloque es extraer a partir de los datos las trazas de objetivo potenciales, comprobando todas las detecciones (en su secuencia de tiempo) para determinar si pueden ser asociadas a un objetivo con una característica de movimiento predeterminada específica. Si se encuentran detecciones como estas que se corresponden en el tiempo con un modelo de movimiento es realizado un proceso de estimación de estado de objetivo. Específicamente, el estado de movimiento de un objetivo es descrito en el sistema de rastreo por un vector de estado (a ser estimado) y una ecuación para modelizar la tasa de variación del vector de estado. El vector de estado $x_i(k)$ del objetivo i-ésimo en el k-ésimo ciclo de reloj contiene además no sólo estimaciones de las variables presentes en el vector de medición respectivo mencionado antes, sino también estimaciones de su tasa de variación, es decir, para la marcación θ estimada, la tasa de marcación $\dot{\theta}$ constituida por la derivada respecto al tiempo, por la frecuencia v , la tasa de frecuencia \dot{v} formada por su derivada respecto al tiempo y para la amplitud a , la tasa de amplitud \dot{a} formada por la derivada respecto al tiempo. Para el caso de procesamiento de señal de banda ancha, el vector de estado es, por tanto:

20

$$x_i(k) = \begin{bmatrix} \theta_i(k) \\ \dot{\theta}_i(k) \\ a_i(k) \\ \dot{a}_i(k) \end{bmatrix}$$

y para el caso de procesamiento de señal de banda estrecha :

25

$$x_i(k) = \begin{bmatrix} \theta_i(k) \\ \dot{\theta}_i(k) \\ v_i(k) \\ \dot{v}_i(k) \\ a_i(k) \\ \dot{a}_i(k) \end{bmatrix}$$

El cambio en el vector de estado es modelizado por un proceso de Markov lineal usando la ecuación:

35

$$x_i(k) = Fx_i(k-1) + q_i(k-1)$$

siendo F la matriz de transición y $q_i(k-1)$ una implementación de un proceso aleatorio gaussiano con media 0 y una matriz de covarianzas $Q_i(k-1)$ conocida (para el caso de proceso de ruido blanco). La matriz de transición F, así como la covarianza de ruido del proceso $Q_i(k-1)$ resultan de la elección del modelo de operación. Preferiblemente se elige un modelo que describa un movimiento rectilíneo uniforme de los objetivos en los que están basadas las variables de observación.

Una medida de un objeto está descrita por el proceso de medición, formalmente por la ecuación:

$$z_j(k) = Hx_j(k) + v_j(k)$$

En la ecuación de medición H es la matriz de medición que caracteriza la proyección del espacio de estados en el espacio de medición (y que es definida por el conocimiento del vector de estado y el vector de medición) y $v_j(k)$ es la implementación de un proceso de ruido blanco con media 0 y matriz de covarianzas $R_j(k)$, donde los errores de medición de las variables individuales se consideran no correlacionados. La covarianza de error de medición tiene, por tanto, la siguiente forma para el procesamiento de señal de banda ancha:

$$R_j(k) = \begin{bmatrix} \sigma_{\theta}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_a^2 \end{bmatrix}$$

y para el procesamiento de señal de banda estrecha:

$$R_j(k) = \begin{bmatrix} \sigma_{\theta}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_v^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_a^2 \end{bmatrix}$$

donde $\sigma_{x,x} \in \{\sigma_{\theta}^{mess}, \sigma_v^{mess}, \sigma_a^{mess}\}$ pueden ser determinados como parámetros seleccionables. En el caso en que la antena usada para producir las listas de detección sea una antena lineal, puede contarse con un error de marcación σ_{θ}^{mess} que depende de la medición actual $z_j(k)$, es decir un error de medición de la marcación, según la ecuación:

$$\sigma_{\theta}^{mess} = \frac{\sigma_{\theta}^0}{\left| \sin(\theta_j^{mess}(k) - \theta_0(k)) \right| \sqrt{a_j^{mess}(k)}}$$

En este caso, $\theta_j^{mess}(k)$ denota la marcación y $a_j^{mess}(k)$ denota la amplitud de la medición, $\theta_0(k)$ el propio curso de un vehículo acuático que lleva o arrastra la antena de marcación y σ_{θ}^0 es una constante seleccionable.

El bloque de rastreo de múltiples hipótesis genera, por medio de un modelo de proceso predeterminado y un modelo de medición predeterminado, un número trazas de objetivo que son denominadas a continuación también pistas, y por una prueba de cociente de probabilidad secuencial pueden ser divididas en pistas confirmadas y provisionales. La esencia del método de rastreo de múltiples hipótesis es una lista de rastreo de las pistas provisionales y confirmadas. Una pista i en el k-ésimo ciclo de reloj comprende el vector de estado $x_i(k)$, una indicación del error de estimación en forma de la matriz de covarianzas $P_i(k)$, una probabilidad global $c_i(k)$, un indicador de estatus $SA_i(k)$ para indicar si la pista en cuestión está confirmada, lo que es indicado por el valor "1" o si es provisional, lo que es indicado por el valor "0", un contador $Z\ddot{A}_j(k)$ que es incrementado (o disminuido) dependiendo de si la pista i pasa (o no pasa) la prueba de cociente de probabilidad secuencial en el k-ésimo ciclo de reloj y un indicador $IN_i(k)$ que indica la pista j con la que una pista confirmada i tiene un conflicto de resolución.

Un conflicto de resolución se definirá, por ejemplo, para el caso de procesamiento de señal de banda ancha. Si hay dos objetivos en la misma marcación, ya no pueden ser detectados por separado. Se producen frecuentemente cruces de traza de objetivo en los que las marcaciones de dos objetivos se aproximan cada vez más entre sí, con lo que resulta un conflicto de resolución.

Si el indicador $IN_i(k) = 0$, no existe conflicto de resolución. La matriz de covarianzas $P_i(k)$ contiene las varianzas de los errores de estimación de las componentes individuales del vector de estado en la diagonal principal y las covarianzas de los errores de estimación entre componentes diferentes en elementos que no están en dicha diagonal. El vector de estado y la covarianza de cada pista i son aproximados por una suma ponderada de varios vectores de estado individuales, que se hace de tal modo que en este procedimiento se permiten varias hipótesis de interpretación para la asociación de datos de medición a una traza de objetivo ya existente. Si, por ejemplo, la pista i en el ciclo de reloj k comprende $n_{i,hyp}(k)$ hipótesis con los pesos $c_{i,j}(k)$, $j = 1, \dots, n_{i,hyp}(k)$, donde $n_{i,hyp}(k)$ es un número natural, entonces la probabilidad global para la pista en el k-ésimo ciclo de reloj resulta:

$$c_i(k) = \sum_{j=1}^{n_{i,hyp}(k)} c_{i,j}(k),$$

el vector de estado se convierte en:

$$x_i(k) = \frac{1}{c_i(k)} \sum_{j=1}^{n_{i,hyp}(k)} c_{i,j}(k) x_{i,j}(k)$$

y la covarianza resulta:

$$5 \quad P_i(k) = \frac{1}{c_i(k)} \sum_{j=1}^{n_{i,hyp}(k)} c_{i,j}(k) \left[P_{i,j}(k) + (x_{i,j}(k) - x_i(k))(x_{i,j}(k) - x_i(k))^T \right].$$

Por tanto, la marcación viene dada por ejemplo por:

$$\theta_i(k) = \left[c_{i,1}(k)\theta_{i,1}(k) + c_{i,2}(k)\theta_{i,2}(k) + \dots + c_{i,n_{i,hyp}(k)}(k)\theta_{i,n_{i,hyp}(k)}(k) \right] / c_i(k)$$

10 En primer lugar se explicará la inicialización de este procedimiento de rastreo de múltiples hipótesis. Un total de $m(1)$ pistas con, respectivamente, sólo una hipótesis, es generado a partir de los datos de medición $z_i(1), i = 1, \dots, m(1)$ en la lista de detección en el primer ciclo de reloj $k=1$. Para ello, cada medición es convertida en un vector de estado de hipótesis

$$x_{i,1}(1) = H^T \cdot z_i(1) \quad i = 1, \dots, m(1)$$

15 con el peso $c_{i,1}(1) = 1$ y es formado el estado correspondiente de las pistas. H^T en este caso denota la matriz de medición traspuesta. Una matriz de covarianzas inicial $P_i(1) = P^0$ es proporcionada para todas las pistas y:

$$SA_i(1) = 0, \quad Z\ddot{A}_i(1) = 0 \text{ y } IN_i(1) = 0 \text{ para } i = 1, \dots, m(1).$$

20 El procedimiento para un ciclo de reloj discrecional desde un ciclo de reloj $k \geq 1$ al ciclo de reloj $k+1$ está caracterizado por las siguientes etapas:

Como situación de partida, en el k -ésimo ciclo de reloj hay $n_B(k)$ trazas de objetivo i confirmadas y $n_T(k)$ provisionales. Éstas poseen el vector de estado $x_i(k)$, la covarianza $P_i(k)$ y la probabilidad total $c_i(k)$, que comprenden las $n_{i,hyp}(k)$ hipótesis j con vector de estado $x_{i,j}(k)$, la covarianza $P_{i,j}(k)$ y el peso de hipótesis $c_{i,j}(k)$. Éstas están

25 complementadas por el indicador estatus $SA_i(k)$ y el contador $Z\ddot{A}_i(k)$.

La predicción de las trazas de objetivo se realiza como sigue: para cada hipótesis j de una pista i es calculada una predicción para el ciclo de reloj $k+1$ en base a la dinámica del modelo de proceso y/o la dinámica del modelo de movimiento de objetivo. El estado predicho viene dado por:

$$30 \quad x_{i,j}^{pre}(k+1) = F \cdot x_{i,j}(k)$$

y la covarianza asociada por:

$$P_{i,j}^{pre}(k+1) = F \cdot P_{i,j}(k) \cdot F^T + Q_i(k),$$

donde F es la matriz de transición y $Q_i(k)$ es la matriz de covarianzas del modelo de proceso elegido.

35 Nuevos datos de medición son asociados como sigue: Los $m(k+1)$ datos de medición $z_i(k+1)$ obtenidos para el ciclo de reloj $k+1$ son comparados con las hipótesis predichas j de todas las pistas i . Si la l -ésima medición es suficientemente próxima a la medición predicha para la hipótesis j de la pista i -ésima, es decir es cierta la relación

$$y_{i,j,l}^T(k+1) S_{i,j,l}^1(k+1) y_{i,j,l}(k+1) < \lambda^2$$

con λ adecuada y las magnitudes

$$40 \quad y_{i,j,l}(k+1) = z_l(k+1) - H \cdot x_{i,j}^{pre}(k+1)$$

$$S_{i,j,l}(k+1) = H \cdot P_{i,j}^{pre}(k+1) \cdot H^T + R_l(k+1),$$

donde R es la matriz de covarianzas del error de medición, entonces esta medición es asociada a la hipótesis.

A continuación, las trazas de objetivo son corregidas como sigue: un total de $n_{i,j}(k+1)+1$ nuevas hipótesis son formadas a partir de las $n_{i,j}(k+1)$ mediciones $a_{i,j}$ asociadas a partir de cada hipótesis j de la traza de objetivo i . En este caso, el índice $\alpha_{i,j} = 0$ representa la llamada hipótesis de fallo. Esto significa que no hay ninguna medida como conti-

nuación de la hipótesis inicial j para la traza de objetivo i. Además, los índices $\alpha_{i,j} \geq 0$ (para una hipótesis de un subconjunto del conjunto de la indicación de las medidas $\{1,2,\dots,m(k+1)\}$) representan el enlace entre las mediciones asociadas correspondientes. En total, nuevas hipótesis para las que:

$$n_{i,hyp}^{pre}(k+1) = n_{i,hyp}(k) + \sum_{j=1}^{n_{i,hyp}(k)} n_{i,j}(k+1)$$

5 son producidas a partir de todas las hipótesis j que existen en el ciclo de reloj k para la i-ésima traza de objetivo $n_{i,hyp}^{pre}(k+1)$.

Los vectores de estado, covarianzas y pesos para estas nuevas hipótesis h son calculados usando las ecuaciones:

$$x_{i,h}(k+1) = \begin{cases} x_{i,j}^{pre}(k+1) - K_{i,j,\alpha_{i,j}}(k+1)y_{i,j,\alpha_{i,j}}(k+1) & \text{para } \alpha_{i,j} > 0 \\ y_{i,j}^{pre}(k+1) & \text{para } \alpha_{i,j} = 0 \end{cases}$$

10 para los vectores de estado,

$$P_{i,h}(k+1) = \begin{cases} P_{i,j}^{pre}(k+1) - K_{i,j,\alpha_{i,j}}(k+1)S_{i,j,\alpha_{i,j}}(k+1)K_{i,j,\alpha_{i,j}}^T(k+1) & \text{para } \alpha_{i,j} > 0 \\ P_{i,j}^{pre}(k+1) & \text{para } \alpha_{i,j} = 0 \end{cases}$$

para las covarianzas y

$$c_{i,h}(k+1) = \begin{cases} \frac{c_{i,j}(k) P_D^{i,j}(k+1) e^{-\frac{1}{2}y_{i,j,\alpha_{i,j}}^T(k+1)S_{i,j,\alpha_{i,j}}^{-1}(k+1)y_{i,j,\alpha_{i,j}}(k+1)}}{c_j(k) \rho_F \sqrt{\det(2\pi \cdot S_{i,j,\alpha_{i,j}}(k+1))}} & \text{para } \alpha_{i,j} > 0 \\ \frac{c_{i,j}(k)}{c_j(k)} (1 - P_D^{i,j}(k+1)) & \text{para } \alpha_{i,j} = 0 \end{cases}$$

para los pesos. La varia-

15 ble $K_{i,j,\alpha_{i,j}}(k+1)$ en las igualdades anteriores viene dada por:

$$K_{i,j,\alpha_{i,j}}(k+1) = P_{i,j}^{pre}(k+1)H^T \cdot S_{i,j,\alpha_{i,j}}^{-1}(k+1)$$

El término $\det(\dots)$ denota el determinante de una matriz, ρ_F es una constante que puede ser elegida de forma apropiada y $P_D^{i,j}(k+1)$ es una probabilidad de detección que puede ser calculada para cada hipótesis predicha j de la pista i usando la ecuación:

$$P_D^{i,j}(k+1) = \frac{P_D^{\max}}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{D_{thr} - a_{i,j}^{pre}(k+1)}{\sigma_{a_{i,j}}^{pre}(k+1)\sqrt{2}}\right)$$

En la ecuación mencionada en último lugar $\operatorname{erfc}(\dots)$ significa la función de error gaussiana complementaria, P_D^{\max} y D_{thr} son constantes que pueden ser elegidas adecuadamente, $a_{i,j}^{pre}(k+1)$ es la amplitud predicha de la hipótesis j de la pista i, y $\sigma_{a_{i,j}}^{pre}(k+1)$ el error de estimación asociado.

Las hipótesis improbables son suprimidas como sigue: si el peso de una hipótesis h' recientemente generada, como se describió antes, cae por debajo de un valor crítico, es decir:

$$c_{i,h'}(k+1) < c_{krit}$$

entonces la hipótesis es suprimida de la lista de hipótesis para la traza de objetivos i. El número $n_{i,hyp}^{pre}(k+1)$ de las nuevas hipótesis es reducido en el número de hipótesis encontradas que satisfacen la condición de la ecuación mencionada en último lugar.

Los conflictos de resolución son tratados como sigue: En el caso de procesamiento de señal de banda ancha, son buscadas en la lista de pistas todas las pistas i para las que $SA_i(k) = 1$ y $IN_i(k) = j \neq 0$. Esto significa que estas pistas confirmadas tienen un conflicto de resolución con las pistas j confirmadas correspondientes. El conflicto de resolución consiste en que las hipótesis principales de las pistas i y j han procesado la misma medición $z_g(k)$ en la asociación de datos para el ciclo de reloj k-1 a k. Las hipótesis más importantes son las hipótesis i_h y j_h de las pistas i y j, que se aplican para $c_{i,i_h}(k) \geq c_{i,\alpha}(k)$ para todos los $\alpha \neq i_h$ y $c_{j,j_h}(k) \geq c_{j,\beta}(k)$ para todos los $\beta \neq j_h$. Si todavía existe el conflicto de resolución en este ciclo de reloj, es decir, las hipótesis más importantes para las pistas i y j son otra vez

asociadas a una y la misma medición $z_f(k+1)$ de los datos de medición actuales, es realizada una corrección modificada de las trazas de objetivo en cuestión.

5 El conflicto de resolución para el par de pistas i y j termina cuando una distancia que será explicada más adelante, entre una hipótesis que comprende al menos una de las dos pistas y la hipótesis más importante ω_h de una pista ω que ya ha sido confirmada en la última pista es menor que un valor crítico d_{Auf}^2 . La pista ω no debe ser mas antigua que el conflicto de resolución en cuestión. Si esto es cierto para la hipótesis i_a de la pista i , la pista ω es enlazada al pasado de la pista i , la pista ω es eliminada de la lista de pistas y el número de pistas confirmadas es reducido en uno. Si esto se aplica a una hipótesis j_a de la pista j , la pista ω es enlazada al pasado de la pista j , la pista ω es eliminada de la lista de hipótesis y el número de pistas confirmadas se reduce en uno.

10 Si una hipótesis que está suficientemente próxima a la hipótesis más importante ω_h de la pista ω es encontrada tanto para la pista i como para la pista j , la tasa de marcación $\dot{\Theta}_{i,i_h}(k_{Auf}^{i,j} - 1)$ y $\dot{\Theta}_{j,j_h}(k_{Auf}^{i,j} - 1)$, respectivamente, de ambas hipótesis desde antes del inicio del conflicto de resolución en el tiempo $k_{Auf}^{i,j}$ es comparada con la tasa de marcación $\dot{\Theta}_{\omega,\omega_h}(k+1)$ de la hipótesis ω_h encontrada ahora para la pista ω . Si el signo matemático de la tasa de marcación anterior de sólo una de las dos hipótesis coincide con el signo actual de la hipótesis ω_h , la pista ω es enlazada al pasado de la pista en cuestión, la pista ω es retirada de la lista y el número de pistas confirmadas se reduce en uno. Si los signos matemáticos de las tasas de marcación de ambas pistas que están implicadas en el conflicto de resolución desde antes del conflicto de resolución coinciden con el de la hipótesis ω_h de la pista ω , las amplitudes de antes del conflicto de resolución son comparadas entre sí. Si:

$$\left| a_{\omega,\omega_h}(k+1) - a_{i,i_h}(k_{Auf}^{i,j} - 1) \right| < \left| a_{\omega,\omega_h}(k+1) - a_{j,j_h}(k_{Auf}^{i,j} - 1) \right|$$

la pista ω es enlazada al pasado de la pista i , la pista ω es retirada de la lista de hipótesis y el número de pistas confirmadas se reduce en uno. Si

$$\left| a_{\omega,\omega_h}(k+1) - a_{j,j_h}(k_{Auf}^{i,j} - 1) \right| < \left| a_{\omega,\omega_h}(k+1) - a_{i,i_h}(k_{Auf}^{i,j} - 1) \right|$$

25 la pista ω es enlazada al pasado de la pista j , la pista ω es retirada de la lista de hipótesis y el número de pistas confirmadas se reduce en uno.

Para la situación improbable de que las dos diferencias sean iguales, la amplitud de las hipótesis para las pistas i y j puede ser tomada del tiempo $k_{Auf}^{i,j} - 2$. Otra posibilidad consiste en promediar las amplitudes en una ventana

$$30 \left[k_{Auf}^{i,j} - n_{mittel}, k_{Auf}^{i,j} - 1 \right].$$

Si el conflicto de resolución para las pistas i y j no ha terminado todavía, las trazas de objetivo son corregidas como sigue: Mientras que no se ha iniciado la acción de conflicto hay $n_k + 1$ opciones de interpretación para un objetivo (confirmado) y n_k mediciones en el ciclo de reloj k -ésimo: (1) el objetivo no ha sido detectado. Por tanto, todas las n_k mediciones son falsas (1 hipótesis) o (2) el objetivo ha sido detectado y la medición j proviene del objetivo, mientras que las otras $n_k - 1$ mediciones son falsas (n_k hipótesis). En caso de acción de conflicto, existen otras opciones de significado para los datos de medición: (1) dos objetos están sin resolver pero son detectados como un grupo: una de las n_k mediciones es tratada como una medida del centro de gravedad del grupo, mientras que todas las otras mediciones son falsas (n_k hipótesis). (2) Dos objetos no están ni resueltos ni han sido detectados: todas las mediciones son falsas (1 hipótesis). (3) Dos objetos son resueltos y son detectados individualmente; $n_k - 2$ mediciones son falsas ($n_k(n_k - 1)$ hipótesis). (4) dos objetos están realmente resueltos pero sólo uno ha sido detectado: $n_k - 1$ mediciones son falsas ($2n_k$ hipótesis). (5) Dos hipótesis pueden ser resueltas, pero ninguna ha sido detectada: todas las mediciones son falsas (1 hipótesis).

45 La probabilidad de obtener una medida no resuelta de dos objetivos es función de la capacidad de resolución del sensor usado y de la distancia, es decir, de la distancia de regulación entre los objetivos. En este sentido, la aparición de una medición no resuelta puede ser interpretada como una medida de distancia adicional con resultado "cero" y puede ser procesada por el algoritmo de rastreo. Por tanto, en esta situación, la medición a ser procesada ya no puede ser relacionada según (4) con el vector de estado de un objetivo único, sino que depende de los vectores de estado de dos objetivos, es necesario introducir el centro de gravedad y la distancia entre dos objetivos como nuevas variables de estado y relacionar éstas con las variables marcación Θ y amplitud a . Resulta el vector de estado no resuelto:

$$y^u(k) = \begin{bmatrix} \theta_i(k) - \theta_j(k) \\ \theta_i(k) + \frac{1}{2}(\theta_j(k) - \theta_i(k)) \\ \frac{1}{2}(a_i(k) - a_j(k)) \end{bmatrix}$$

5 Las mediciones no resueltas predichas y las covarianzas asociadas son calculadas por medio de la transformación “unscented” a partir de las hipótesis predichas de los objetivos implicados en el conflicto. Puesto que el conflicto de resolución es tratado en el curso del programa sólo después de la actualización de Kalman habitual de las hipótesis de estado de objetivo individuales, las hipótesis de objetivo individuales son repesadas y modificadas teniendo en cuenta las posibilidades de interpretación adicionales para los datos de medición. Las hipótesis de estado comunes para los objetivos implicados en el conflicto se forman a partir de las hipótesis de objetivo individuales. A modo de ejemplo ha sido posible asociar n_1 mediciones a un primer objetivo en la etapa de tiempo actual y n_2 mediciones a un segundo objetivo, $n_1 \times n_2$ hipótesis deben ser consideradas para el estado de objetivo combinado. Para reducir la complejidad del algoritmo, las hipótesis de objetivo común son convertidas otra vez en hipótesis de objetivo individuales inmediatamente después de la actualización, como resultado de lo cual el número de hipótesis de objetivo individuales en consideración permanece constante. El estado de objetivo individual en este caso es calculado como la suma de las hipótesis de objetivo común en cuestión y aproxima la densidad de probabilidad:

$$p(x_1) = \int p(x_1, x_2) dx_2$$

vía la llamada coincidencia de momento de segundo orden. Por tanto, es necesario calcular la densidad de probabilidad común $p(x_1(k+1), x_2(k+1) | Z^{k+1})$ en base de todos las mediciones $Z^{k+1} = \{Z_{k+1}, Z^k\}$ hasta el tiempo actual para actualizar las hipótesis de objetivo individuales. Suponiendo que los estados de objetivo son independientes de los tiempos anteriores, la densidad puede ser calculada usando:

$$p(x_1(k+1), x_2(k+1) | Z^{k+1}) = p(Z_{k+1} | x_1(k+1), x_2(k+1)) p(x_1(k+1) | Z^k) p(x_2(k+1) | Z^k)$$

Los pesos de hipótesis comunes son calculados en correspondencia a las diversas interpretaciones de datos (1) a (5) y usando el siguiente esquema:

$$25 \quad p(x_1(k+1), x_2(k+1) | Z^{k+1}) = p_i p(x_1(k) | Z^k) p(x_2(k) | Z^k), \quad i = 1, \dots, 5$$

donde p_i depende de la interpretación de datos (1) a (5).

El estado de objetivo común es actualizado en cada caso usando las fórmulas de actualización de Kalman para cualquier combinación posible de hipótesis de objetivo individuales. P_D^u denota la probabilidad de detención para el estado de objetivo no resuelto. P_D^i es la probabilidad de detección del estado de objetivo i -ésimo y P_u es la probabilidad de que dos objetivos no sean resueltos.

(1) El estado de objetivo común es calculado vía una actualización con la medición no resuelta $z_i(k+1)$ y la medición ficticia “distancia = 0”. El proceso de repesado se lleva a cabo usando:

$$35 \quad p_1 = P_u P_D^u / f_c p(z_i(k+1) | x_1(k+1), x_2(k+1), \text{‘medición no resuelta’}).$$

(2) Sólo la medición ficticia es usada para actualizar el estado de objetivo común. El repesado es realizado usando:

$$40 \quad p_2 = P_u (1 - P_D^u)$$

(3) El estado de objetivo común es determinado por medio de una actualización con las dos mediciones resueltas $z_i(k+1)$ y $z_j(k+1)$ $p_3 =$

$$(1 - P_u) P_D^1 P_D^2 / f_c^2 p(z_i(k+1), z_j(k+1) | x_1(k+1), x_2(k+1), \text{‘medición no resuelta’}).$$

(4) Sin ninguna restricción a la generalidad sea el primer objetivo a ser detectado vía la medición $z_i(k+1)$ en cuyo caso el estado de objetivo común resulta de la combinación del estado de objetivo actualizado con la medición $z_i(k+1)$ para el objetivo 1 y el estado de objetivo predicho para el objetivo 2:

$$45 \quad p_4 = (1 - P_u) (1 - P_D^2) P_D^1 / f_c p(z_i(k+1) | x_1(k+1), \text{‘medición no resuelta’}).$$

(5) El estado de objetivo común comprende los dos estados de objetivo individuales predichos:

$$p_5 = (1 - P_u) \left(1 - P_D^1 \right) \left(1 - P_D^2 \right)$$

La división de las trazas de objetivo se explicará a continuación. Es realizada una comprobación para cada pista para determinar si las hipótesis h_1 y h_2 con el mayor peso tienen una distancia excesiva d_{i,h_1,h_2} entre sí, calculada

5 usando la fórmula:

$$d_{i,h_1,h_2}^2 = (x_{i,h_1}(k+1) - x_{i,h_2}(k+1))^T (P_{i,h_1}(k+1) + P_{i,h_2}(k+1))^{-1} (x_{i,h_1}(k+1) - x_{i,h_2}(k+1))$$

Si la relación:

$$d_{i,h_1,h_2}^2 > d_{split}^2$$

se satisface con un d_{split} adecuadamente elegido, una de las dos hipótesis es dividida como una nueva pista i' con sólo una hipótesis en el ciclo de reloj $k+1$. La pista dividida tiene la historia fijada hasta la pista k desde la pista i . Dependiendo del estatus de la pista inicial i , el número de pistas confirmadas o provisionales es aumentado en uno.

La fusión de trazas de objetivo se explicará a continuación: Las pistas que están presentes son comparadas entre sí por pares. La distancia d_{i_1,i_2} entre dos pistas i_1 y i_2 viene dada por:

$$15 \quad d_{i_1,i_2}^2 = (x_{i_1}(k+1) - x_{i_2}(k+1))^T (P_{i_1}(k+1) + P_{i_2}(k+1))^{-1} (x_{i_1}(k+1) - x_{i_2}(k+1))$$

Si las covarianzas no son excesivas y $SA_{i_1}(k+1) \neq SA_{i_2}(k+1)$, es decir sólo una de las dos pistas ha sido ya confirmada y además:

$$d_{i_1,i_2}^2 < d_{merge}^2$$

con un d_{merge} elegido adecuadamente, entonces es suprimida la más reciente de las dos pistas. Dependiendo de si esta es una pista confirmada o una pista provisional, el número correspondiente $n_B(k)$ ó $n_T(k)$ es reducido en uno.

20

La fusión de hipótesis será explicada a continuación: Las hipótesis de una pista i son comparadas entre sí por pares. Si la distancia entre dos hipótesis H_1 y H_2 satisface la condición:

$$d_{i,h_1,h_2}^2 < d_{merge,hyp}^2$$

25 con $d_{merge,hyp}$ elegido adecuadamente, entonces ambas hipótesis son combinadas usando las fórmulas:

$$x_{i,h_{12}}(k+1) = \sum_{r=1,2} c_{i,h_r}(k+1) x_{i,h_r}(k+1)$$

$$P_{i,h_{12}}(k+1) = \sum_{r=1,2} c_{i,h_r}(k+1)$$

$$x \left[P_{i,h_r}(k+1) + (x_{i,h_r}(k+1) - x_{i,h_{12}}(k+1)) (x_{i,h_r}(k+1) - x_{i,h_{12}}(k+1))^T \right]$$

$$30 \quad c_{i,h_{12}}(k+1) = \sum_{r=1,2} c_{i,h_r}(k+1)$$

para formar una nueva hipótesis. El número de hipótesis para la pista i es reducido por el número de pares de hipótesis encontrados que satisfacen la condición:

$$d_{i,h_1,h_2}^2 < d_{merge,hyp}^2$$

35 La formación de nuevas trazas de objetivo provisionales se explicará a continuación: nuevas trazas de objetivo provisionales τ son formadas a partir de todas las $n_T^{new}(k+1)$ mediciones $z_i(k+1)$ que no están asociadas a ninguna hipótesis predicha. Como en la fase de inicialización, cada traza de objetivo recientemente creada de esta manera es formada a partir de una hipótesis con el vector de estado de hipótesis mencionado antes $x_{i,1}(1) = H^T + z_i(k)$, una covarianza $P_{\tau,1}(k+1) = P^0$, el peso $C_{\tau,1}(k+1) = 1$ y los valores $SA_{\tau}(k+1) = 0$, $Z\ddot{A}_{\tau}(k+1) = 0$ y $IN_{\tau}(k+1) = 0$. El número de trazas de objetivo provisionales es incrementado en el número de mediciones no asociadas.

40

El cálculo del cociente de probabilidad LR se explicará a continuación. El cociente de probabilidad $LR_i(k+1)$ para cada ciclo de reloj $k+1$ puede ser calculado para cada pista i a partir de los pesos $c_{i,h}(k+1)$ de todas las hipótesis h asociadas a esta pista, usando la ecuación:

$$45 \quad LR_i(k+1) = \sum_h c_{i,h}(k+1)$$

y, por tanto, es formalmente idéntica a la probabilidad global $c_i(k+1)$ de la i -ésima traza de objetivo.

A continuación se explicará la comprobación de las pistas presentes: Para cada pista i es realizada la prueba del cociente de probabilidad secuencial. Para ello, el valor de $LR_i(k+1)$ es comparado con dos límites A y B. En el caso de que la pista i sea una pista confirmada, si se sobrepasa el límite B, el contador de pista i es incrementado en uno, es decir $Z\ddot{A}_i(k+1) = Z\ddot{A}_i(k) + 1$ y si se sobrepasa por debajo el límite A, el contador se reduce en uno, es decir, $Z\ddot{A}_i(k+1) = Z\ddot{A}_i(k) - 1$. Si el valor de $LR_i(k+1)$ está entre los dos valores, el contador permanece invariable. Si la pista i es una pista provisional, el contador es incrementado en uno si el límite B es excedido, es decir $Z\ddot{A}_i(k+1) = Z\ddot{A}_i(k) + 1$ y si el límite A es sobrepasado por debajo, el contador es reducido en uno, es decir $Z\ddot{A}_i(k+1) = Z\ddot{A}_i(k) - 1$, suponiendo que $Z\ddot{A}_i(k) \neq 0$. Sin embargo, si $Z\ddot{A}_i(k) = 0$, entonces $Z\ddot{A}_i(k+1) = 0$. Si $LR_i(k+1)$ está entre los dos límites, el contador permanece invariable también para las pistas provisionales i . Tanto para las pistas confirmadas, como para las pistas provisionales i , los pesos de las hipótesis asociadas son normalizados si el límite B es sobrepasado, es decir cada peso $c_{i,h}(k+1)$ es dividido por la suma de todos los pesos, usando la expresión:

$$C_{i,h}(k+1) \rightarrow \frac{c_{i,h}(k+1)}{\sum_{h=1}^{n_{i,hyp}(k+1)} c_{i,h}(k+1)}$$

El ajuste del estatus de pista será explicado a continuación: El indicador de estatus $SA_i(k+1)$ es ajustado a 1 para cada pista i para la que $Z\ddot{A}_i(k+1) > Z\ddot{A}_{krit}$, es decir es ajustado a "confirmada" Si $SA_i(k) = 0$ en el ciclo de reloj anterior, el número $n_B(k)$ de pistas confirmadas es aumentado en uno. Para pistas con $Z\ddot{A}_i(k+1) < Z\ddot{A}_{krit}$, el indicador de estatus $SA_i(k+1)$ es ajustado a 0, es decir a "provisional". En caso de que en el ciclo de reloj anterior $SA_i(k) = 1$, el número de pistas confirmadas es reducido en uno y el número $n_T(k)$ es aumentado en uno. El valor $Z\ddot{A}_{krit}$ es un número crítico que puede ser elegido adecuadamente a los excesos del límite superior B.

La nueva valoración de los estados anteriores será explicada a continuación: puesto que el conocimiento en torno al estado de la pista mejora con la ayuda de cada nueva medición, la historia de una pista i puede ser recalculada y revalorada. Específicamente, en este caso, todas las hipótesis h para una pista i con $SA_i(k+1) = 1$ son calculadas de nuevo para un máximo de n_{retro} etapas de tiempo en el pasado. Si la pista existe sólo para $n_{exist} < n_{retro}$ etapas de tiempo, sólo es realizado este número de etapas. Los vectores de estado y las covarianzas recalculados para las hipótesis de los ciclos de reloj $l, l = k, l-1, \dots, k+1-n_{retro}$ son obtenidos de las ecuaciones:

$$\begin{aligned} x_{i,h}^{retro}(l) &= x_{i,h}(l) + W_{i,h}(l) \left(x_{i,h}^{retro}(l+1) - x_{i,h}^{pre}(l+1) \right) \\ P_{i,h}^{retro}(l) &= P_{i,h}(l) + W_{i,h}(l) \left(P_{i,h}^{retro}(l+1) - P_{i,h}^{pre}(l+1) \right) W_{i,h}^T(l) \end{aligned}$$

y

$$W_{i,h}(l) = P_{i,h}(l) F^T \cdot P_{i,h}^{pre^{-1}}(l+1)$$

donde F es la matriz de transición del modelo de proceso. El peso de hipótesis retrospectivo de la hipótesis h -ésima en el ciclo de reloj l es obtenido a partir de la suma de los pesos de todas las hipótesis retrospectivas en el ciclo de reloj $l+1$, que se forman a partir de la hipótesis h en el ciclo de múltiples hipótesis normal en el ciclo de reloj l a $l+1$.

$$c_{i,h}^{retro} = \sum_{\xi=1}^{n_{i,hyp}(l+1)} c_{i,\xi}(l+1)$$

Tras el final del ciclo de reloj se tiene una lista de pistas actualizada con $n_B(k+1)$ pistas confirmadas y $n_T(k+1)$ pistas provisionales i con un vector de estado $x_i(k+1)$, una covarianza $P_i(k+1)$ y peso total $c_i(k+1)$ que son formados, respectivamente, a partir de $n_i(k+1)$ hipótesis j con vectores de estado $x_{i,j}(k+1)$, covarianzas $P_{i,j}(k+1)$ y pesos de hipótesis $c_{i,h}(k+1)$. Se añaden los indicadores de estatus actualizados $SA_i(k+1)$ y contadores $Z\ddot{A}_i(k+1)$ e $IN_i(k+1)$.

Los datos de pista en un bloque de lectura 43 son leídos y procesados además por el sistema de rastreo descrito antes. En este caso, dependiendo del procesamiento de señal, es establecida una distinción entre si los datos de pista son transferidos a un sistema de salida 44 correspondiente de la misma forma que en el caso de procesamiento de señal de banda ancha o de si los datos de pista pasarán a través de otro bloque de gestión 45 como en el caso de procesamiento de señal de banda estrecha, antes de ser transferidos al sistema de salida correspondiente. Para cualquier ciclo de reloj k -ésimo dado que se elija, las siguientes listas de $n(k) = n_B(k) + n_T(k)$ pistas son transferidas como datos de pista para el caso del procesamiento de banda ancha:

El bloque de cálculo de cociente de probabilidad 55 es seguido por un bloque de comprobación 56 que lleva a cabo la comprobación de pistas, como se describió antes. El ajuste del estatus de pista, como se describió antes, es realizado en un bloque de estatus de pista 57 que sigue a este bloque de comprobación.

5 Los estados anteriores son reevaluados, como se indicó antes, en un bloque de reevaluación 58 que sigue al bloque de estatus de pista 57. Una lista de pistas actualizadas es después almacenada en el bloque de listas de pistas 59 en base a la reevaluación del pasado. Esta lista de pistas es usada otra vez por el bloque de predicción 52 para llevar a cabo nuevas predicciones.

10 Todas las características mencionadas en la descripción anterior de las figuras, en las reivindicaciones y en la parte introductoria de la descripción pueden ser usadas tanto individualmente como en cualquier combinación deseada de unas con otras. Por tanto, la invención no está limitada a las combinaciones de características descritas y/o reivindicadas. De hecho todas las combinaciones de características pueden ser consideradas incluidas.

15

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de determinación de la dirección para detectar y rastrear ángulos de marcación (Θ) sucesivos de objetivos emisores de sonido a través de todo el panorama azimutal o de un sector azimutal predeterminable con una antena de determinación de la dirección (1) con una pluralidad de transductores electroacústicos u optoacústicos (2.1, 2.2, 2.n) para recibir ondas sonoras y generar señales de recepción, en el que, en cada ciclo de reloj y separadas por intervalos de tiempo, las señales de recepción, respectivamente, de todos o de un grupo de transductores son sumadas en fase después de un retardo de tiempo de propagación y/o desplazamiento de fase en función de su disposición geométrica con respecto a una línea de referencia (B) para formar señales de grupo, a cada una de las cuales está asociada una característica direccional con una dirección de recepción principal (I, II, III) asociada a un ángulo de marcación y perpendicular a la línea de referencia (B), y las intensidades son indicadas como gráfica de intensidad en correspondencia a la amplitud o al nivel de las señales de grupo en función del ángulo de marcación (Θ) en cada ciclo de reloj (T), mostrando las gráficas de intensidad de ciclos de reloj (T) sucesivos en un diagrama en cascada, trazas de marcación de ángulos de marcación sucesivos, y las trazas de marcación preferidas son marcadas por un rastreador, caracterizado porque partiendo de vectores de estado de traza ($\hat{x}(k-1/(k-1))$) determinados en el instante $t = k - 1$ y asociados, respectivamente, a una traza de marcación que presenta, respectivamente, un ángulo de marcación (Θ), así como su derivada respecto al tiempo, a la que se hace referencia como tasa de marcación ($\dot{\Theta}$), y eventualmente una intensidad (a), así como su derivada respecto al tiempo, a la que se hace referencia como tasa de intensidad (\dot{a}), y de los errores de traza asociados a los vectores de estado de traza ($\hat{x}(k-1/(k-1))$) para el instante $t = k$, los vectores de estado de traza predichos ($x^{pre}(k/k-1)$) que presentan, respectivamente, un ángulo de marcación predicho (Θ^{pre}), así como su derivada respecto al tiempo, a la que se hace referencia como tasa de marcación predicha ($\dot{\Theta}^{pre}$) y eventualmente una intensidad predicha (a^{pre}), así como su derivada respecto al tiempo, a la que se hace referencia como tasa de intensidad predicha (\dot{a}^{pre}), son predichos junto con errores de estimación predichos, porque la predicción de cada uno de los vectores de estado de traza predichos ($x^{pre}(k/k-1)$) y de su error de estimación son usados como base para la aproximación de la evolución en el tiempo de una traza de marcación con fragmentos de recta como modelo dinámico de movimiento del objetivo, porque cada ángulo de marcación predicho ($\Theta^{pre}(k/k-1)$) es calculado a partir de la suma del ángulo de marcación ($\Theta(k-1)$) determinado en último lugar en el instante $t = k-1$ y de una tasa de marcación ($\dot{\Theta}(k-1)$) determinada en último lugar y multiplicada por el ciclo de reloj (T) de la misma traza de marcación, y eventualmente cada intensidad predicha ($a^{pre}(k/k-1)$) es calculada a partir de la suma de la intensidad ($a(k-1)$) determinada en último lugar en el instante $t = k-1$ y una tasa de intensidad ($\dot{a}(k-1)$) determinada en último lugar y multiplicada por el ciclo de reloj (T) de la misma traza de marcación, porque una probabilidad de asociación es determinada en cada caso por asociación de un ángulo de marcación medido ($\Theta^{mess}(k)$) y, eventualmente una intensidad medida ($a^{mess}(k)$), a una de las trazas de marcación, porque en función de una probabilidad de asociación determinada, son calculados un ángulo de marcación medido ($\Theta^{mess}(k)$) y, eventualmente una intensidad medida ($a^{mess}(k)$), junto con un ángulo de marcación predicho ($\Theta^{pre}(k/k-1)$) y, eventualmente una intensidad predicha ($a^{pre}(k/k-1)$), para formar un ángulo de marcación estimado ($\hat{\Theta}(k)$) y, eventualmente una intensidad estimada ($\hat{a}(k)$), en el instante $t = k$ y el valor o los valores estimados así determinados, junto con la tasa de marcación estimada y, eventualmente la tasa de intensidad estimada, forman el vector de estado de traza ($\hat{x}(k/k)$) de la traza de marcación en cuestión y, en el caso de que una pluralidad de ángulos de marcación medidos y, eventualmente una pluralidad de intensidades medidas, sean asociados para formar una traza de marcación, los valores estimados respectivos son sumados en forma ponderada para formar el vector de estado de traza ($\hat{x}(k/k)$) de esta traza de marcación, y este vector de estado de traza ($\hat{x}(k/k)$) proporciona las variables de salida del vector de estado de traza predicho en el siguiente ciclo de reloj (T), para la traza de marcación en cuestión para la predicción de $t = k$ a $t = k+1$ y porque las trazas de marcación así formadas son mostradas en función de una calidad de traza.

2. Procedimiento de determinación de la dirección según la reivindicación 1, caracterizado porque una calidad de traza (L) que es sumada a través de un número predeterminable de ciclos de reloj es calculada a partir de la probabilidad de asociación, indicando una probabilidad de detección (P_D) y una probabilidad de falsa alarma (P_{FA}) para un ángulo de marcación y eventualmente una intensidad en una distancia angular ($\Delta\Theta$) entre dos características direccionales adyacentes, en el que la calidad de traza (L) es comparada con límites (T_1) y (T_2) para la introducción de una nueva traza de marcación o para la supresión de una traza de marcación, en el que los límites ($T_1 = \ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right)$ y $T_2 = \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)$) están predefinidos por las probabilidades (α, β) prefijadas para la confirmación de una traza de mar-

cación falsa o la supresión de una traza de marcación verdadera, y porque el inicio de trazas de marcación confirmadas indica la detección de un objetivo y estas trazas de marcación son indicadas para el seguimiento del objetivo.

3. Procedimiento de determinación de la dirección según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la probabilidad de asociación de un ángulo de marcación medido $\Theta^{mess}(k)$ y, eventualmente una intensidad medida $a^{mess}(k)$, para una de las trazas de marcación están determinadas en función del ángulo de marcación $\Theta^{pre}(k/k-1)$ predicho desde k-1 a k y, eventualmente la intensidad predicha $a^{pre}(k/k-1)$, desde k-1 a k mediante una distancia estadística normalizada al cuadrado:

$$d_{\Theta}^2 = \frac{(\Theta^{pre}(k/k-1) - \Theta^{mess}(k))^2}{\sigma_{\Theta}^{2mess} + \sigma_{\Theta}^2(k/k-1)} \quad o$$

$$d_a^2 = \frac{(a^{pre}(k/k-1) - a^{mess}(k))^2}{\sigma_a^{2mess} + \sigma_a^2(k/k-1)}$$

donde la diferencia de los ángulos de marcación al cuadrado $(\Theta^{pre}(k/k-1) - \Theta^{mess}(k))^2$ o la diferencia de intensidades al cuadrado $(a^{pre}(k/k-1) - a^{mess}(k))^2$ está referidas a la suma del error de medición al cuadrado σ_{Θ}^{2mess} o σ_a^{2mess} y el error de estimación predicho al cuadrado $\sigma_{\Theta}^2(k/k-1)$ o $\sigma_a^2(k/k-1)$ del ángulo de marcación o de la intensidad, y la probabilidad de asociación es máxima cuando la distancia estadística normalizada al cuadrado d_{Θ}^2 o d_a^2 es mínima.

4. Procedimiento de determinación de la dirección según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la calidad de traza $L(k)$ de cada traza de marcación es determinada a partir de la calidad de traza $L(k-1)$ del ciclo de reloj anterior y de un incremento de calidad ΔL con la fórmula:

$$L(k) = L(k-1) + \Delta L,$$

donde el incremento de calidad ΔL de una probabilidad de detección P_D para un ángulo de marcación real en la distancia angular $\Delta\Theta$ de la dirección de recepción principal de dos características direccionales es determinada a partir de una densidad β_{NT} predeterminable de un ángulo de marcación Θ recientemente detectado en cada intervalo de tiempo en el panorama azimutal o sector azimutal, la distancia angular $\Delta\Theta$, una probabilidad de falsa alarma P_{FA} es determinada a partir de una densidad β_{FT} predeterminable de alarmas falsas en el panorama azimutal o sector de azimut y la raíz cuadrada de la suma de errores S del cuadrado del error de medición $(\sigma_{\Theta}^{2mess}$ o $\sigma_a^{2mess})$ y el cuadrado del error de traza $(\sigma_{\Theta}^2(k/k) \text{ o } \sigma_a^2(k/k))$ y la distancia estadística normalizada al cuadrado $(d^2(k/k-1))$ con la fórmula:

$$\Delta L = \ln \frac{P_D \cdot \Delta\Theta}{P_{FA} \sqrt{|S|}} - \frac{d^2(k/k-1) + M \cdot \ln 2\pi}{2}$$

donde M designa una dimensionalidad de vector de medición con $M = 1, 2, 3, \dots$ y el incremento de calidad (ΔL) es recalculado para cada ciclo de reloj y sumado a la calidad de traza determinada más recientemente ($L(k-1)$) a través de todos o de un número predeterminable de ciclos de reloj.

5. Procedimiento de determinación de la dirección según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque las señales de grupo son procesadas en banda estrecha, para cada ángulo de marcación medido es medida una intensidad y es determinada una frecuencia, y cada vector de medición presenta, por tanto, un ángulo de marcación medido, una intensidad medida y una frecuencia medida, y cada vector de estado de traza estimado en cada caso, un ángulo de marcación estimado, una tasa de marcación estimada, una intensidad estimada, una tasa de intensidad estimada, una frecuencia estimada y una tasa de frecuencia estimada.

6. Procedimiento de determinación de la dirección según una de las reivindicaciones 3 a 5, caracterizado porque la antena de determinación de la dirección comprende una antena lineal, siendo el error de medición σ_{Θ}^{mess} del ángulo de marcación función del ángulo de marcación medido actual $\theta^{mess_j}(k)$ y de la intensidad medida actual $a^{mess_j}(k)$, del curso propio $\theta_0(k)$ de un vehículo acuático que lleva o arrastra una antena de determinación de la dirección y de una constante σ_{θ}^0 , de acuerdo con la fórmula:

$$\sigma_{\theta^{mess}} = \frac{\sigma_{\theta}^0}{\left| \sin(\theta_j^{mess}(k) - \theta_0(k)) \right| \sqrt{a_j^{mess}(k)}}$$

donde el índice j denota una medición obtenida en el instante $t = k$ de un total de $m(k)$ mediciones, con $j = 1, \dots, m(k)$.

- 5 7. Procedimiento de determinación de la dirección según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por-
que en caso de que una pluralidad de ángulos de marcación medidos y , eventualmente intensidades medidas, sean
asociados a una traza de marcación, un vector de estado $x_i(k)$, una matriz de covarianzas $P_i(k)$ para la indicación de
un error de estimación y una probabilidad total $c_i(k)$ son asociados a una traza de marcación i en un instante $t = k$,
siendo el vector de estado $x_i(k)$ aproximado por una suma ponderada de una pluralidad de vectores de estado indi-
viduales que son determinados a partir de una pluralidad $n_{i,hyp}(k)$ de hipótesis de interpretación para una asociación
10 de ángulos de marcación medidos y , eventualmente intensidades medidas, y , eventualmente frecuencias medidas,
para una traza de objetivo ya existente, donde $c_{i,j}(k), j = 1, \dots, n_{i,hyp}(k)$ indican los pesos de las hipótesis según:

$$x_i(k) = \frac{1}{c_i(k)} \sum_{j=1}^{n_{i,hyp}(k)} c_{i,j}(k) x_{i,j}(k)$$

donde la probabilidad total $c_i(k)$ es determinada por la fórmula:

$$c_i(k) = \sum_{j=1}^{n_{i,hyp}(k)} c_{i,j}(k)$$

- 15 y la matriz de covarianzas $P_i(k)$ es determinada por:

$$P_i(k) = \frac{1}{c_i(k)} \sum_{j=1}^{n_{i,hyp}(k)} c_{i,j}(k) \left[P_{i,j}(k) + (x_{i,j}(k) - x_i(k))(x_{i,j}(k) - x_i(k))^T \right]$$

- 20 8. Procedimiento de determinación de la dirección según la reivindicación 7, caracterizado porque las trazas de mar-
cación posibles son almacenadas continuamente en una lista de trazas de marcación, teniendo dicha lista de trazas
de marcación, para una traza de marcación i en el instante $t = k$, un vector de estado $x_i(k)$, una matriz de covarian-
zas $P_i(k)$, una probabilidad total $c_i(k)$, así como un indicador de estatus $SA_i(k)$ para indicar si la traza de marcación
es confirmada o provisional, y un contador $Z\bar{A}_i(k)$ que es incrementado o disminuido en función de la existencia o
ausencia de una prueba de cociente de probabilidad secuencial en el instante $t = k$ y un indicador $IN_i(k)$ que indica la
traza de marcación para la que hay un posible conflicto de resolución con una traza de marcación confirmada.

- 25 9. Procedimiento de determinación de la dirección según la reivindicación 7 u 8, caracterizado porque cada traza de
marcación es analizada en cuanto a la existencia de un posible conflicto de resolución que se produce cuando obje-
tivos asociados a las dos trazas de marcación aparecen con esencialmente el mismo ángulo de marcación, siendo
constatada la existencia de un conflicto de resolución cuando las hipótesis más importantes, en base al peso, de dos
30 trazas de marcación procesan la misma medición; se reconoce que un conflicto de resolución ha terminado cuando
una distancia entre una hipótesis de al menos una de las dos trazas de marcación y la hipótesis más importante de
una traza de marcación confirmada en el último ciclo de reloj es menor que un valor predeterminado.

- 35 10. Procedimiento de determinación de la dirección según la reivindicación 9, caracterizado porque si la traza de
marcación confirmada no es más antigua que el conflicto de resolución, la traza de marcación confirmada es enlaza-
da con el pasado de aquella traza de marcación que está asociada con dicha hipótesis cuya distancia a la hipótesis
más importante es menor que un valor predeterminado, siendo la traza de marcación confirmada rechazada o elimi-
nada de una lista de trazas de marcación y el número de trazas de marcación confirmadas es reducido en uno.

- 40 11. Procedimiento de determinación de la dirección según la reivindicación 9 ó 10, caracterizado porque si para
ambas trazas de marcación que están sometidas a un conflicto de resolución existe una hipótesis cuya distancia a la
hipótesis más importante es menor que un valor predeterminado, la tasa de marcación de ambas hipótesis de antes
del inicio del conflicto de resolución es comparada con la tasa de marcación de la hipótesis encontrada actualmente
de la pista confirmada y si hay una coincidencia entre el signo matemático de la tasa de marcación antes del inicio
45 del conflicto de resolución de sólo una de las dos hipótesis con el signo matemático de la hipótesis actual de la traza
de marcación confirmada, la traza de marcación confirmada en enlazada con el pasado de la traza de marcación en
cuestión, la traza de marcación confirmada es rechazada o es eliminada de la lista de trazas de marcación y el nú-
mero de trazas de marcación confirmadas es reducido en uno, y si hay coincidencia entre los signos matemáticos de
la tasa de marcación de antes del inicio del conflicto de resolución de las dos hipótesis con el signo matemático de la
50 hipótesis actual de la traza de marcación confirmada, son comparadas las intensidades de las trazas de marcación y
si la magnitud de la diferencia entre la intensidad actual de la tasa de marcación confirmada y la intensidad de una

de las dos trazas de marcación implicadas en el conflicto de resolución desde antes del inicio del conflicto de resolución es menor que la magnitud de la diferencia entre la intensidad actual de la traza de marcación confirmada y la intensidad de la otra de las dos trazas de marcación implicadas en el conflicto de resolución desde antes del inicio del conflicto de resolución, la traza de marcación confirmada es enlazada con el pasado de la traza de marcación en cuestión, la traza de marcación confirmada es rechazada, o es eliminada de la lista de trazas de marcación, y el número de trazas de marcación confirmadas es reducido en uno.

12. Procedimiento de determinación de la dirección según una de las reivindicaciones anteriores en combinación con la reivindicación 5, caracterizado porque son generadas trazas de marcación de líneas de frecuencia individuales, siendo combinadas las trazas de marcación confirmadas de líneas de frecuencia individuales para formar las llamadas trazas de marcación de múltiples líneas de una pluralidad de líneas de frecuencia para las que la marcación y la tasa de marcación coinciden dentro de un marco predeterminado.

13. Procedimiento de determinación de la dirección según la reivindicación 12, caracterizado porque las trazas de marcación de múltiples líneas son analizadas para determinar si la marcación o la tasa de marcación de una traza de marcación específica de una línea de frecuencia individual difiere en más de un valor límite predeterminado respectivo de la marcación o tasa de marcación de la traza de marcación de múltiples líneas respectiva que ha sido calculada promediando la marcación o la tasa de marcación de todas las trazas de marcación de líneas de frecuencia individuales combinadas en esta traza de marcación de múltiples líneas, y si es encontrada tal traza de marcación de una línea de frecuencia individual, ésta es eliminada de la traza de marcación de múltiples líneas en cuestión y es tratada como una nueva traza de marcación de múltiples líneas, que sin embargo comprende sólo una línea de frecuencia y todas las otras trazas de marcación de líneas de frecuencia individuales que no pueden ser asociadas a trazas de marcación de múltiples líneas existentes y no pueden ser combinadas entre sí son tratadas de la misma forma que las trazas de marcación de múltiples líneas con sólo una línea de frecuencia.

14. Instalación para la detectar y rastrear ángulos de marcación (Θ) sucesivos de objetivos emisores de sonido a través de todo el panorama azimutal o de un sector azimutal predeterminable, en particular para la realización de un procedimiento de determinación de la dirección según una de las reivindicaciones 1 a 13, con una antena de determinación de la dirección (1) con una pluralidad de transductores electroacústicos u optoacústicos (2.1, 2.2, 2.n) para recibir ondas sonoras y generar señales de recepción y con un formador de haz que está realizado de tal modo que en cada ciclo de reloj y separadas por intervalos de tiempo, las señales de recepción respectivas de todos o de un grupo de transductores son sumadas en fase después de un retardo de tiempo de propagación y/o desplazamiento de fase en función de su disposición geométrica con respecto a una línea de referencia (B) para formar señales de grupo, a cada una de las cuales está asociada una característica direccional con una dirección de recepción principal (I, II, III), que está asociada a un ángulo de marcación y es perpendicular a la línea de referencia (B), y con medios de indicación (4) realizados como gráficas de intensidad para indicar las intensidades correspondientes a la amplitud o al nivel de las señales de grupo en función del ángulo de marcación (Θ) en cada ciclo de reloj (T), mostrando las gráficas de intensidad de ciclos de reloj (T) sucesivos en un diagrama en cascada trazas de marcación de ángulos de marcación sucesivos, y las trazas de marcación preferidas pueden ser marcadas por un rastreador, caracterizada porque la instalación de determinación de la dirección presenta un filtro de Kalman (5), en el que partiendo de vectores de estado de traza ($\hat{x}(k-1)/(k-1)$) determinados en el instante $t = k-1$ y asociados, respectivamente, a una traza de marcación que presenta, respectivamente, un ángulo de marcación (Θ), así como su derivada respecto al tiempo, a la que se hace referencia como tasa de marcación ($\dot{\Theta}$), y eventualmente una intensidad (a), así como su derivada respecto al tiempo, a la que se hace referencia como tasa de intensidad (\dot{a}), y los errores de traza ($\hat{P}(k-1)/(k-1)$) asociados a los vectores de estado de traza ($\hat{x}(k-1)/(k-1)$), los vectores de estado de traza predichos ($x^{pre}(k/k-1)$) de cada traza de marcación que presentan, respectivamente, un ángulo de marcación predicho (Θ^{pre}), así como su derivada respecto al tiempo, a la que se hace referencia como tasa de marcación predicha ($\dot{\Theta}^{pre}$), y eventualmente una intensidad predicha (a^{pre}), así como su derivada respecto al tiempo a la que se hace referencia como tasa de intensidad predicha (\dot{a}^{pre}), pueden ser predichos en una etapa de predicción (5.1) para el instante $t = k$ junto con los errores de estimación predichos, utilizándose la predicción de cada vector de estado de traza predicho ($x^{pre}(k/k-1)$) y de su error de estimación como base para la aproximación de la evolución en el tiempo de una traza de marcación con fragmentos de recta como modelo dinámico de movimiento del objetivo, en la que cada ángulo de marcación predicho ($\Theta^{pre}(k/k-1)$) puede ser calculado a partir de la suma del ángulo de marcación ($\Theta(k-1)$) determinado en último lugar en el instante $t = k-1$ y de una tasa de marcación ($\dot{\Theta}(k-1)$) determinada en último lugar y multiplicada por el ciclo de reloj (T) de la misma traza de marcación, y eventualmente cada intensidad predicha ($a^{pre}(k/k-1)$) puede ser calculada a partir de la suma de la intensidad ($a(k-1)$) determinada en último lugar en el instante $t = k-1$ y una tasa de intensidad ($\dot{a}(k-1)$) determinada en último lugar y multiplicada por el ciclo de reloj (T) de la misma traza de marcación, porque la instalación de determinación de la dirección presenta una etapa de asignación de datos de medición (8), que está realizada de tal modo que determina una probabilidad de asociación

en cada caso para la asociación de un ángulo de marcación medido ($\Theta^{mess}(k)$) y, eventualmente una intensidad medida ($a^{mess}(k)$), a una de las trazas de marcación, porque en función de una probabilidad de asociación determinada, son calculados un ángulo de marcación medido ($\Theta^{mess}(k)$) y, eventualmente una intensidad medida ($a^{mess}(k)$), junto con un ángulo de marcación predicho ($\Theta^{pre}(k/k-1)$) y, eventualmente una intensidad predicha ($a^{pre}(k/k-1)$), para formar un ángulo de marcación estimado ($\hat{\Theta}(k)$) y, eventualmente una intensidad estimada ($\hat{a}(k)$), en el instante $t=k$ y el valor o los valores estimados así determinados, junto con las tasas de marcación estimadas y, eventualmente las tasas de intensidad estimadas, forman el vector de estado de traza ($\hat{x}(k/k)$) de la traza de marcación en cuestión y, en el caso de que una pluralidad de ángulos de marcación medidos y, eventualmente una pluralidad de intensidades medidas, sean asociados para formar una traza de marcación, los valores estimados respectivos son sumados en forma ponderada para formar el vector de estado de traza ($\hat{x}(k/k)$) de esta traza de marcación, y este vector de estado de traza ($\hat{x}(k/k)$) proporciona las variables de salida del vector de estado de traza predicho en el siguiente ciclo de reloj (T), para la traza de marcación en cuestión para la predicción de $t=k$ a $t=k+1$ y porque los medios de indicación (13, 14, 4) están realizados de tal modo que las trazas de marcación así formadas pueden ser mostradas en función de una calidad de traza.

15. Instalación de determinación de la dirección según la reivindicación 14, caracterizada porque para la predicción del vector de estado predicho

$$x^{pre}(k/k-1) = \begin{bmatrix} \Theta^{pre}(k/k-1) \\ \dot{\Theta}^{pre}(k/k-1) \end{bmatrix} = F \cdot \hat{x}(k-1/k-1)$$

o

$$x^{pre}(k/k-1) = \begin{bmatrix} \Theta^{pre}(k/k-1) \\ \dot{\Theta}^{pre}(k/k-1) \\ a^{pre}(k/k-1) \\ \dot{a}^{pre}(k/k-1) \end{bmatrix} = F \cdot \hat{x}(k-1/k-1)$$

para la traza de marcación, un ángulo de marcación predicho ($\Theta^{pre}(k/k-1)$) y su tasa de variación estimada o tasa de marcación ($\dot{\Theta}^{pre}(k/k-1)$) y, eventualmente una intensidad predicha ($a^{pre}(k/k-1)$) y su tasa de variación ($\dot{a}^{pre}(k/k-1)$), son determinados correspondiendo a un segmento de recta de una traza de marcación de un vector de traza ($\hat{x}(k-1/k-1)$) determinado en último lugar en el instante $t=k-1$ con el ángulo de marcación y ($\hat{\Theta}(k-1/k-1)$) y eventualmente la intensidad de traza ($\hat{a}(k-1/k-1)$) y la tasa de marcación ($\hat{\dot{\Theta}}(k-1/k-1)$) o la tasa de intensidad ($\hat{\dot{a}}(k-1/k-1)$) determinada en último lugar y multiplicada por el tiempo de reloj (T), con la formula:

$$\Theta^{pre}(k/k-1) = \hat{\Theta}(k-1/k-1) + \hat{\dot{\Theta}}(k-1/k-1) \cdot T$$

$$\dot{\Theta}^{pre}(k/k-1) = \hat{\dot{\Theta}}(k-1/k-1)$$

y eventualmente

$$a^{pre}(k/k-1) = \hat{a}(k-1/k-1) + \hat{\dot{a}}(k-1/k-1) \cdot T$$

$$\dot{a}^{pre}(k/k-1) = \hat{\dot{a}}(k-1/k-1),$$

porque, en una etapa de cálculo de la distancia (6) dispuesta después de la etapa de predicción (5.1) del filtro de Kalman (5), las probabilidades de asociación entre los valores medidos ($z(k)$) en el instante $t=k$ con errores de medición (σ_{Θ}^{2mess} o σ_a^{2mess}) de una matriz de covarianzas de medición y los vectores de estado predichos ($x^{pre}(k/k-1)$) con los ángulos de marcación predichos ($\Theta^{pre}(k/k-1)$) y, eventualmente intensidades ($\hat{a}^{pre}(k/k-1)$) con errores de estimación ($P^{pre}(k/k-1)$), son calculadas determinando una distancia normalizada al cuadrado (d_1^2) entre la diferencia (y) del vector de medición ($z(k)$) y el vector de estado predicho respecto a la suma (S) de sus errores, porque la etapa de cálculo de la distancia (6) forma la trayectoria de retroalimentación del filtro de Kalman (5) a través de una etapa de asociación de datos (8) a una etapa de filtrado (5.2) del filtro de Kalman (5), porque en la etapa de filtrado (5.2), a partir del vector de estado predicho ($x^{pre}(k/k-1)$) y su error de estimación ($P^{pre}(k/k-1)$) y los valores medidos ($z^{mess}(k)$) y su matriz de covarianzas de medición R es estimado un vector de traza ($\hat{x}(k)$) para el instante $t=k$ de cada traza de marcación

$$\hat{x}(k/k) = x^{pre}(k/k-1) + K(k) [z(k) - Hx^{pre}(k/k-1)]$$

con la matriz de medición

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

y la matriz

$$K(k) = P^{pre}(k/k-1)H^T [H \cdot P^{pre}(k/k-1)H^T + R]^{-1}$$

5

así como la matriz de covarianzas del error de traza

$$\hat{P}(k/k) = [I - K(k)H]P^{pre}(k/k-1)[I - K(k)H]^T + K(k)R \cdot K(k)^T$$

siendo I la matriz unidad, porque el siguiente vector de estado ($x^{pre}(k/k+1)$) predicho y el siguiente error de estimación ($P^{pre}(k/k+1)$) son predichos a partir de aquí en el ciclo de reloj siguiente en instante $t = k+1$ en la etapa de predicción (5.1) del filtro de Kalman (5).

10

16. Instalación de determinación de la dirección según la reivindicación 14 ó 15, caracterizada porque para determinar la probabilidad de asociación de un valor medido ($z(k)$) en el instante (k) con el error de medición (R) y el vector de estado predicho ($x^{pre}(k/k-1)$) y los errores de estimación ($P^{pre}(k/k-1)$), la etapa de cálculo de la distancia (6) es seguida por un calculador de calidad de traza (9) con una etapa de cálculo (11) prevista en el lado de entrada para calcular el cociente de probabilidad en forma de una calidad de traza (L), siendo predeterminadas la probabilidad de detección (P_D) y la probabilidad de falsa alarma (P_{FA}) de un ángulo de marcación con la distancia angular ($\Delta\Theta$) de la dirección de recepción principal de dos características direccionales adyacentes en sus otras entradas y un dispositivo de comparación de límites (12) posterior en cuyas entradas son predeterminadas las probabilidades α y β para la confirmación de una traza falsa o la supresión de una traza verdadera, porque la calidad de traza (L) a la salida de la etapa de cálculo (11) es comparada en el dispositivo de comparación de límites (12) con un límite superior y un límite inferior (T_2, T_1) para la adición del ángulo de marcación ($\hat{\Theta}(k/k)$) y eventualmente la intensidad de traza ($\hat{a}(k/k)$) para formar una traza de marcación provisional y/o confirmada para iniciar una nueva traza de marcación o para suprimir la traza de marcación, porque los ángulos de marcación ($\hat{\Theta}(k/k)$) y, eventualmente las intensidades de traza ($\hat{a}(k/k)$), a la salida del filtro de Kalman (5), junto con la señal de salida de la disposición de comparación de límites (12) para las calidades de traza (L) correspondientes son transferidas a un registro (13) para trazas de marcación, porque el ángulo de marcación ($\Theta(k/k)$) y, eventualmente la intensidad de traza ($a(k/k)$), son conectadas vía un puerto (14), que puede ser controlado por la disposición de comparación de límites (12), a los medios de visualización (4) en el que son mostradas las trazas de marcación.

15

20

25

30

17. Instalación de determinación de la dirección según una de las reivindicaciones 14 a 16, caracterizada porque en la etapa de cálculo de la distancia (6) para la comprobación de la probabilidad de asociación de un ángulo de marcación medido ($\Theta^{mess}(k)$) y eventualmente una intensidad medida ($a^{mess}(k)$) a una traza de marcación según el método del vecino global más próximo, es determinada una distancia estadística normalizada al cuadrado ($d_1^2(k/k-1)$)

35

$$d_1^2(k/k-1) = y^T(k/k-1)S^{-1}(k/k-1)y(k/k-1) \text{ con}$$

$$y(k/k-1) = z(k) - H\hat{x}^{pre}(k/k-1)$$

estando referida la diferencia de ángulos de marcación al cuadrado a la suma de errores ($S(k/k-1)$) de los errores de medición R y el error de estimación predicho ($P^{pre}(k/k-1)$) de $t = k-1$ a $t = k$ y la probabilidad de asociación es máxima cuando la distancia estadística normalizada al cuadrado d_1^2 es mínima.

40

18. Instalación de determinación de la dirección según la reivindicación 17, caracterizada porque un circuito de puerta (7) está previsto entre la etapa de cálculo de la distancia (6) y la etapa de asociación de datos de medición (8), para comparación de la distancia estadística normalizada al cuadrado (d^2) entre el valor medido y el valor estimado predicho con un valor de puerta predeterminable, porque el circuito de puerta (7) evita que la distancia estadística normalizada al cuadrado (d^2) sea transferida a la salida de la etapa de cálculo de la distancia (6) si esta distancia es mayor que un valor de puerta predeterminado, porque el valor de puerta G es determinado usando:

45

$$G = 2 \ln \frac{P_D \cdot \Delta\Theta}{(1 - P_D)(2\pi)^{M/2} P_{FA} \sqrt{|S|}}$$

indicando una probabilidad de detección (P_D) para un ángulo de marcación real en la distancia angular ($\Delta\Theta$) de la dirección de recepción principal de dos características direccionales adyacentes y una probabilidad de falsa alarma

(P_{FA}) que tiene en cuenta la suma S de los errores de medición al cuadrado (σ_{Θ}^{2mess}) y el error de estimación ($P_{\Theta}^{pre}(k/k-1)$), donde M designa la dimensionalidad del vector de medición, con $M = 1, 2, 3, \dots$

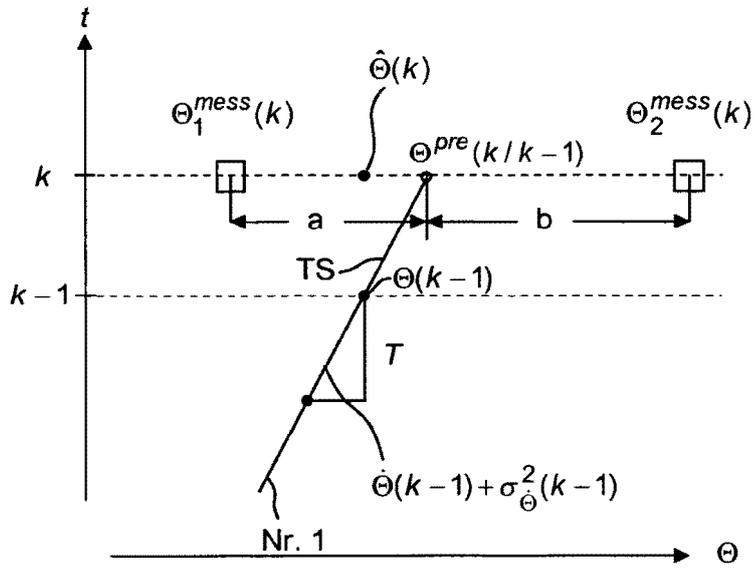


Fig. 1

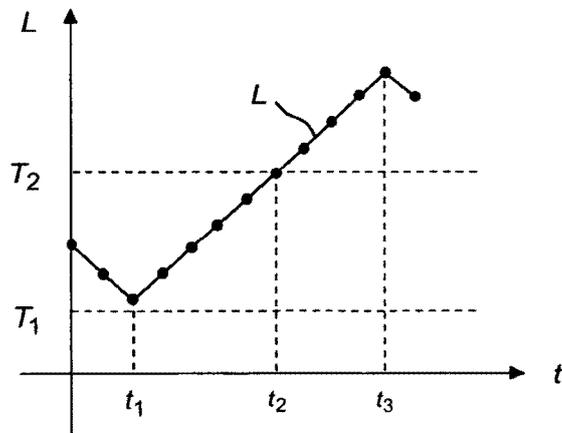


Fig. 3

5

10

15

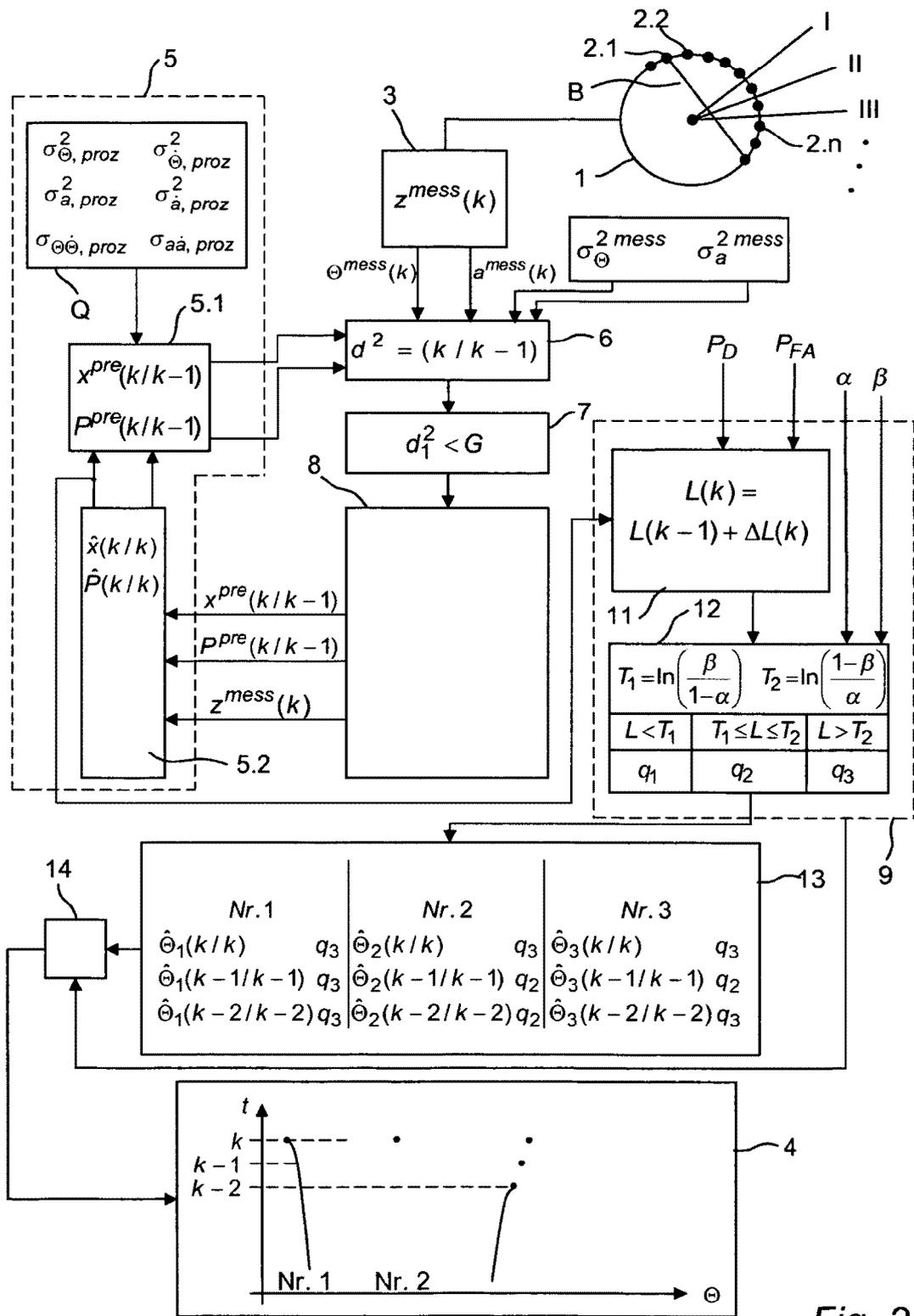


Fig. 2

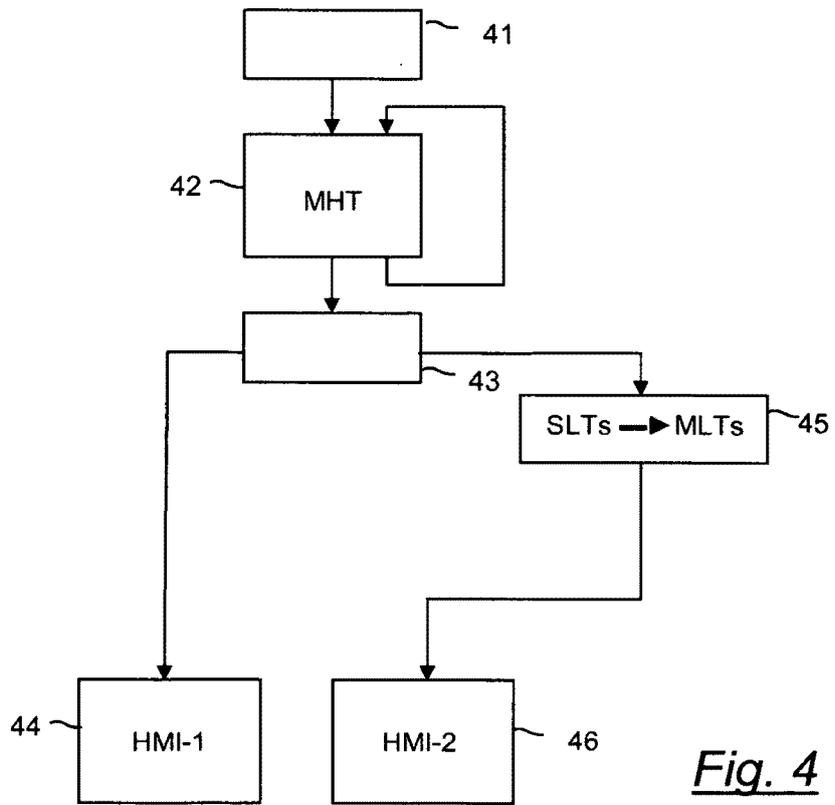


Fig. 4

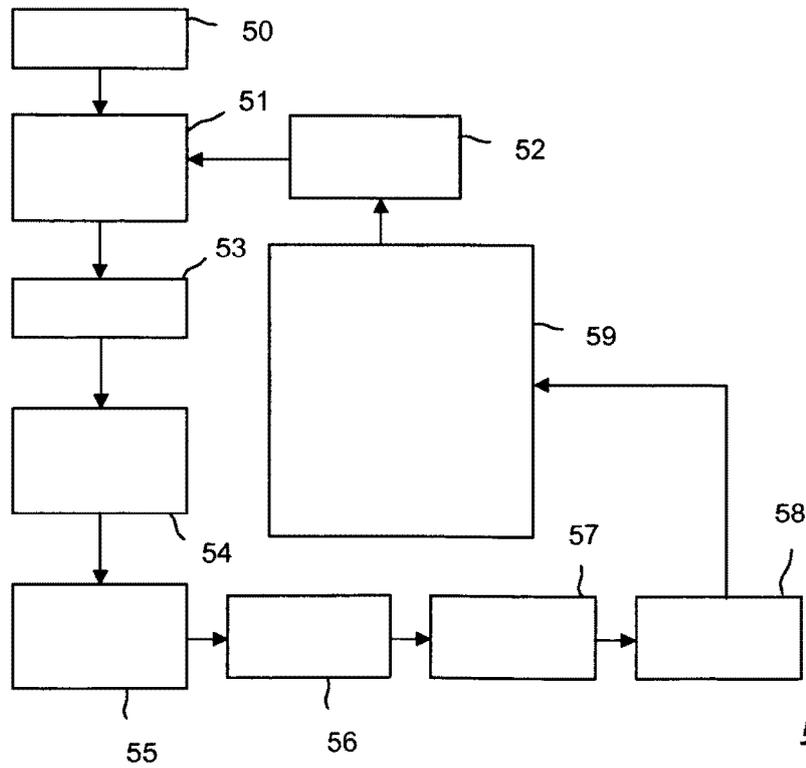


Fig. 5