

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 635 268**

51 Int. Cl.:

G01S 13/68 (2006.01)

G01S 11/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.05.2004** **E 04445063 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017** **EP 1610152**

54 Título: **Seguimiento de un objeto en movimiento para un sistema de autodefensa**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.10.2017

73 Titular/es:

SAAB AB (100.0%)
581 88 Linköping, SE

72 Inventor/es:

OLSSON, HAKAN;
WALLEMBERG, JAN y
AXELSSON, LEIF

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 635 268 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

Seguimiento de un objeto en movimiento para un sistema de autodefensa

Campo de la invención y técnica antecedente

5 La presente invención versa, en general, acerca de la mejora de la determinación de la cinemática de un objeto en movimiento. Más en particular, la invención versa acerca de un procedimiento para la determinación de la cinemática de un objeto en movimiento según el preámbulo de la reivindicación 1, y de un sistema para la determinación de la cinemática de un objeto en movimiento según el preámbulo de la reivindicación 17. La invención también versa acerca de un programa de ordenador según la reivindicación 15 y de un soporte legible por ordenador según la reivindicación 16.

10 En muchas aplicaciones, tanto civiles como militares, existe el deseo de poder estimar el estado de un proceso específico. Normalmente, estos procesos se modelan como procesos estocásticos. Entonces, se utilizan los modelos junto con datos procedentes de uno o más sensores para estimar el estado del proceso. Una subclase general de estos problemas es la tarea de estimar la cinemática de un objeto en movimiento. Las aplicaciones típicas son el control del tráfico aéreo en aeropuertos, y el seguimiento de objetos hostiles y en numerosas aplicaciones militares por tierra, mar y aire. En tales aplicaciones, el uso de datos no procesados procedentes de sensores para una presentación de información a un operario en un sistema de HMI (interfaz de humano-máquina), y para un procesamiento adicional, no producirá resultados satisfactorios debido a artefactos de ruido.

20 Para superar esos problemas, normalmente se estima el estado mediante un denominado filtro de seguimiento. Un beneficio del uso de un filtro de seguimiento es que las trazas de un filtro parecen mucho menos temblorosas en los medios de visualización, que los datos "sin procesar" de los sensores. Beneficios adicionales son que el filtro de seguimiento puede predecir la cinemática del objeto bastante bien cuando las mediciones son infrecuentes en el tiempo, y que los errores de estimación para las trazas del filtro son iguales o inferiores a los de los datos no procesados de los sensores.

25 Un filtro de seguimiento es un algoritmo implementado normalmente en un soporte lógico que utiliza datos procedentes de un sensor para llevar a cabo una estimación del estado. Existen numerosos tipos y variedades de filtros de seguimiento, pero la mayoría de los más sofisticados comparten algunas características importantes. Una de estas es el uso de una etapa predictiva, es decir, la salida del filtro está soportada por una predicción de la cinemática del objeto. Se calcula el estado previsto a partir del estado filtrado anteriormente según las suposiciones sobre la dinámica del objeto. La salida del filtro, es decir, el nuevo estado filtrado, es calculada como una suma ponderada de la nueva medición y del estado previsto. Una técnica muy utilizada para una estimación del estado es el denominado filtro de Kalman, nombre del inventor.

35 Una ocasión en la que es importante determinar la cinemática de un objeto con una precisión elevada es cuando un misil hostil ataca a una aeronave. Un sistema actual de aviso de misiles solo puede proporcionar un aviso en un rumbo, es decir, solo puede informar al piloto de que se ha disparado un misil, y en qué dirección ha sido disparado. Además, el sistema también puede indicar cuándo activa el misil su buscador de blanco, y si el buscador de blanco sigue automáticamente a la propia aeronave. Dado que el aviso no contiene ninguna información acerca de la distancia hasta el misil, se tiene que estimar la distancia en función en otros datos disponibles, lo que da lugar a una precisión reducida en la estimación. Si fuese posible estimar la distancia y la velocidad de aproximación con gran precisión, se realizarían grandes mejoras relativas a la decisión de qué maniobras y qué contramedida han de tomarse y en qué momento será más eficaz la contramedida.

40 Cuando se detectan misiles, se utilizan preferentemente sensores pasivos, por ejemplo sensores IR, dado que no revelan la propia aeronave, debido al hecho de que no emiten ninguna energía. Un problema de todos los sensores pasivos es que solo suministran datos en el rumbo y la elevación y no miden la distancia y la velocidad de aproximación. Sin embargo, una ventaja de los sensores pasivos es que tienen una gran precisión angular. Dado que la distancia y la velocidad de aproximación no son mensurables, son estimadas en un procedimiento de filtrado según se ha descrito anteriormente. Esta estimación está asociada normalmente con grandes incertidumbres.

45 La predicción del siguiente estado se realiza en función de los datos angulares recibidos procedentes del sensor pasivo y un estado estimado anteriormente. Dado que normalmente no se tiene una comprensión de la siguiente maniobra del objeto, no se puede predecir la aceleración del objeto. La siguiente maniobra del objeto es, por ejemplo, un movimiento hacia la izquierda o la derecha, o si el objeto se eleva o desciende. Para predecir el siguiente estado del objeto se tiene que utilizar un modelo cinemático sencillo del objeto. Por ejemplo, se supone que el objeto no realiza ninguna maniobra y, por lo tanto, continúa moviéndose en la misma dirección que antes, es decir, se supone que las aceleraciones del objeto son nulas. De ese modo, simplemente se extrapola la siguiente posición a partir del anterior estado y de la cantidad de tiempo que ha transcurrido desde que puede actualizada por última vez.

55 El documento US5282013 se dan a conocer un sistema y un procedimiento para una determinación pasiva del alcance y del tipo de un objeto en movimiento según la técnica anterior. El procedimiento comprende seleccionar un

tipo de objeto de una biblioteca de tipos de objeto que almacena características distintivas de los tipos de objeto, considerando los contrastes medidos de fase. Se calcula el alcance del objeto considerando el tipo seleccionado de objeto, el movimiento angular del objeto y la estimación del alcance para el objeto realizada durante el último barrido. Una desventaja del sistema y del procedimiento divulgados en este documento es que se estiman el alcance y la velocidad de aproximación del objeto con una mala precisión, debido al hecho de que la estimación solo es en función de anteriores movimientos del objeto, y no existe información acerca de las futuras maniobras del objeto.

El documento US 5051751 da a conocer el uso de un filtrado Kalman para estimar la posición y la velocidad de un objeto seguido. Se utilizan mediciones de sensores para desarrollar un vector de línea visual al objeto. Se utiliza una transformación matricial para girar analíticamente las mediciones de sensores en una trama de medición. Dado que no hay presente una correlación estadística de las mediciones en la trama de medición, se reduce el número de cálculos en cada actualización del filtro.

El documento US 5479360 describe un procedimiento para estimar parámetros diana de un blanco con respecto a una plataforma que incluye asignar valores iniciales predeterminados para los parámetros. Los parámetros son parte de modelos que tienen probabilidades respectivas modelo. Los modelos pueden incluir un filtro de Kalman. Los modelos se actualizan en respuesta a parámetros medidos del blanco, siendo distintos los parámetros medidos de los que tienen que ser estimados. Se puede seleccionar como modelo ganador el modelo que tiene la mayor probabilidad de modelo actualizado.

Objetos y sumario de la invención

El objeto de la presente invención es proporcionar una solución para la determinación de la cinemática de un objeto en movimiento, solución que ofrece una mejora sustancial en la precisión de la cinemática estimada y, de ese modo, en el desempeño del seguimiento.

Según un aspecto de la invención este objeto se consigue mediante el procedimiento descrito inicialmente para la determinación de la cinemática de un objeto en movimiento, caracterizado porque dicho modelo cinemático comprende una ley de guiado que sigue automáticamente una posición conocida. El procedimiento según la invención mejora el desempeño del filtro de seguimiento mediante el uso de un modelo cinemático que comprende una ley de guiado en la etapa predictiva del filtrado.

Se supone que el objeto navega según un conjunto de reglas o principios denominado ley de guiado. Gracias al hecho de que se predice la cinemática del objeto en función de una suposición de cómo navega el objeto, es posible predecir la siguiente maniobra del misil con un grado elevado de certeza. También se supone que la ley de guiado sigue automáticamente una posición conocida, o a un objeto cuya posición y velocidad son conocidas. Esto significa que se supone que el objeto tiene intención de navegar hacia la posición conocida. La posición conocida es, por ejemplo, la posición de un vehículo o un sitio, por ejemplo, una aeronave, un buque o una estación de control estacionaria. Esas suposiciones son esenciales en el sentido de que es este conocimiento el que hace que sea posible predecir el movimiento del objeto con mucha mayor certeza que si la suposición es que la aceleración del objeto es nula. Por consiguiente, se puede mantener el ruido de procesamiento para los ejes lateral y vertical mucho menor que en el caso general en el que no hay un conocimiento a priori en absoluto acerca de las maniobras del objeto. Esto da lugar a una tasa drásticamente menor de un aumento de la incertidumbre para los estados no observables, por ejemplo el alcance y la velocidad de aproximación, durante el momento de actualización.

El procedimiento según la invención consigue un aumento drástico en el desempeño y la robustez de las estimaciones cinemáticas y, por lo tanto, en el desempeño del seguimiento, cuando se utilizan sensores pasivos. También se mejora el desempeño del seguimiento cuando se utilizan sensores activos, por ejemplo radar, aunque no en un nivel tan drástico como para los sensores pasivos. Esto es debido al hecho de que los sensores activos suministran mediciones para uno o ambos de los estados no observables, el alcance y posiblemente la velocidad de aproximación. Un beneficio adicional del uso de la invención con un sensor activo es una gestión mejorada de los sensores.

El procedimiento según la invención hace que sea posible determinar la cinemática de un objeto, es decir, la posición, la velocidad y la aceleración del objeto. Qué parte o partes de la cinemática han de ser determinadas depende de la aplicación en cuestión. Por ejemplo, en la aplicación mencionada anteriormente en la que el objeto es un misil hostil, la cinemática de interés es la posición y la velocidad del misil.

Para poder estimar también los estados no observables, tales como la posición y la velocidad, los datos angulares deberían comprender al menos un rumbo horizontal (el ángulo azimutal), pero también se puede utilizar el ángulo de elevación con gran beneficio.

Según una realización de la invención, se supone que el objeto sigue a la propia nave, es decir, se supone que la ley de guiado sigue automáticamente a la propia nave, y el procedimiento comprende recibir los propios datos de navegación, y determinar dicho estado cinemático previsto del objeto en función de los propios datos de navegación. La propia nave es un vehículo o un sitio en el que están ubicados el filtro de seguimiento y el sensor. Los propios datos de navegación comprenden la propia posición, la propia velocidad y la propia aceleración. Esta realización es

ventajosa, por ejemplo, si el objeto es un misil que tiene a la propia nave como su blanco. Entonces, es posible predecir la siguiente maniobra del misil con un grado elevado de certeza. Además, la necesidad de una determinación precisa de la cinemática del objeto es sumamente importante cuando la propia nave es el blanco del misil.

5 Según una realización de la invención el procedimiento comprende: almacenar más de una ley de guiado, suponiendo que el objeto utiliza una de dichas leyes almacenadas de guiado, determinar una supuesta ley de guiado en función de dichas leyes almacenadas de guiado y dichos datos angulares recibidos, y determinar dicho estado cinemático previsto subsiguiente del objeto, en función de dicha supuesta ley de guiado. Dado que hay más de una ley almacenada de guiado, aumenta la probabilidad de averiguar qué ley de guiado sigue el objeto. Por lo tanto, la posibilidad de predecir la siguiente maniobra del misil aumenta aún más y, en consecuencia, se mejora adicionalmente la determinación de la cinemática del objeto.

15 Según una realización de la invención el procedimiento comprende: almacenar una pluralidad de tipos de objeto y asociar cada tipo de objeto con una de dichas leyes almacenadas de guiado, determinar el tipo de objeto en función de dichos datos angulares recibidos, y determinar dicha supuesta ley de guiado dependiendo del tipo determinado del objeto. Es un hecho bien conocido, en particular para misiles, que un cierto tipo de objeto sigue a menudo una cierta ley de guiado. Normalmente se conoce qué ley de guiado sigue un cierto tipo de misil. Por lo tanto, si se determina el tipo de objeto es posible determinar qué ley de guiado sigue el objeto. Una ventaja de esta realización es que la carga de cálculo requerida es baja. La presente realización es útil si se puede determinar el tipo de objeto con un cierto grado de fiabilidad.

20 Según una realización adicional de la invención, el procedimiento comprende: determinar más de un estado cinemático previsto del objeto, determinándose cada estado previsto en función de una de dichas leyes almacenadas de guiado, estimar una componente de error para los estados cinemáticos previstos en función de dichos datos angulares recibidos, y determinar dicha supuesta ley de guiado en función de dichas componentes estimadas de error. En la presente realización de la invención se inicia una pluralidad de trazas paralelas para todas las leyes almacenadas de guiado, o para un subconjunto de las mismas. Al estimar el error de la predicción para cada traza, es posible averiguar qué ley almacenada de guiado sigue el objeto. La presente realización es ventajosa cuando es difícil, o imposible, determinar el tipo de objeto con suficiente certidumbre.

30 Según una realización de la invención, la componente de error determinada es la matriz de covarianza de error para el estado cinemático previsto. Para determinar la suma ponderada del estado medido y previsto en un filtro de Kalman, se calcula la matriz de covarianza de error para el estado cinemático previsto. Por lo tanto, si se utiliza un filtro de Kalman, es ventajoso basar la determinación de ley de guiado en la matriz de covarianza de error.

35 Según una realización de la invención, el procedimiento comprende, además: almacenar información acerca de una pluralidad de tipos de objeto y qué ley de guiado utiliza, preferentemente, un tipo específico de objeto, identificar el tipo de objeto en función de dicha información almacenada y dicha supuesta ley de guiado. Si es difícil determinar el tipo de objeto, es decir, identificar el objeto, el resultado de la determinación mencionada anteriormente de qué ley de guiado sigue el objeto, para excluir al menos algunos tipos de objeto. Se puede combinar este conocimiento con características de identificación disponibles en los datos de los sensores. Por lo tanto, se mejora la identificación del objeto.

40 Según una realización de la invención, el procedimiento comprende: determinar si el objeto utiliza una supuesta ley de guiado que sigue automáticamente a la propia nave con un cierto grado de fiabilidad, y, si es así, producir un aviso de aproximación. Es ventajoso determinar si el objeto utiliza la supuesta ley de guiado con un cierto grado de fiabilidad en función de una componente estimada de error para la cinemática prevista. A partir de una estimación de si la suposición de que la ley de guiado del objeto sigue automáticamente a la propia nave se amolda bien a las mediciones o no, se puede deducir si el objeto está realmente dirigiéndose hacia la propia nave o no. Si el objeto está realmente dirigiéndose hacia la propia nave, se presenta un aviso de aproximación.

Según una realización de la invención, el procedimiento comprende: calcular la aceleración del objeto en función de dicho modelo cinemático, y determinar el estado cinemático previsto del objeto en función de la aceleración calculada. Es una ventaja calcular la aceleración del objeto, dado que se introduce directamente en las ecuaciones de la etapa predictiva del filtro de seguimiento.

50 Según un aspecto adicional de la invención, se consigue el objeto por medio de un programa de ordenador cargable directamente en la memoria interna del ordenador o de un procesador, que comprende porciones de código de soporte lógico para llevar a cabo las etapas del procedimiento según la invención, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador. El producto de programa de ordenador es suministrado bien en un soporte legible por ordenador o bien mediante una red, tal como Internet.

55 Según otro aspecto de la invención, se consigue el objeto mediante un soporte legible por ordenador que tiene un programa grabado en el mismo, cuando el programa se para hacer que un ordenador realice las etapas del procedimiento según la invención, y se ejecuta dicho programa en el ordenador.

5 Según otro aspecto de la invención, se consigue el objeto mediante un sistema para la determinación de la cinemática de un objeto en movimiento que comprende: un sensor que produce datos angulares para el objeto en varios momentos de observación, una unidad de inicialización de estado, que recibe datos angulares procedentes del sensor y en función de los mismos, determina un primer estado cinemático del objeto, y un filtro de seguimiento
10 que tiene una unidad de predicción, dispuesta para determinar un estado cinemático previsto del objeto en función de un modelo cinemático del objeto y al menos un estado cinemático determinado anteriormente del objeto, y una unidad de actualización del estado, que recibe datos angulares procedentes del sensor y el estado cinemático previsto del objeto, y en función de los mismos determinar un estado cinemático actualizado del objeto, que se caracteriza porque dicho modelo cinemático comprende una ley de guiado que sigue automáticamente una posición conocida.

Breve descripción de los dibujos

Se explicará ahora la invención con más detalle mediante la descripción de distintas realizaciones de la invención y con referencia a las figuras adjuntas.

- La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques de un sistema para la determinación de la cinemática de un objeto en movimiento según una realización de la invención.
- La Fig. 2 muestra un diagrama de bloques del filtro de seguimiento.
- La Fig. 3 ilustra un objeto que sigue una ley de guiado de persecución que sigue automáticamente a un blanco en movimiento.
- La Fig. 4 ilustra un objeto que sigue una ley de guiado de navegación proporcional que sigue automáticamente a un blanco en movimiento.
- La Fig. 5 ilustra, por medio de un diagrama de flujo, la predicción del siguiente estado.
- La Fig. 6 ilustra, por medio de un diagrama de flujo, un procedimiento para la determinación de la cinemática de un objeto en movimiento según una realización de la invención.
- La Fig. 7 ilustra, por medio de un diagrama de flujo, un procedimiento para la determinación de la cinemática de un objeto en movimiento según otra realización de la invención.

Descripción detallada de realizaciones preferentes de la invención

15 La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques de un sistema para determinar la cinemática de un objeto en movimiento según una realización de la invención. El sistema comprende al menos un sensor 1 con capacidad para producir mediciones angulares de un objeto en movimiento. El sensor está dispuesto, preferentemente, a bordo de la propia nave. La propia nave es un vehículo o un sitio en el que está ubicado el sistema. Los datos recibidos procedentes del sensor comprenden al menos un rumbo horizontal, pero también pueden comprender el ángulo de elevación. Las
20 mediciones de sensores adicionales ubicados en la propia nave, al igual que de fuentes externas, por ejemplo sensores en otra aeronave, buques, etc., cuyas mediciones o trazas pueden ser comunicadas a la propia nave y también pueden ser utilizadas para mejorar el seguimiento del objeto.

El sistema comprende una biblioteca 3 de objetos adaptada para almacenar leyes de guiado y parámetros de objetos para una pluralidad de distintos tipos de objeto. Para cada tipo de objeto se almacenan parámetros tales como el peso, la resistencia del aire, la resistencia aerodinámica y qué ley de guiado se supone que utiliza el objeto. La biblioteca también contiene un tipo genérico de objeto que tiene un conjunto de parámetros por defecto y una ley de guiado por defecto, que son utilizados cuando se desconoce el tipo del objeto.

El sistema comprende, además, una unidad 5 de selección adaptada para determinar el tipo del objeto en función de los datos angulares procedentes del sensor 1. La unidad de selección utiliza la biblioteca de objetos para intentar establecer el tipo de objeto al que pertenece el objeto. Si se pueden extraer suficientes características de identidad de las mediciones, se puede estimar el tipo de objeto. Para mejorar la determinación del tipo de objeto, también podría basarse en mediciones procedentes de un segundo sensor, o una fuente externa. Cuando se utilizan cualquier sensor o sensores de soporte, estas mediciones pueden ser utilizadas completa o parcialmente. Solo se utilizan las características de identidad dado que se supone que las mediciones angulares del sensor 1 son de
30 mucha mejor calidad que las del sensor de soporte.

Si se puede determinar el tipo de objeto a partir de las mediciones del sensor con un cierto grado de fiabilidad, se recuperan de la biblioteca 3 los parámetros del objeto y la supuesta ley de guiado. Si no se puede determinar el tipo de objeto, se recuperan de la biblioteca valores genéricos para los parámetros, y la ley genérica de guiado. Se realizan subsiguientes actualizaciones del filtro de seguimiento utilizando la ley de guiado y los parámetros determinados, a no ser que una medición del sensor indique que la suposición inicial fue errónea y se pueda realizar
40 un cambio a un tipo de objeto más creíble.

Normalmente, incluso los sensores activos no proporcionan suficiente información para asignar un tipo específico de objeto a una nueva traza con un grado suficientemente elevado de fiabilidad. En una realización alternativa, en vez de asignar directamente un tipo de objeto a la traza, se inicia una pluralidad de trazas paralelas para todos los tipos de objetos en la biblioteca, o para subconjuntos adecuados de los mismos. Se determina una pluralidad de tipos posibles de objeto en función de los datos angulares procedentes del sensor, y se inicia un número de trazas paralelas para todos los tipos posibles de objetos. El subconjunto de tipos posibles de objetos puede identificarse, por ejemplo, excluyendo tipos muy improbables de objetos en función de la información disponible del sensor, siempre que las mediciones contengan características distintivas.

Cuando el sensor 1 detecta un objeto no seguido anteriormente, se suministra la medición a una unidad 7 de inicialización. La unidad 7 de inicialización inició una nueva traza asignando valores a un nuevo vector X_0 de estado, y a una nueva matriz P_0 de covarianza. Si la medición entrante es pasiva, es decir no tiene información de alcance, se establece el alcance en un valor genérico aproximado. Un valor genérico adecuado para el alcance es el límite externo de detección del sensor. Para indicar la gran incertidumbre del alcance, se configuran muy elevados los componentes de la matriz P_0 de covarianza correspondiente. Se almacena la traza iniciada X_0, P_0 en una unidad 9 de almacenamiento.

Si es posible determinar el tipo del objeto en función de los datos del sensor, se envía la información acerca del tipo de objeto a un filtro 11 de seguimiento. El filtro 11 de seguimiento recupera la información acerca de los parámetros del objeto y de la supuesta ley de guiado de la biblioteca 3 de objetos. Se predicen las maniobras del objeto en el filtro 11 de seguimiento utilizando la supuesta ley de guiado deducida del tipo estimado de blanco. La predicción se realiza utilizando la cinemática de la propia nave, la supuesta ley de guiado del objeto y un vector de estado del objeto existente o iniciado, es decir, la cinemática estimada.

Un sistema según la invención puede comprender cualquier tipo de filtro de seguimiento que incluye una etapa predictiva. La tarea principal del filtro 11 de seguimiento es producir un vector X_t de estado. El vector X_t de estado refleja el estado cinemático del objeto, y comprende información acerca de la posición y la velocidad del objeto. Más en particular, el vector de estado comprende información acerca del ángulo horizontal, del ángulo de elevación, de la distancia radial, de la velocidad angular horizontal, de la velocidad angular de elevación y de la velocidad radial. Es particularmente adecuado describir el vector de estado en un sistema de coordenadas denominado coordenadas esféricas modificadas (MSC). El sistema de coordenadas MSC se utiliza a menudo en aplicaciones de seguimiento del rumbo, dado que desacopla el alcance y la variación del alcance de los estados no observables de los observables. Una ventaja del uso de las coordenadas esféricas modificadas es que se mejora la estabilidad del filtro con respecto, por ejemplo, a las coordenadas cartesianas.

Un filtro de seguimiento utilizado habitualmente para una estimación del estado es el denominado filtro de Kalman. El filtro de Kalman se describe con más detalle en el libro "Design and analysis of modern tracking systems" de S. Blackman, R. Popoli, Artech House, 1999, ISBN 1-58053006-0 y en "A new approach to linear filtering and prediction problems", de R.E. Kalman, Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering 82, pp. 34-45, marzo de 1960. Un filtro de Kalman comprende la funcionalidad de estimar una componente de error para el estado previsto, es decir, estimar la matriz P_t de covarianza para el error de su propia estimación de estado.

Se puede ver la matriz de covarianza como una medida de calidad de las estimaciones de estado. Esto es posible al introducir dos parámetros importantes de diseño. Uno de esos parámetros de diseño es la matriz de ruido de medición, que básicamente describe la varianza del ruido de medición. Puede ser concebida como la respuesta a la pregunta "¿Cuánto confiamos en las mediciones?". Normalmente, se conocen bien las características estadísticas de los sensores, haciendo que sea sencillo y directo formular el ruido de medición. El otro parámetro de diseño es la matriz de ruido de procesamiento; al describir el grado de fiabilidad, asignamos el modelo dinámico de objeto en el estado predictivo del filtrado.

En cada actualización del filtro, se calcula la denominada ganancia Kalman a partir del anterior estado y la matriz de covarianza, la medición y las matrices de ruido de procesamiento y la función de transición entre las mediciones y el vector de estado. Entonces, esta ganancia se convierte en una ponderación proporcional entre el estado previsto y la nueva medición. El filtro de Kalman calcula el siguiente estado por medio de la siguiente ecuación:

$$X(k+1) = \Phi x(k) + q(k) + f(k+1|k) \quad (1)$$

X = el vector de estado del objeto
 Φ = la matriz de transición de estado
 q = un procedimiento blanco gaussiano de promedio nulo con una supuesta covarianza conocida
 f = una supuesta entrada determinista conocida tal como los movimientos de la propia nave. Según la invención, f depende de las aceleraciones del objeto y de las aceleraciones de la propia nave.

También se supone que las mediciones y están relacionadas con el estado X según:

$$y(k) = h(x(k)) + v(k) \quad (2)$$

en la que v es el ruido blanco gaussiano de promedio nulo de medición con covarianza R .

5 En el caso de un misil en movimiento hacia una aeronave, la relación entre las mediciones angulares y el estado del misil es no lineal. Cuando se abordan relaciones no lineales entre las mediciones y los estados, se podría utilizar un filtro de Kalman extendido. Cuando se utiliza un filtro de Kalman extendido, normalmente se tiene que recalcularse la matriz de transición en cada actualización. La matriz de transición se calcula como una serie de Taylor. Las ecuaciones que han de utilizarse para recalcularse la matriz de transmisión implican ecuaciones de movimiento no lineal que tienen aceleraciones previstas del objeto, y las aceleraciones de la propia nave como variables. Por lo tanto, las aceleraciones del objeto y de la propia nave son entradas directas a las ecuaciones del filtro, y el siguiente estado previsto depende directamente de las aceleraciones del objeto y de la propia nave.

10 En "Implementation of an angle-only tracking filter" SPIE Vol. 1481 Signal Processing of small targets 1991 de R. R. Allen y S. S. Blackman, se describen los cálculos específicos implicados en un filtro de seguimiento únicamente de rumbo que utiliza un sistema de coordenadas MSC. Es preferible que los cálculos sean realizados en un denominado sistema de coordenadas RVH (radial, horizontal, vertical). El sistema de coordenadas RVH es un sistema de coordenadas cartesianas ortonormales con su origen en la propia nave, en el que se dirige la componente radial a lo largo de la línea de visión (LOS) desde el objeto hasta la propia nave, la componente horizontal es perpendicular a la LOS y se encuentra en el plano horizontal y la componente vertical es perpendicular a la LOS y se encuentra en el plano vertical.

15 Para predecir el comportamiento del objeto, se deben suministrar los propios datos M_T de navegación al filtro 11 de seguimiento, dado que esto se hace según la suposición de que el objeto sigue a la propia nave. Normalmente, los propios datos de navegación comprenden la propia posición, la propia velocidad y los propios vectores de aceleración. Las etapas básicas del filtro 11 de seguimiento son: recibir mediciones M_t procedentes del sensor, predecir el siguiente estado cinemático $X_{t+\Delta T}$ en función de las mediciones recibidas M_t , de los propios datos de navegación M_o y de un estado cinemático X_t determinado anteriormente del objeto, y calcular un nuevo estado cinemático $X_{t+\Delta T}$ y una matriz $P_{t+\Delta T}$ de covarianza para el objeto en función de la nueva medición y del estado previsto.

20 Si se ha iniciado una pluralidad de trazas paralelas, el sistema tiene que decidir cuál de las trazas paralelas ha de mantenerse y cuál ha de rechazarse. Esto se realiza en una unidad 13 de poda. La unidad 13 de poda está adaptada para determinar para cada traza si el objeto utiliza la supuesta ley de guiado con un cierto grado de fiabilidad, y si el grado de fiabilidad es inferior a un límite predeterminado para rechazar la traza. Para este fin se utiliza la matriz P de covarianza del filtro de seguimiento. Por lo tanto, durante la operación el conjunto de trazas disminuirá drásticamente, dado que la predicción de una traza utilizando parámetros incorrectos del objeto dará lugar a aumentos indicativos en las covarianzas estimadas de error.

25 El sistema también comprende una unidad 15 de ID, que determina el tipo de objeto determinando cuál de las trazas paralelas no se adecua óptimamente a las mediciones procedentes del sensor. En la biblioteca se enumera una pluralidad de tipos de objetos, y se almacena información sobre qué ley de guiado utiliza cada tipo de objeto. Es posible decidir cuál de las leyes de guiado sigue el objeto estudiando la matriz de covarianza de las trazas. Cuando es seguro qué ley de guiado sigue el objeto, también es posible determinar el tipo de objeto.

30 El sistema también comprende una unidad 17 de aviso de aproximación dispuesta para determinar si el objeto utiliza la supuesta ley de guiado con un cierto grado de fiabilidad, y para producir un aviso de aproximación si la supuesta ley de guiado del objeto sigue a la propia nave con un cierto grado de fiabilidad. La unidad 17 de aviso de aproximación está adaptada para determinar si el objeto utiliza la supuesta ley de guiado con un cierto grado de fiabilidad en función de la matriz de covarianza de la traza.

35 La Fig. 2 muestra el filtro 11 de seguimiento con más detalle. Se suministra a una unidad 20 de predicción los propios datos M_o de navegación y una traza estimada anteriormente X_t , P_t . La unidad 20 de predicción utiliza un modelo cinemático y el ruido de procesamiento para predecir la cinemática del objeto. El modelo cinemático describe, por ejemplo, el retardo debido a la aerodinámica y a la carga de giro. En un caso en el que haya una nueva medición M_t procedente del sensor, se suministra el estado previsto a una unidad 22 de actualización de la medición del filtro de seguimiento. La unidad 22 de actualización de la medición utiliza la nueva medición y el ruido de medición para calcular un nuevo estado cinemático $X_{t+\Delta T}$ y su covarianza $P_{t+\Delta T}$ como una suma ponderada de la nueva medición y del estado previsto.

40 Según la invención, se supone que el objeto, por ejemplo un misil, es guiado hacia un blanco, en este caso la propia aeronave, utilizando una ley de guiado.

45 Una ley de guiado es un modelo matemático que describe los movimientos del objeto, por ejemplo los giros del objeto, en función de la cinemática del objeto y de la cinemática del blanco seguido por el objeto. Se supone que la ley de guiado sigue automáticamente una posición conocida o un blanco cuya posición y velocidad son conocidas,

en este caso en la propia nave. Se debe hacer notar que se detecta fácilmente si la suposición es válida, dado que las mediciones entrantes que no coinciden con la cinemática prevista del objeto producirán incertidumbres mucho mayores a partir de la actualización del filtro.

5 Hay varias leyes conocidas de guiado. En las siguientes dos leyes de guiado bien conocidas, se describirán una denominada ley de guiado de persecución y una de navegación proporcional (PN). La Fig. 3 ilustra la ley de guiado de persecución. La ley de guiado de persecución supone que el objeto 24 navega directamente hacia la posición actual del blanco 26. Se denomina a la dirección entre el objeto y el blanco dirección de la línea de visión (LOS) y se denomina σ al ángulo entre la dirección de la línea de visión y el plano horizontal. El objeto 24 se desplaza con una velocidad v_o hacia la posición actual del blanco. El blanco 26 se desplaza con una velocidad v_t en una dirección distinta de la dirección de la línea de visión.

10 La Fig. 4 ilustra la ley de guiado de la navegación proporcional. En vez de navegar en la dirección de la línea de visión (LOS), el objeto 24 navega hacia una posición por delante del blanco 26. La navegación proporcional utiliza la velocidad de la línea de visión amplificada con una denominada constante C de navegación y una velocidad de aproximación como una aceleración lateral teleguiada. Esto da un comportamiento previsto del objeto, y se mueve por una trayectoria de interceptación del blanco. La aceleración lateral de un objeto guiado por una navegación proporcional se define como:

$$a_o = C\dot{\sigma}v_c \quad (3)$$

C = una constante entre 3 - 4,5

v_c = la velocidad de aproximación entre el objeto y el blanco.

20 $\dot{\sigma}$ = la velocidad de la línea de visión.

Para predecir el siguiente estado del objeto, se tiene que prever la aceleración lateral a_o del objeto. El modelo cinemático del objeto comprende una suposición de que el objeto sigue una ley de guiado, y se utiliza para predecir la aceleración del objeto. El modelo cinemático describe la dinámica física del objeto y comprende dos partes, una parte que describe la contribución a la aceleración debida a la resistencia del aire y a la gravedad, y la otra parte que describe la contribución de la aceleración debida a la ley de guiado. Se introducen en el modelo cinemático la cinemática estimada del objeto, los parámetros del objeto, tales como el peso, la resistencia del aire y la resistencia aerodinámica, la ley de guiado y la cinemática de la propia nave, tal como la posición, la velocidad y las aceleraciones. El modelo cinemático produce un vector previsto de aceleración del objeto.

30 Cuando se predice el siguiente estado, el filtro de seguimiento considera la aceleración del objeto. Se calcula el estado previsto en función de una aceleración estimada del objeto. Se estima la aceleración en función de una supuesta ley de guiado, de los parámetros del objeto, de la cinemática estimada del objeto y de la cinemática del blanco a partir de los propios datos de navegación. La Figura 5 ilustra por medio de un diagrama de flujo el cálculo de la nueva aceleración prevista del objeto, y un nuevo vector de estado, cuando se supone que el objeto utiliza la ley de navegación proporcional. Se recuperan los parámetros del objeto y una ley de guiado de la biblioteca de objetos, bloque 30. En el presente ejemplo de la realización, se supone que el objeto sigue la ley de navegación proporcional. Se calcula una velocidad v_c de aproximación en función de la velocidad del blanco, deducida de los propios datos M_o de navegación, y se calcula la velocidad del objeto en una etapa anterior de filtrado, deducida del anterior estado X_t , bloque 32. Se calcula la velocidad $\dot{\sigma}$ de la línea de visión en función de la cinemática del blanco, deducida de los propios datos M_o de navegación y de la cinemática del objeto deducida del anterior estado X_t , bloque 32.

Se calcula la aceleración teleguiada del objeto en función de la velocidad de aproximación y de la velocidad de la línea de visión calculadas. La aceleración teleguiada del objeto depende del tipo de ley de guiado que sigue el objeto. Por ejemplo, si se supone que el objeto sigue la ley de guiado de navegación proporcional, se calcula la aceleración teleguiada según la ecuación 3.

45 Se calcula una nueva velocidad prevista del objeto en función de la velocidad del objeto, de la resistencia del aire y de la resistencia aerodinámica del objeto estimadas anteriormente. Se calcula una nueva aceleración prevista del objeto mediante el modelo cinemático. Se calcula la nueva aceleración prevista del objeto en función de la velocidad estimada anteriormente del objeto, de la nueva velocidad calculada del objeto y del tiempo de muestra ΔT en el sistema, bloque 34. Se calcula un nuevo vector $X_{t+\Delta T}$ de estado en función de la nueva velocidad prevista, por medio de la ecuación 1, y se calcula una nueva matriz $P_{t+\Delta T}$ de covarianza, bloque 36.

55 La Fig. 6 ilustra, por medio de un diagrama de flujo, una realización del procedimiento según la invención y se comprenderá que cada bloque del diagrama de flujo puede ser implementado por instrucciones de un programa de ordenador adecuadas para ser ejecutadas en una unidad de procesador. El punto inicial es que la propia nave no tiene una indicación de que se está disparando un misil contra la misma y, por lo tanto, no se ha iniciado ninguna traza. Cuando el sensor detecta un objeto en movimiento, por ejemplo un lanzamiento de misil, o un misil que se aproxima, se envía al sistema de seguimiento una medición M_t de la posición que contiene el rumbo y la elevación.

Si hay presentes posibles características de identificación, estas también son enviadas junto con la medición. El sistema recibe la medición M_t y las características identificativas procedentes del sensor.

5 Cuando el sensor detecta un objeto no seguido anteriormente, se determina un tipo de objeto en función de las mediciones recibidas, bloque 40. Si es posible determinar el tipo de objeto, se recuperan de la biblioteca de objetos la supuesta ley de guiado y los parámetros del objeto, bloque 42. De lo contrario, se asigna al objeto una ley genérica de guiado, y se asignan valores genéricos a los parámetros del objeto. Se envía la información acerca de la ley de guiado y los parámetros del objeto a la unidad de filtrado. Se suministra la medición M_t a la unidad de inicialización, que determina un vector inicial X_0 de estado cinemático que comprende la posición y la velocidad estimadas del objeto, y una matriz P_0 de covarianza de error de estimación del estado correspondiente, bloque 44.
10 El vector X_0 de estado y la matriz P_0 de covarianza forman la nueva traza. Por lo tanto, se inicia una nueva traza y se almacenan el nuevo vector de estado y su matriz de covarianza en la unidad de almacenamiento.

A partir de entonces, se actualiza reiteradamente la traza. La actualización del seguimiento tiene lugar en el filtro de seguimiento. Se determina un nuevo estado cinemático previsto, en función de los parámetros del objeto, de la supuesta ley de guiado y del estado cinemático determinado anteriormente, bloque 46. Si hay una nueva medición M_t procedente del sensor, bloque 48, se actualiza la traza calculando un nuevo estado cinemático $X_{t+\Delta T}$ y su matriz $P_{t+\Delta T}$ de covarianza como una suma ponderada de la nueva medición y del estado previsto, bloque 50. Si no hay una nueva medición, se establece el estado actualizado como el nuevo estado previsto. Se suministra la traza actualizada de nuevo a la unidad de almacenamiento. Se repite esta actualización, a no ser que se cancele la traza. La cancelación de una traza puede realizarse, por ejemplo, sometiendo a un valor umbral las incertidumbres calculadas en la matriz de covarianza. Cuando la incertidumbre del alcance aumenta hasta un grado absurdo, se presume que la suposición inicial de que el objeto detectado seguía a la propia nave era incorrecta.
15
20

La Fig. 7 ilustra, por medio de un diagrama de flujo, otra realización del procedimiento según la invención. Se reciben mediciones angulares M_t procedentes del sensor, y, considerando las mediciones, se determinan uno o más tipos probables del objeto. Con cada tipo de objeto hay asociados una ley de guiado y una pluralidad de parámetros del objeto. Por lo tanto, se determinan una o más posibles leyes de guiado en función de las mediciones recibidas, bloque 52. Para cada una de las leyes determinadas de guiado, se calcula una nueva traza $X^1_0, P^1_0 \dots X^n_0, P^n_0$, bloque 54. El filtro de seguimiento determina reiteradamente nuevos estados cinemáticos previstos para las trazas paralelas, bloque 56. Si hay una nueva medición procedente del sensor, bloque 58, se actualiza la traza calculando un nuevo estado cinemático $X_{t+\Delta T}$ y su covarianza $P_{t+\Delta T}$ como una suma ponderada de la nueva medición y del estado previsto, bloque 60. Si no hay una nueva medición, se establece el estado previsto como el nuevo estado filtrado.
25
30

Al considerar continuamente la matriz de covarianza de error para cada traza, es posible determinar si el objeto sigue la traza o no. Si la matriz de covarianza aumenta significativamente se rechaza la traza, bloque 64. Si la matriz de covarianza sigue baja o incluso disminuye, es probable que el objeto siga la traza, es decir, el objeto utiliza la supuesta ley de guiado y sigue a la propia nave. Para el caso en el que se utiliza un misil que sigue una aeronave y un sensor pasivo, es adecuado el uso de la covarianza para los estados no observables, tales como la distancia y la velocidad de aproximación para decidir si el objeto sigue la traza o no. Cuando se ha establecido que el objeto sigue una traza con un cierto grado de fiabilidad, se determina el tipo de objeto en función de la ley de guiado y de los parámetros utilizados para la traza, bloque 66. Si la suposición de que el objeto sigue a la propia nave parece ser correcta, se genera un aviso de aproximación.
35
40

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento en la propia aeronave para la determinación de la cinemática de un objeto (24) en movimiento que comprende:
 - recibir datos angulares (M) para el objeto en varios momentos de observación;
 - determinar un primer estado cinemático (X_0) del objeto, en función de los datos angulares en un primer momento de observación;
 - determinar un estado cinemático previsto del objeto, en función de un modelo cinemático del objeto y al menos un estado cinemático determinado anteriormente (X_i) del objeto, y
 - determinar en un momento subsiguiente de observación, un estado cinemático subsiguiente ($X_{i+\Delta T}$) del objeto en función de dicho estado cinemático previsto del objeto y datos angulares para el objeto, **caracterizado porque** dicho modelo cinemático comprende una suposición de que el objeto sigue ley de guiado que sigue automáticamente a dicha propia aeronave.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el procedimiento comprende recibir datos cinemáticos para la propia aeronave, y determinar dicho estado cinemático previsto del objeto (24) en función de los datos cinemáticos recibidos para la propia aeronave.
3. Un procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** comprende:
 - almacenar más de una ley de guiado;
 - suponer que el objeto utiliza una de dichas leyes almacenadas de guiado,
 - determinar una supuesta ley de guiado en función de dichas leyes almacenadas de guiado y dichos datos angulares recibidos (M), y
 - determinar dicho estado cinemático previsto subsiguiente del objeto, en función de dicha supuesta ley de guiado.
4. Un procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** comprende:
 - almacenar una pluralidad de tipos de objeto y asociar cada tipo de objeto con una de dichas leyes almacenadas de guiado,
 - determinar el tipo de objeto en función de dichos datos angulares recibidos, y
 - determinar dicha supuesta ley de guiado dependiendo del tipo determinado de objeto.
5. Un procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** comprende:
 - determinar más de un estado cinemático previsto del objeto, determinándose cada estado previsto en función de una de dichas leyes almacenadas de guiado,
 - estimar una componente de error para los estados cinemáticos previstos en función de dichos datos angulares recibidos, y
 - determinar dicha supuesta ley de guiado en función de dichas componentes estimadas de error.
6. Un procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado porque** dicha componente de error es la matriz (P) de covarianza de error para el estado cinemático previsto.
7. Un procedimiento según la reivindicación 5 o 6, **caracterizado porque** comprende:
 - almacenar información acerca de una pluralidad de tipos de objeto y qué ley de guiado utiliza preferentemente un tipo específico de objeto, e
 - identificar el tipo de objeto en función de dicha información almacenada y dicha supuesta ley de guiado.
8. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 - 7, **caracterizado porque** comprende:
 - determinar si el objeto utiliza la supuesta ley de guiado con un cierto grado de fiabilidad, y
 - producir un aviso de aproximación si la supuesta ley de guiado del objeto sigue la propia aeronave con un cierto grado de fiabilidad.
9. Un procedimiento según la reivindicación 8, **caracterizado porque** comprende:
 - estimar una componente (P) de error para el estado cinemático previsto en función de dichos datos angulares recibidos, y
 - determinar si el objeto utiliza la supuesta ley de guiado con un cierto grado de fiabilidad en función de la componente estimada de error.
10. Un procedimiento según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque** la determinación de la cinemática del objeto comprende determinar la posición del objeto con respecto a la propia aeronave, y

determinar la velocidad de aproximación del objeto, y porque dicho estado cinemático comprende información acerca de la posición y la velocidad del objeto.

11. Un procedimiento según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque** dichos datos angulares (M) comprenden al menos un rumbo horizontal.
- 5 12. Un procedimiento según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque** comprende calcular la aceleración del objeto en función de dicho modelo cinemático, y determinar el estado cinemático previsto del objeto en función de la aceleración calculada.
13. Un programa de ordenador cargable directamente en la memoria interna de un ordenador, que comprende un soporte lógico para llevar a cabo las etapas de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 12.
- 10 14. Un soporte legible por ordenador, que tiene un programa grabado en el mismo, siendo el programa para hacer que el ordenador lleve a cabo las etapas de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 12, cuando se ejecuta dicho programa en el ordenador.
15. Un sistema en la propia aeronave para la determinación de la cinemática de un objeto en movimiento, que comprende:
- 15 - un sensor (1) que produce datos angulares para el objeto en varios momentos de observación;
 - una unidad (7) de inicialización de estado, que recibe datos angulares procedentes del sensor y en función de los mismos determinar un primer estado cinemático del objeto, y
 - un filtro (11) de seguimiento que tiene una unidad (20) de predicción, dispuesto para determinar un estado cinemático previsto del objeto en función de un modelo cinemático del objeto y al menos un estado cinemático determinado anteriormente del objeto, y una unidad (22) de actualización del estado, que recibe datos angulares procedentes del sensor y el estado cinemático previsto del objeto, y en función de los mismos determinar un estado cinemático actualizado del objeto,
- 20 **caracterizado porque** dicho modelo cinemático comprende una ley de guiado que sigue automáticamente a dicha propia aeronave.
- 25 16. Un sistema según la reivindicación 15, **caracterizado porque** dicha unidad de predicción está dispuesta para recibir datos cinemáticos para la propia aeronave y, en función de los mismos, determinar dicho estado cinemático previsto del objeto.
- 30 17. Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 15 - 16, **caracterizado porque** comprende una biblioteca (3) adaptada para almacenar más de una ley de guiado, y una unidad (5) de selección de la ley de guiado dispuesta para determinar una supuesta ley de guiado en función de dichas leyes almacenadas de guiado y dichos datos angulares recibidos, y porque dicha unidad (20) de predicción está dispuesta para determinar el estado cinemático previsto del objeto en función de dicha supuesta ley de guiado.
- 35 18. Un sistema según la reivindicación 17, **caracterizado porque** dicha biblioteca (3) está adaptada para almacenar una pluralidad de tipos de objeto, estando asociado cada tipo de objeto con una de dichas leyes almacenadas de guiado, y dicha unidad (5) de selección de la ley de guiado está dispuesta para recibir dichos datos angulares y, en función de los mismos, determinar el tipo de objeto, y para determinar la supuesta ley de guiado dependiendo del tipo determinado del objeto.
- 40 19. Un sistema según la reivindicación 17, **caracterizado porque** dicho filtro (11) de seguimiento está dispuesto para determinar más de un estado cinemático previsto del objeto en función de dichas leyes almacenadas de guiado, y para estimar una componente (P) de error para los estados cinemáticos previstos (X) en función de los datos angulares, y porque el sistema está adaptado para determinar dicha supuesta ley de guiado en función de dichas componentes estimadas de error.
- 45 20. Un sistema según la reivindicación 19, **caracterizado porque** dicha componente de error es la matriz (P) de covarianza de error para el estado cinemático previsto.
- 50 21. Un sistema según la reivindicación 19 o 20, **caracterizado porque** dicha biblioteca (3) está adaptada para almacenar información acerca de una pluralidad de tipos de objetos, y qué ley de guiado utiliza preferentemente un tipo específico de objeto, y porque el sistema comprende un módulo (15) de identificación dispuesto para identificar el tipo de objeto en función de dicha información almacenada y dicha supuesta ley de guiado.
22. Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 17 - 21, **caracterizado porque** comprende una unidad (17) de aviso de aproximación dispuesta para determinar si el objeto utiliza la supuesta ley de guiado con un cierto grado de fiabilidad, y para producir un aviso de aproximación si la supuesta ley de guiado del objeto sigue a la propia nave con un cierto grado de fiabilidad.

- 5
23. Un sistema según la reivindicación 22, **caracterizado porque** dicho filtro (11) de seguimiento está dispuesto para recibir los datos angulares y, en función de los mismos, estimar una componente (P) de error para el estado cinemático previsto (X) y porque dicha unidad (17) de aviso de aproximación está adaptada para determinar si el objeto utiliza la supuesta ley de guiado con un cierto grado de fiabilidad en función de la componente estimada de error.
- 10
24. Un sistema según la reivindicación 15, **caracterizado porque** la determinación de la cinemática del objeto comprende determinar la posición del objeto con respecto a la propia aeronave, y determinar la velocidad de aproximación del objeto, y porque dicho estado cinemático comprende información acerca de la posición y de la velocidad del objeto.
25. Un sistema según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, **caracterizado porque** dichos datos angulares (M) comprenden al menos un rumbo horizontal.
26. Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 15 - 25, **caracterizado porque** dicha unidad (20) de predicción está adaptada para calcular la aceleración del objeto en función de dicho modelo cinemático, y para determinar el estado cinemático previsto del objeto en función de la aceleración calculada.
- 15
27. El uso de un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 15 - 26 en una aeronave para una determinación pasiva de la cinemática de un misil.

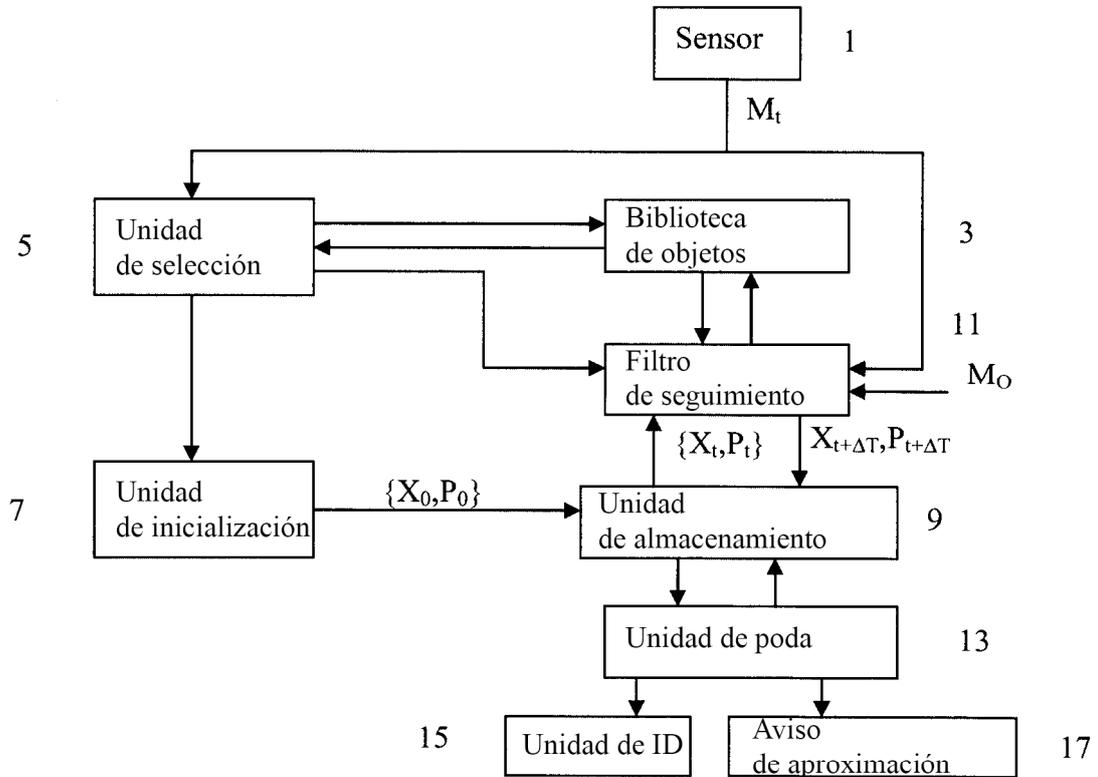


Fig. 1

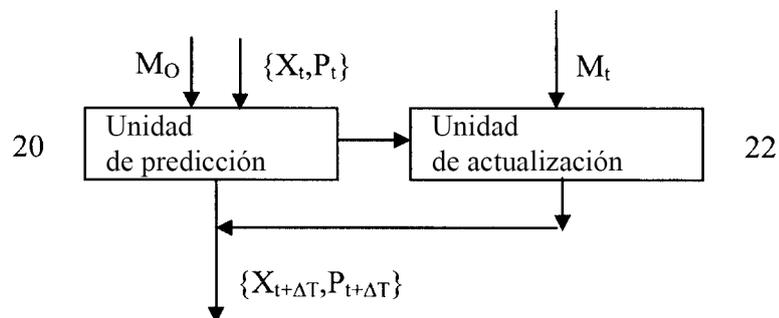


Fig. 2

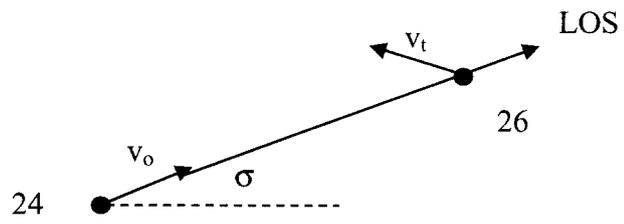


Fig. 3

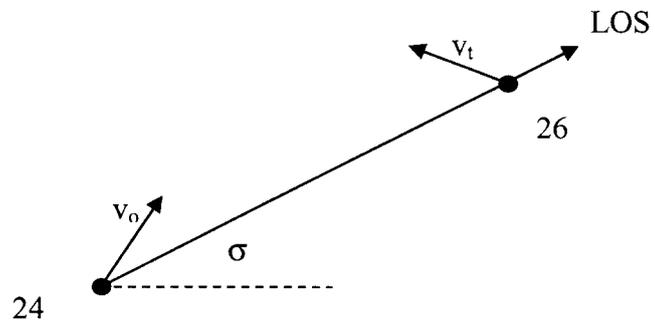


Fig. 4

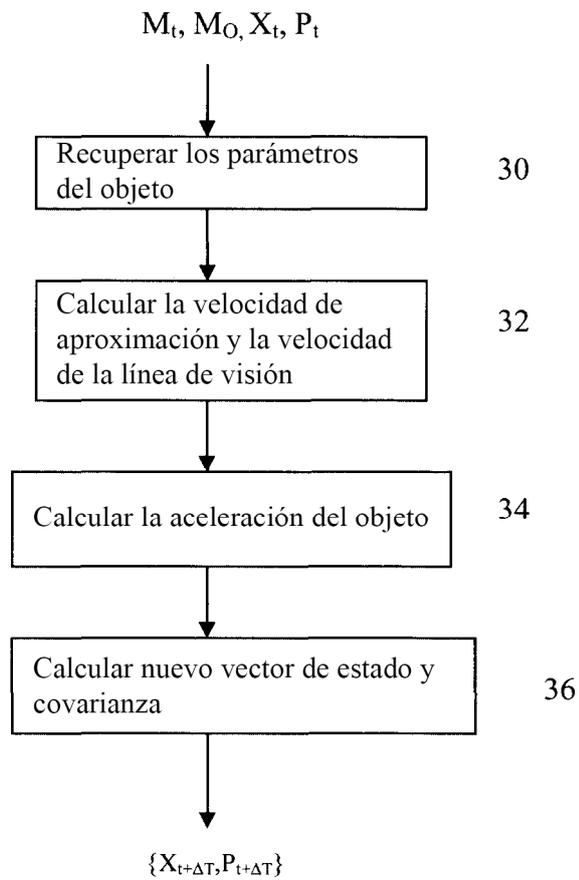


Fig. 5

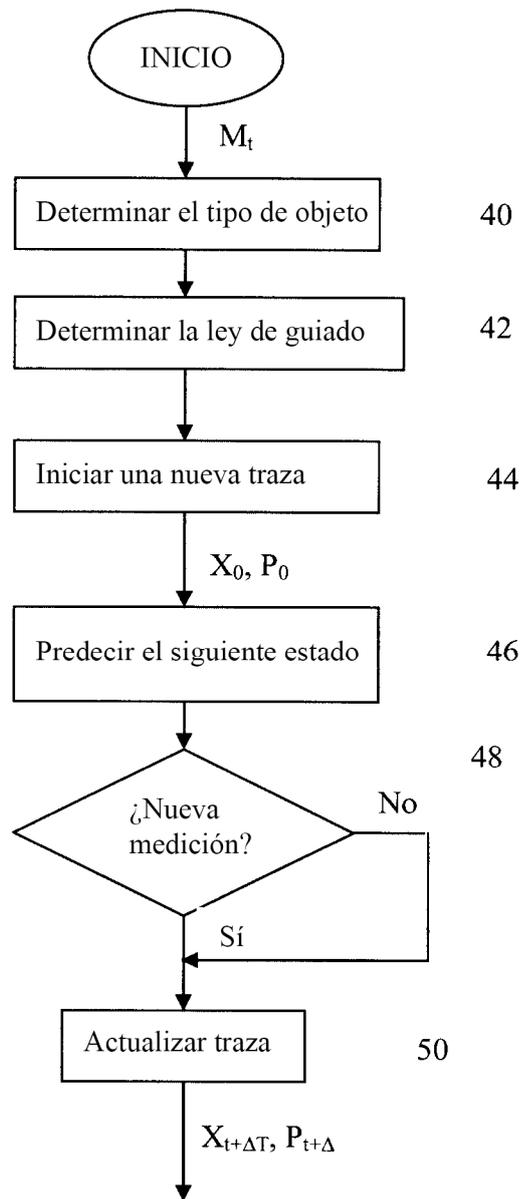


Fig. 6

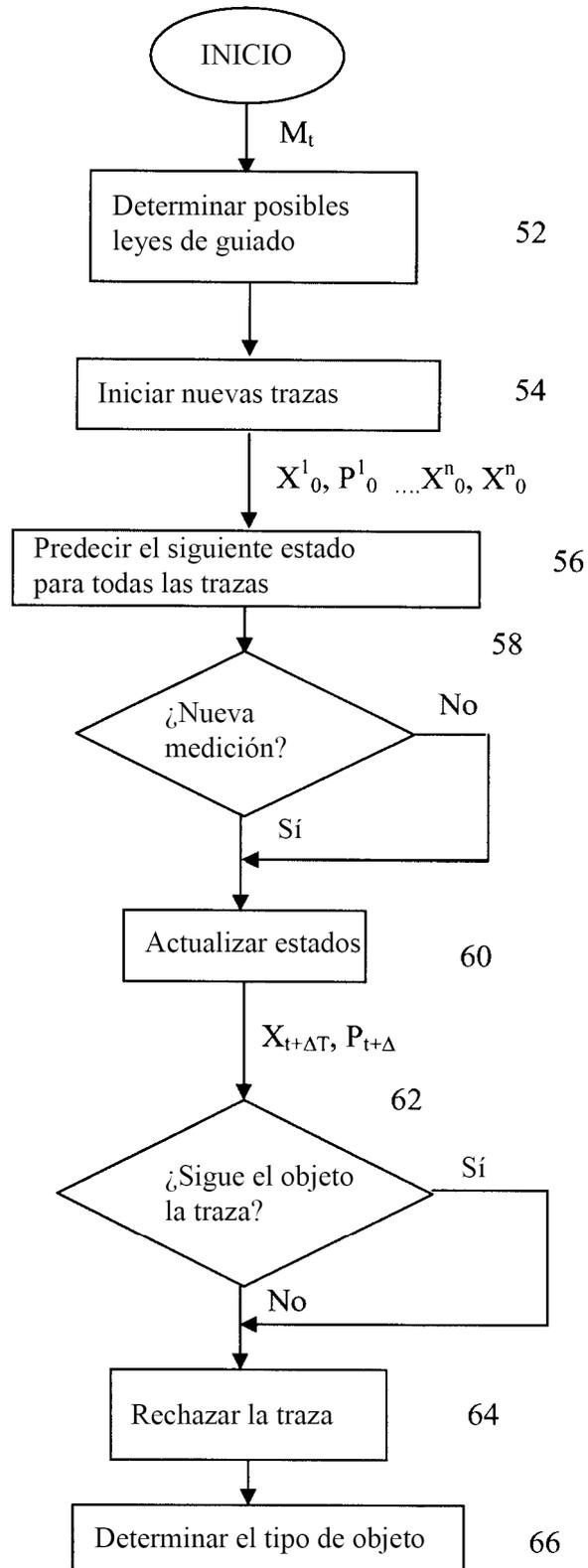


Fig. 7