

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 777**

51 Int. Cl.:

G01S 13/72 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02746238 .1**

96 Fecha de presentación: **19.06.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1405098**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.04.2004**

54 Título: **Procedimiento para el seguimiento de blancos de objetos**

30 Prioridad:

28.06.2001 SE 0102328

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

28.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

28.12.2012

73 Titular/es:

**SAAB AB (100.0%)
581 88 Linköping, SE**

72 Inventor/es:

**TYRBERG, ANDREAS y
ARTEBRANT, ROBERT**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 393 777 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para el seguimiento de blancos de objetos

Área técnica

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para el seguimiento de blancos de objetos por medio de observaciones procedentes de un sensor, en el que a una región geográfica, dentro de la cual al menos un objeto está situado, se le asigna un número de estados determinado de antemano, y la región geográfica se divide en subregiones. Los datos del terreno son tomados en consideración en el procedimiento.

Estado de la técnica

10 Cuando el radar es utilizado para llevar a cabo el reconocimiento de objetos en el aire, pueden producirse falsos ecos a consecuencia de la lluvia y a consecuencia de los cambios atmosféricos del viento. Estos falsos ecos son, en general, tan débiles que no representan problemas a la hora de diferenciar dichos ecos respecto de los ecos reales procedentes de aeronaves. La situación es en cierto modo diferente cuando el radar se utiliza para llevar a cabo reconocimientos de objetos situados en el suelo, en tanto en cuanto estructuras tales como la vegetación y las irregularidades de la superficie dan lugar a ecos que son tan fuertes como los recibidos de los objetos que están
15 siendo buscados, mientras que los falsos ecos son al mismo tiempo mucho más dispersos.

20 Cuando los blancos están siendo objeto de seguimiento sobre el suelo, la topografía del escenario impone restricciones acerca de las posibles maniobras y velocidades de un vehículo. Por ejemplo, un vehículo que llegue a una intersección puede (después de frenar) continuar desplazándose a lo largo de cualquiera de las carreteras secundarias. Por otro lado, los vehículos que se están desplazando a lo largo de una calzada, sobre un puente o dentro de un túnel, lo más probable es que encuentre una sola dirección posible de desplazamiento continua. Así mismo, diferentes tipos de vehículos están sometidos a diferentes condiciones en términos de su capacidad para mantener su avance por el terreno. Un carro de combate está en mejores condiciones de desplazarse a campo
25 travesía que un coche de pasajeros.

30 El terreno no solo impone restricciones acerca de la capacidad de avance de un vehículo. Tipos diferentes de terrenos pueden, así mismo, ocultar el vehículo al radar, de forma que no pueda ser observado. La ausencia de observaciones puede ser atribuible a un vehículo el cual haya sido, por ejemplo, conducido por el interior de un túnel, o que se encuentre oculto por unos árboles o porque se haya introducido en una sombra de radar proyectada por colinas o montañas.

35 El terreno puede, así mismo, dar origen a falsas alarmas. Un sistema de radar que esté registrando objetos puede ser sensible al terreno circundante y a los movimientos existentes en dicho terreno con el fin de ser capaz de diferenciar los blancos situados en el suelo existentes en el terreno. El viento puede provocar que los árboles u otro tipo de vegetación se mueva en la medida suficiente para provocar ecos de radar. Ello puede constituir un problema en el curso del inicio del seguimiento, en tanto en cuanto determinadas áreas con una elevada incidencia de falsas alarmas, como por ejemplo áreas arboladas, pueden dar lugar a un número considerable de ecos dentro de un área limitada, lo que se traduce en errores de seguimiento de los blancos.

40 El comportamiento dinámico del blanco situado en el suelo puede, así mismo, variar tanto con respecto al tipo de vehículo como a la conformación del terreno en el momento de que se trate. Con el fin de conseguir un procedimiento de seguimiento de blancos situados en el suelo que alcance una gran eficacia se requiere un procedimiento que contenga una pluralidad de diferentes modelos que tomen en consideración los distintos tipos de vehículos y su capacidad para avanzar por el terreno, así como las restricciones generales constituidas por la topografía.

45 El trabajo de KEC et al.: "Análisis comparativo de las técnicas alternativas de seguimiento de blancos en grupos" ["Comparative analysis of alternative group target tracking technique"] PROCEEDING OF THE THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION FUSION. FUSION 2002 vol. 2, 10 de julio de 2000 - 3 de julio de 2000, páginas 3 a 10, XP 010505074 divulga un procedimiento de seguimiento de blancos mediante una técnica basada en el HMM. Una región es dividida en una pluralidad de subregiones de forma que éstas forman un patrón de cuadrícula. Las subregiones se disponen unas al lado de otras y no se superponen geográficamente.

50 El documento US 5,289,189 divulga un procedimiento para la reducción de los errores de seguimiento dentro de un área compuesta por unas regiones de vigilancia fijas adyacentes, presentando una primera región de borde que contacta con una zona de borde de una segunda región.

Descripción de la invención

Los problemas y las limitaciones expuestas en las líneas anteriores se resuelven mediante el procedimiento de acuerdo con la reivindicación adjunta 1.

En una forma de realización preferente del procedimiento, se crea una región de estados para cada intervalo de tiempo, en la región de estados en la cual es probable que se encuentre la nueva observación.

En otra forma de realización adicional de la invención, la observación que tiene la probabilidad más alta de caer dentro de la región de estados se selecciona como la nueva observación para el seguimiento de blancos.

- 5 En una forma de realización que se refiere a una pluralidad de objetos, se inicia un seguimiento de blancos separado para cada objeto.

10 En una forma de realización preferente que se refiere a aplicaciones paralelas de seguimiento de blancos, se establece una región de estados para cada seguimiento de blancos para cada intervalo de tiempo, tras lo cual cada respectiva región de estados es la región en la cual es probable que se encuentre una nueva observación para cada respectivo seguimiento de blancos.

En otra forma de realización preferente adicional referida a aplicaciones paralelas de seguimiento de blancos, se lleva a cabo una elección en cuanto a cuál sea la región de estados a la que pertenece una observación cuando hay regiones de estados que se superponen, de forma que los seguimientos de blancos con el menor número de observaciones dentro de la región de estado seleccionan en primer término una nueva observación.

15 **Breve descripción de las figuras**

Figura 1 División de una región geográfica en nueve subregiones.

Figura 2 Ejemplo de la creación de los seguimientos de blancos potenciales en base a dos barridos de radar. Las observaciones de radar se representan en forma de puntos. De las observaciones, unos pares de observaciones cualificadas para la obtención de un criterio para la obtención de pares son marcadas en la imagen superpuesta.

20

Figura 3 Velocidad del blanco situado en el suelo representada en el estado de la velocidad.

Descripción de formas de realización

25 Un modelo Markov oculto (HMM) se define para su uso en el seguimiento de blancos situados en el suelo. La región geográfica en la cual el vehículo se está desplazando se representa mediante una cuadrícula rectangular. Cada cuadro se corresponde con un estado S_i en el modelo Markov. Las probabilidades a_{ij} de las transiciones con independencia del tiempo dentro de la matriz de transición proporcionan una medida tanto del posible desplazamiento geográfico del vehículo como del tipo de terreno en los estados S_i y S_j . La extensión geográfica del estado y las actualizaciones del tiempo se eligen de tal manera que las transiciones son posibles solo hacia los estados circundantes, lo que significa que solo nueve probabilidades de transición independientes a partir de cero están asociadas con cada estado. En el caso más sencillo, el terreno puede ser de solo dos tipos, carretera y a campo traviesa.

30

La magnitud de la probabilidad de las transiciones depende del tipo de terreno de acuerdo con el principio de que si el estado es una carretera, entonces existe una mayor probabilidad de que el estado siguiente sea, así mismo, una carretera, esto es, si el vehículo se está desplazando sobre una carretera, entonces existe una mayor probabilidad de que continúe desplazándose sobre la carretera de que se desplace a campo traviesa.

35

El estado efectivo en el que el vehículo está presente no se observa de forma directa, sino que, por el contrario, unas observaciones O_1 procedentes del sensor de radar sirven como parámetros de entrada del modelo. A continuación, se utiliza un algoritmo Viterbi para calcular las secuencias de mayor probabilidad de los estados, $q^*_1, q^*_2, \dots, q^*_t$, esto es, la trayectoria estimada del vehículo.

40 La región geográfica se divide en regiones más pequeñas con el fin de reducir el número de computaciones. El algoritmo de Viterbi utilizado para estimar la secuencia de estados puede resultar de una computación intensiva grado sumo si la región geográfica es amplia y, de esta manera, resulta representada por un gran número de estados. Esta división no provoca ningún problema, dado que los estados han sido escogidos para que el vehículo pueda solo ser desplazado hasta un estado espacialmente adyacente.

45 La región geográfica se divide de antemano en L subregiones $A_1 A_2 \dots A_L$, donde cada subregión contiene $n_d \times m_d$ estados. Las subregiones se superponen entre sí por la mitad de sus extensiones geográficas, esto es si cada subregión se divide a su vez en cuatro partes, entonces esas partes serán comunes a otras cuatro subregiones. De esta manera, cualquier estado que no se sitúe dentro de una distancia de la mitad de una subregión con respecto al límite de la región geográfica total será común a cuatro subregiones. La Figura 1 muestra el aspecto de una división de una división geográfica en nueve subregiones. Cada cuadro se corresponde con un cuarto de una subregión, y contiene $n_d / 2 \times m_d / 2$ estados.

50

Para cada subregión hay una matriz de transición que representa el terreno de la subregión. Además de los estados geográficos N , cuatro estados adicionales han sido incorporados para representar otras tantas transiciones a otras subregiones. Estos cuatro estados representan, respectivamente, las transiciones en una dirección norte, este, sur y

oeste, y se designan S_{n+1} , S_{n+2} , S_{n+3} , y S_{n+4} . La probabilidad de transición de estos estados es cero para todos los estados que no estén situados en posición adyacente al límite de la subregión, dado que el vehículo puede solo desplazarse hasta un estado adyacente. En el caso de estados que no se sitúen en posición adyacente al límite de la subregión, las probabilidades de transición se calculan de la forma usual, esto es, el valor de la probabilidad de las transiciones a_{ij} depende de los tipos de terreno en el estado i y del estado j . Para estas probabilidades de transición hacia estados que están situados fuera del límite, esto es, en otra subregión, las probabilidades de transición se combinan en el estado que se corresponde con una transición a esa subregión.

El proceso de seguimiento de un blanco situado en el suelo dentro de una región geográfica que está dividida en subregiones puede ser descrito de la manera siguiente:

- 1) El inicio de un seguimiento de un blanco. El seguimiento se inicia en la subregión A_1 , donde la primera observación O_1 es la situada en la posición más central. La disposición inicial π de las probabilidades sobre la subregión escogida depende únicamente del terreno existente en el área.
- 2) La actualización del seguimiento del blanco. La secuencia de estados estimada es actualizada respecto de cada nueva actualización mediante, por ejemplo, un seguidor regional del HMM. La actualización continúa hasta que se ha completado el proceso de seguimiento total (avanzar hacia la etapa 5), o hasta que $\delta_t(i)$ para cualquier estado i que sea mayor de N sea distinto de cero, esto es, hasta que exista una determinada probabilidad de que el vehículo esté en otra subregión.
- 3) El cambio de subregiones. El seguimiento continúa en la subregión adyacente situada en la dirección representada por el estado de transición S_i para el estado i que sea mayor de N y $\delta_t(i)$ sea distinto de cero. En el caso de que $\delta_t(i)$ para dos estados de transición sea distinto de cero, el seguimiento comenzará dentro de la subregión que esté situada en la dirección representada por los dos estados combinados, esto es, suroeste, sudeste, noroeste o noreste.
- 4) El inicio del seguimiento del blanco para una nueva subregión. Como distribución inicial π de las probabilidades con respecto a la nueva subregión utilizamos $\delta_{t-1}(i)$ respecto del seguimiento anterior para aquellos estados que sean comunes a ambas subregiones, esto es, el seguimiento del blanco en la nueva subregión comienza precisamente donde terminó el seguimiento del blanco para la antigua subregión. Las extensiones geográficas de las subregiones se escogen en base a la precisión del radar, de forma que la extensión geográfica $\delta_t(i)$ es más pequeña que la mitad de una subregión; de esta manera, nunca perdemos ningún tipo de información al cambiar de subregiones, dado que todos los estados en los que $\delta_t(i)$ sea distinta de cero será común a ambas subregiones. Retornar a la etapa 2.
- 5) Conclusión. Una secuencia estimada de estados secundarios para cada subregión puede ser generada una vez que se ha completado el seguimiento del blanco a partir de una subregión. Los seguimientos de blancos secundarios pueden, a continuación, ser unidos entre sí para obtener un seguimiento del blanco total. Para evitar transiciones de estados no permisibles al cambiar entre seguimientos de objetos secundarios, puede llevarse a cabo un seguimiento de retroceso a través de la entera secuencia de estados, una vez que se haya completado con claridad el seguimiento del blanco. Como alternativa, el seguimiento de retroceso puede llevarse a cabo a través de dos subregiones de una vez, de forma que resulte permisible el enlace entre subregiones.

Cuando se trate del seguimiento en el terreno de múltiples objetos en un entorno con ecos u observaciones falsos de sensor, se necesita un procedimiento para la determinación acerca de cuándo necesita ser iniciado un nuevo seguimiento del blanco. Los datos son recogidos a partir de una secuencia de barridos de radar y se evalúa la posibilidad de que contengan secuencias de observación que se deriven del blanco situado en el suelo. Si tal resulta ser el caso, entonces se inicia un nuevo seguimiento del blanco.

Para dos barridos de radar consecutivos, se forman pares potenciales de observaciones a partir de ambos barridos que pudieran derivar de nuevos blancos situados en el suelo. El criterio para la formación de un par es que las observaciones pueden no estar espacialmente separadas en mayor medida de la razonable en base a las transiciones posibles de estados de los blancos situados en el suelo y de las propiedades del radar. La Figura 2 muestra un ejemplo de la forma en que se obtienen seguimientos de blancos potenciales en dos barridos de radar consecutivos.

Con el fin de que estos pares de observaciones de medición sean considerados como un nuevo seguimiento del blanco, deben producirse observaciones adicionales que satisfagan los criterios expuestos con anterioridad en los barridos de radar subsiguientes. El número de observaciones que se necesita antes de que se inicie un nuevo seguimiento del blanco se selecciona en base a la incidencia de las falsas alarmas y a la importancia relativa del inicio de manera rápida del seguimiento de los blancos situados en el suelo con respecto a la evitación de la iniciación de seguimientos del blanco falsos.

Una pluralidad de seguimientos de blancos hipotéticos se crea con cada barrido de radar. Dichos seguimientos se guardan y se actualizan hasta que no exista ninguna observación que los permita o hasta que sean clasificados como un seguimiento de blanco real. Si un seguimiento de un blanco hipotético es clasificado como un seguimiento

de un blanco real, se inicia un nuevo seguimiento a partir de una primera observación del seguimiento de blanco hipotético. Dentro del nuevo proceso de seguimiento, la distribución inicial π de probabilidades se elige en base a las propiedades del terreno de los alrededores. La secuencia de estados $q_1, q_2 \dots q_t$ para el nuevo seguimiento del blanco es extrapolada con respecto al tiempo actual t en base a las observaciones efectuadas en el seguimiento del blanco hipotético.

El seguimiento respecto del nuevo seguimiento de blanco es actualizado para los subsiguientes barridos de radar.

Un exceso de seguimientos de blancos hipotéticos se traduce en una pesada carga computacional, y en una sobrecarga para la memoria. Como resultado de ello es muy importante ser capaz de, en las etapas tempranas, descartar los seguimientos de blancos hipotéticos que se deriven de falsas alarmas. Mediante la incorporación de un criterio estricto de formación de pares, esto es, mediante la limitación de forma drástica de la separación espacial mínima permitida entre dos observaciones consecutivas si es que van a constituir un par, se reducirá la pluralidad de pares constituidos. El criterio de la distancia para la actualización del seguimiento puede ser mayor para las observaciones posteriores que conducen a que sea desechado o actualizado el seguimiento del blanco hipotético. Un criterio de una distancia corta puede provocar que se omitan algunas de las primeras observaciones de una secuencia de observaciones generadas por un nuevo blanco situado en el suelo. El valor esperado respecto de la distancia entre dos observaciones a partir de un blanco situado en el suelo en movimiento igual al movimiento del blanco situado en el suelo entre las observaciones, lo que significa que las observaciones están, por lo general, situadas próximas unas a otras, dado que el movimiento del blanco situado en el suelo se limita a los estados adyacentes. Un vehículo real situado en el suelo generará unas observaciones de una forma bastante rápida que estén próximas en la medida suficiente unas de otras para dar lugar a un seguimiento de un blanco hipotético. El criterio de la distancia puede, de esta forma, ser elegido en base a la importancia relativa de la detección de manera rápida de un nuevo blanco situado en el suelo frente a la limitación del número de seguimientos de blancos hipotéticos que se han creado.

Un inicio eficiente del seguimiento del blanco conlleva, de esta manera, que muchos factores puedan ser tomados en cuenta, como por ejemplo las propiedades del radar, el entorno en el cual el seguimiento está teniendo lugar, los recursos computacionales y de memoria, y los condicionamientos impuestos sobre el proceso de seguimiento.

Un radar MTI no registra ninguna observación respecto de un blanco situado en el suelo que se ha detenido. El seguimiento de los blancos necesita, por tanto, que resulte discontinuo para evitar la acumulación de falsos ecos en los posteriores barridos de radar. Cuando un barrido de radar no consigue dar lugar a ningún candidato destinado a ser observado, entonces son evaluados los barridos subsecuentes m . Si las observaciones no han sido registradas como de n de los barridos subsecuentes m , entonces el seguimiento del blanco es discontinuo. Los valores de m y n se escogen en base a la incidencia de las falsas alarmas.

Los posibles movimientos de un blanco real situado en el terreno están típicamente limitados, por ejemplo, un blanco en el suelo que se esté desplazando hacia delante no puede de manera inmediata desplazarse hacia atrás. Mediante la utilización de la información de la velocidad, estos tipos de movimientos imposibles pueden ser bloqueados, haciendo posible, de esta manera, una estimación más precisa de la secuencia de los estados. La información relativa a la velocidad del blanco situado en el suelo solo puede ser obtenida bajo la forma de transiciones de estados en las direcciones x e y . Las transiciones de estados pueden solo llevarse a cabo en estados adyacentes, lo que significa que la velocidad puede ser concretada en nuevos estados de velocidad diferentes, tal y como se muestra en la Figura 4. Cada estado de velocidad representa un cambio de estado de la posición del blanco situado en el suelo y en las direcciones x e y . El cambio del estado de la velocidad de dos puntos consecutivos en el tiempo está limitado a los estados de velocidad adyacentes, esto es, si el blanco situado en el suelo se ha desplazado en un estado en cualquier dirección, no puede avanzar hacia atrás en la misma dirección en el punto de tiempo siguiente. Cuando se calcula la secuencia más probable de estados utilizando el algoritmo de Viterbi, entonces siempre podemos mantener el hilo del argumento $\psi_t(j)$, lo cual potencia al máximo la $\delta_t(i)$ para todos los estados j y t . El argumento es el estado S_j a partir del cual la probabilidad es mayor de que el vehículo situado en el terreno llegó tras su transición al estado S_j en el tiempo t . Cuando el argumento ha sido determinado, podemos a continuación, así mismo, asociar un estado de la velocidad con el estado S_j en base a la relación geográfica entre los estados S_i y S_j . En el momento siguiente cuando debe ser determinada $\delta_t(i)$, solo se permitirá una transición entre los estados S_i y S_j , donde se permite el cambio del estado de la velocidad asociado con S_i . Esto significa que el argumento que se potencia al máximo $\delta_{t+1}(i)$ se escoge solo si se permite el cambio en los estados de la velocidad. En cualquier otro caso, el argumento que produce la más alta $\delta_{t+1}(i)$, se escogerá entre aquellos argumentos que son permisibles en base al estado de la velocidad.

Todos los algoritmos del seguimiento del blanco afrontan un problema común con respecto a la forma en que debe de llevarse a cabo la asociación entre las observaciones y los seguimientos del blanco. Un cuadro de asociación puede ser utilizada para limitar el número de observaciones que pueden ser candidatas para constituir un seguimiento de blanco. Si el número de observaciones candidatas se limita, entonces se reducirá la complejidad de las computaciones.

En el seguimiento de los blancos situados en el suelo en base al HMM, se calcula un cuadro de asociación para cada punto en el tiempo en base a la distribución estimada de las probabilidades a través de los estados en el punto

precedente en el tiempo. Las observaciones que se incluyen dentro del cuadro de asociación son candidatas para la actualización del seguimiento del blanco. Si no hay ninguna observación que caiga dentro del cuadro de asociación, entonces el tamaño del cuadro se incrementa en todas las direcciones anteriores a la siguiente observación. La razón de por qué el blanco situado en el suelo no produce ninguna observación dentro del cuadro de observación podría ser porque el blanco situado en el suelo está, de manera temporal, oculto, la observación se ha desviado alejándose de la verdadera posición del blanco situado en el suelo o el blanco situado en el suelo se ha detenido. Un barrido de radar que no produzca ninguna observación dentro del cuadro de asociación, por tanto, no es un criterio suficiente para la conclusión de que el blanco situado en el suelo se ha detenido, y que el seguimiento del blanco debe, por tanto, ser interrumpido. Una pluralidad de barridos de radar consecutivos que no consiguen producir observaciones dentro del cuadro de asociación incrementa la probabilidad de que la ausencia de observaciones pueda ser atribuida al hecho de que el blanco situado en el suelo se ha detenido y que el seguimiento del blanco debe, por consiguiente, ser interrumpido. Existe, así mismo, una cierta probabilidad de que una falsa alarma caiga dentro del cuadro de asociación. A menos que la incidencia de falsas alarmas sea baja en extremo, el criterio de que se requiere una pluralidad de barridos de radar en sucesión que no consigan producir observaciones dentro del cuadro de observación es demasiado estricto. En lugar de ello, debe ser evaluada la frecuencia de los barridos de radar a partir de los cuales ninguna observación cae dentro del cuadro de asociación.

En el tipo más sencillo de seguimiento de un blanco situado en el suelo, una vez que el vehículo ha sido observado en ausencia de falsos ecos de radar. Un eco de radar que, con una probabilidad de 1, se deriva del vehículo rastreado, es recibido en cada unidad de tiempo. El problema se hace con rapidez más complejo cuando los falsos ecos son, así mismo, recibidos además de las observaciones reales procedentes del vehículo. El problema estriba en la forma en que la observación real debe ser seleccionada entre todas las observaciones candidatas. El tipo más problemático del seguimiento de blancos situados en el suelo implica el seguimiento de múltiples vehículos en presencia de falsos ecos.

Con el fin de ser capaces de efectuar el seguimiento de una pluralidad de blancos situados en el suelo en presencia de falsos ecos, es necesario escoger un eco de radar para cada blanco situado en el suelo. Cada observación que se elija debe ser aquella que con mayor probabilidad haya procedido del blanco en cuestión situado sobre el suelo. La observación seleccionada que se considera que pertenece al blanco en cuestión situado en el suelo se asocia con cada seguimiento del blanco. Es importante limitar el número de observaciones candidatas a ser la observación real procedente de un blanco situado en el suelo, dado que un número menor de candidatas significa una carga de computación más liviana. Al mismo tiempo, es, por supuesto, muy importante que la observación correcta esté incluida entre las candidatas. El cuadro de asociación representa un compromiso entre la limitación del número de candidatas y la exigencia de que uno pueda ser capaz de esperar que dicho número de candidatas contendrá la observación correcta en un grado elevado de probabilidades.

En el algoritmo de Viterbi, un valor $\delta_t(i)$ es utilizado para indicar la probabilidad más alta, teniendo en cuenta todas las observaciones anteriores, para una secuencia de estados con una longitud t que finalice en el estado S_0 el número de estados en los que $\delta_t(i) \neq 0$ es limitado mediante la incorporación de una tolerancia τ en el modelo. La tolerancia es una medición de la amplitud de la existente entre una observación y un estado puede producirse antes de que la variable explicativa, $b_i(O_t)$ sea desdeñable. Si definimos Δt como el vector con el elemento $\delta_t(i)$ para esas i donde $\delta_t(i) \neq 0$, entonces Δt describe un área aproximada que abarca un número más pequeño de estados en los cuales se espera encontrar el estado estimado en el punto de tiempo actual. De esta manera, tenemos un *área de estimación* para cada incremento de tiempo relevante para cada observación procedente del blanco situado en el suelo en el cual se espera encontrar el punto de tiempo siguiente. Para cada proceso de seguimiento que se inicia, un ejemplo se inicia mediante el algoritmo de Viterbi. Un área estimada, de esta manera, puede siempre ser obtenida para cada blanco situado en el suelo. Los cuadros de asociación se construyen en base a estas áreas estimadas.

El primer problema en la construcción de Los cuadros de asociación afecta a la manera en que deben ser diseñadas para que sea probable en alto grado que una observación correcta de un blanco situado en el suelo se incluya dentro del cuadro. El área de estados estimada derivada del factor Δ_t se aplica al punto actual en el tiempo, y este área estará, por lo tanto, geográficamente desplazada con respecto a la observación siguiente. Las transiciones a los estados adyacentes se permiten en nuestro modelo de HMM, lo que significa que un área correspondiente estimada Δ_{t+1} en el punto de tiempo siguiente puede solo extenderse un estado en cualquier dirección a partir de Δ_t . Un área U consistente en Δ_t y todos sus estados adyacentes, de esta manera, contendrán la siguiente Δ_{t+1} . Sin embargo, la observación siguiente no caerá de forma necesaria dentro de este área.

El algoritmo de Viterbi inicia un ejemplo para cada proceso de seguimiento que se ha iniciado, y cada seguimiento del blanco se acompaña por un cuadro de asociación. Cuando los blancos situados en el suelo están situados a una distancia tal unos respecto de otros de forma que Los cuadros de asociación no se superpongan, entonces los únicos candidatos para la asociación serán la correcta asociación y cualquier eco falso. Si dos o más cuadros de asociación en efecto se superponen y comparten observaciones en común, entonces tanto las observaciones de los diversos blancos situados en el suelo como los falsos ecos se convertirán en candidatos para ser las observaciones correctas procedentes del seguimiento. Esto significa, en este caso, que habrá una probabilidad de que los blancos situados en el suelo sean "intercambiados" durante el seguimiento.

El procedimiento utilizado para asociar la única observación con cada seguimiento del blanco se basa en el hallazgo de la observación que potencia al máximo la nueva Δ_{t+1} para el seguimiento en cuestión del blanco, esto es la observación más probable en $t + 1$ está vinculado a los correspondientes seguimientos del blanco. Esto significa que los estados más probables con respecto a todas las observaciones anteriores son seleccionados para cada seguimiento. El proceso funciona de la manera siguiente:

1) El seguimiento se inicia y los cuadros de asociación son construidas para todos los seguimientos con la ayuda de Δ_t^l , donde el superíndice se refiere al seguimiento l del blanco.

2) Nuevos valores de ${}^n\Delta_{t+1}^l$ son calculados para todos los seguimientos l y para todas las observaciones n que caigan dentro del cuadro de asociación durante el seguimiento del blanco.

Con el fin de evitar que a dos o más seguimientos del blanco se les asigne una observación común, las observaciones seleccionadas son marcadas como no permisibles. El mecanismo de selección expuesto a continuación se lleva a cabo utilizando una selección en base a los números en aumento de observaciones existentes en los cuadros de asociación. Esto significa que un seguimiento del blanco con un número reducido de observaciones no se desprende de la observación óptima y consigue que se le asigne una sustancialmente peor precisamente para proporcionar un seguimiento del blanco con una pluralidad de observaciones relevantes que es marginalmente mejor que las demás.

3) Se calcula la suma de los elementos en ${}^n\Delta_{t+1}^l$ para todas las observaciones n y los seguimientos l . La observación que produzca la máxima suma se asocia con el seguimiento relevante y se marca como no permisible para otros seguimientos. Si la observación potenciada al máximo no es permisible entonces se escoge la que sea más permisible. Los valores ${}^n\Delta_{t+1}^l$ calculados a partir de las observaciones seleccionadas son designadas como Δ_{t+1} .

4) Los nuevos valores de Δ_{t+1}^l derivados de la observación más probable para cada proceso de seguimiento respectivo son utilizados para el cálculo de los nuevos cuadros de asociación en el siguiente incremento de tiempo.

Una ventaja importante respecto del procedimiento de asociación expuesto con anterioridad es que el simple principio de selección significa que el procedimiento no resulta sometido a una sobrecarga computacional tan intensa. Ello puede, sin embargo, ser considerado como una limitación en tanto en cuanto la selección no se produce en paralelo para los seguimientos para hacer posible que la asociación se potencie al máximo para todos los seguimientos *in toto*. Dicha selección en paralelo puede ser llevada a cabo mediante la resolución de un problema de potenciación al máximo que pertenece al supuesto en el que los seguimientos compartan en común observaciones que sean candidatas para el seguimiento del blanco.

El modelo de la forma de realización descrita contiene solo dos tipos de terreno: carretera y a campo traviesa. Una información adicional sobre el terreno debe ser incorporada en el modelo con el fin de efectuar el seguimiento de blancos situados en el suelo que se estén moviendo a campo traviesa. El algoritmo no necesita ser modificado; solo se requiere la modificación de la matriz de transición. El terreno debe ser graduado para el fin indicado. Por ejemplo, pueden ser clasificados diferentes tipos de terreno en base a la dificultad por la que pueden conseguir que el vehículo avance. El terreno puede ser graduado en base a la velocidad máxima a la cual puede ser desplazado un vehículo, y de este forma puede crearse un mapa de velocidad del escenario. Así mismo, para llevar a cabo la matriz de transición, el terreno puede, así mismo, afectar a la probabilidad de observación, otro factor que no ha sido cumplimentado.

El efecto del terreno sobre las observaciones del radar puede ser incorporado en el modelo.

- El terreno puede distorsionar las observaciones. Los blancos situados en el suelo no dan lugar a observaciones si el blanco está oculto. Esto puede suceder si el blanco situado en el suelo se está moviendo bajo los árboles, por el interior de un túnel, por debajo de un puente, etc. El actual modelo no contiene terrenos que puedan ocultar vehículos situados en el suelo. Como resultado de ello, a todos los estados se les otorga la misma probabilidad de observación si no hay ninguna observación dentro del cuadro de asociación. Como resultado de ello, el tamaño del cuadro de asociación se incrementará en un estado en todas las direcciones. Si están presentes estados en los que los blancos situados en el suelo podrían estar ocultos, y no se detecta ninguna observación dentro del cuadro de asociación, entonces hay una probabilidad mayor de que el blanco situado en el suelo esté situado en algún estado en el que el blanco situado en el suelo podría estar oculto. La ausencia de observaciones incrementa, de esta manera, la probabilidad de las observaciones para esos estados. Aplicando el mismo razonamiento lógico existirá una menor probabilidad de que un blanco situado en el suelo esté situado en un estado que pueda ocultar el blanco cuando estén presentes las observaciones dentro del cuadro de observación. La probabilidad de las observaciones de estos estados se reduce, de esta manera, cuando las observaciones son registradas dentro del cuadro de asociación.
- El terreno provoca falsas alarmas, un radar MTI registra los objetos que están en movimiento con el fin de estar en condiciones de diferenciar los blancos situados en el suelo existentes en el terreno. El viento provoca

que los árboles y demás vegetación se muevan lo suficiente como para dar origen a los ecos de radar. Esto puede ser un problema relacionado con la iniciación de los seguimientos, dado que las áreas con una alta incidencia de falsas alarmas, como por ejemplo áreas arboladas, pueden dar origen a un gran número de ecos dentro de un área limitada en barridos subsecuentes, lo que conduciría a la iniciación de seguimientos de blancos falsos. El riesgo de que se inicien se reduce haciendo que los criterios regionales de la iniciación de los seguimientos se seleccione en base a la incidencia de falsas alarmas, esto es, se requieren más observaciones en esas áreas en las que resulta elevada la probabilidad de una falsa alarma. Esta estrategia incrementa, así mismo, la probabilidad de la iniciación de rápidos seguimientos válidos de blancos en aquellas áreas con una incidencia reducida de falsas alarmas.

5
10 La matriz A de transición representa la probabilidad de la transición entre estados en el modelo. Las probabilidades a_{ij} de transición están condicionadas por la distancia geográfica entre los estados S_i y S_j y por el terreno existente en los dos estados.

15 El terreno ofrece efectos diferentes sobre los diferentes tipos de blancos situados en el suelo, lo que significa que las probabilidades de transición dependen del blanco situado en el suelo que está siendo objeto de seguimiento. Un carro de combate tiene una capacidad mucho más alta de desplazarse por un terreno de campo a través de lo que lo hace un coche de pasajeros. Existe, como consecuencia de ello, la necesidad de asociar diferentes matrices de asociación con tipos diferentes de blancos en el suelo. La elección de la matriz de transición se basa, de acuerdo con ello, en una identificación del tipo de blanco situado en el suelo que está siendo objeto de seguimiento. La identificación se efectúa mediante la medición de diversas propiedades específicas del blanco situado en el suelo, las cuales, de acuerdo con ello, sirven como base de la identificación. En este momento, describiremos algunos posibles procedimientos para llevar a cabo esto:

20
25

- Análisis del seguimiento de blancos. Determinadas propiedades del blanco situado en el suelo pueden ser diferenciadas a partir de su seguimiento, como por ejemplo su velocidad, su capacidad para progresar sobre el terreno, etc. El hallazgo de las propiedades concretas del seguimiento de blancos incrementa la probabilidad de que el blanco situado en el terreno sea de un determinado tipo, haciendo posible, al mismo tiempo, que se descarten otros tipos de blancos situados en el terreno. La matriz de transición es inicialmente general, pero dado que ciertos tipos de blancos iguales en el terreno pueden ser descartados, la matriz de transición se perfecciona hasta tal punto que se puede representar de mejor manera el blanco situado en el terreno.

30
35

- Combinaciones de sensores múltiples procedentes de sensores dispuestos sobre una plataforma en vuelo. Una plataforma en vuelo puede estar equipada con una pluralidad de diferentes tipos de sensores, como por ejemplo un radar y unas cámaras para el registro de datos en las gamas del IR y visibles. Los diferentes objetos situados en el suelo dan lugar a diferentes intensidades de ecos del radar; por ejemplo, un camión produce un eco de radar más intenso que un coche de pasajeros. Mediante la combinación de los registros de las cámaras en las gamas del IR y visibles, pueden ser detectadas las propiedades de carácter único.

40

- Sensores situados en el suelo. Los sensores situados en el suelo son pequeños "discos" que se despliegan de antemano por el terreno, o se distribuyen desde una aeronave. Dichos sensores situados en el suelo pueden estar equipados con un amplio número de tipos distintos de sensores, como por ejemplo sensores electromagnéticos (visuales, infrarrojos, de radio y de microondas) y acústicos, sensores del movimiento, sensores olfativos y sensores magnéticos. El tipo de blanco situado en el suelo puede ser identificado mediante la medición de los contenidos de los gases de escape, de los ruidos, de la apariencia externa, de la velocidad, etc. del blanco situado en el suelo. Los sensores situados en el suelo comunican, a continuación, esta información a la plataforma en vuelo por medio de una red.

45 La información recogida a partir de los sensores individuales es, a menudo, suficiente para proporcionar una base de decisión satisfactoria para la clasificación del blanco situado en el suelo. Se puede obtener una base de decisión más precisa para una clasificación de este tipo mediante la clasificación de información a partir de todas las fuentes disponibles.

50

REIVINDICACIONES

1.- Un procedimiento para el seguimiento de blancos de objetos situados en el suelo por medio de observaciones procedentes de un sensor, en el que a una región geográfica dentro de la cual está presente al menos un objeto se le asigna un número de estados determinado de antemano, en el que

5 - la región geográfica está representada por una cuadrícula rectangular, en la que cada cuadro se corresponde con un estado S_i en un modelo Markov oculto (HMM);

- la probabilidad de transición entre los estados S_i y S_j en el modelo se representa por una matriz de transición, en el que las probabilidades de transición a_{ij} están condicionadas por la distancia geográfica entre estados y por el terreno existente en los estados,

10 - la región geográfica se divide en subregiones las cuales se definen de tal manera que las subregiones dispuestas en posición adyacente se superponen en parte geográficamente y se representan mediante un reparto de estados en común, en el que hay una matriz de transición para cada subregión,

- el seguimiento del blanco se inicia dentro de una subregión, tras lo cual una primera observación se asocia con el objeto y se estima un estado probable del objeto;

15 - para cada nuevo intervalo de tiempo, se elige una nueva observación; y

- para cada nueva observación se actualiza la secuencia de estados estimada de la subregión;

caracterizado porque

20 - el seguimiento del blanco dentro de una nueva subregión se basa en el historial de los estados para los estados que son compartidos en común con las subregiones anteriores con la transición entre dos subregiones adyacentes, transición que se inicia cuando la probabilidad de que el objeto se haya desplazado hacia una nueva subregión excede de un cierto valor determinado de antemano.

2.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que para cada intervalo de tiempo se crea una región de estados en la cual es probable que la nueva observación esté presente.

25 3.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la observación que, con mayor probabilidad, caiga dentro de la región de estados, se selecciona como la nueva observación para el seguimiento del blanco.

4.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que se lleva a cabo un seguimiento separado del blanco para cada objeto relevante.

30 5.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, en el que, para cada intervalo de tiempo, se determina una región de estados para cada proceso de seguimiento, tras lo cual cada región de estados respectiva es el área en la cual es posible que se encuentre una nueva observación para cada respectivo proceso de seguimiento.

6.- Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que se lleva a cabo una elección en cuanto a la región de estados a la cual pertenece una observación en el supuesto de que las regiones de estado se superpongan porque los seguimientos con el número de observaciones más bajo dentro de la región de estados seleccionan, en primer término, una nueva observación.

35

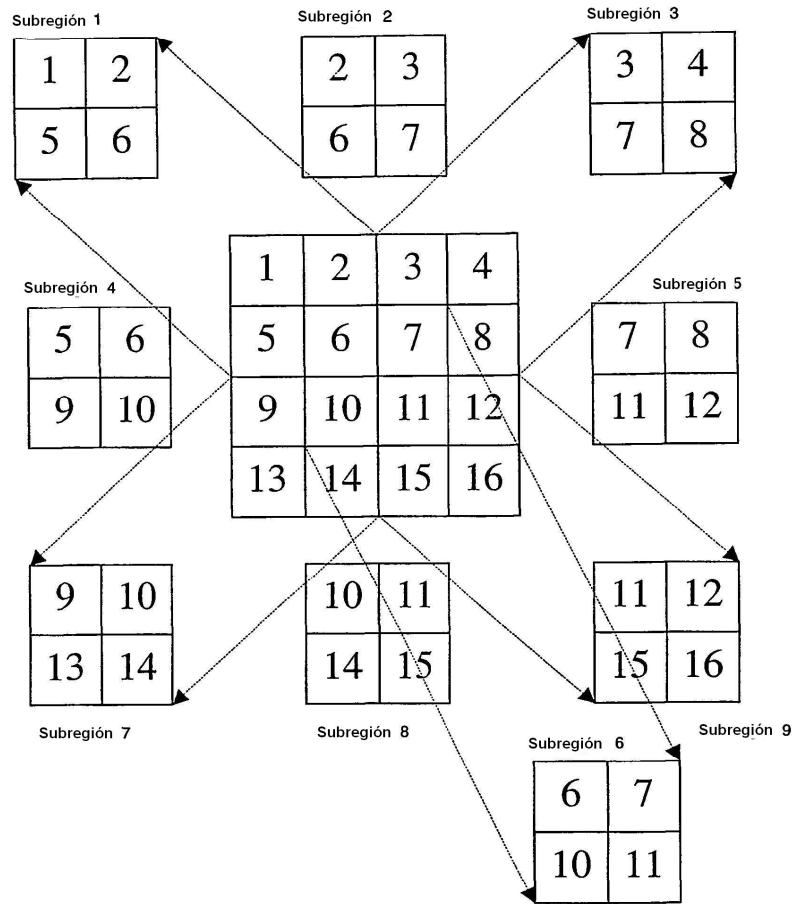


Figura 1

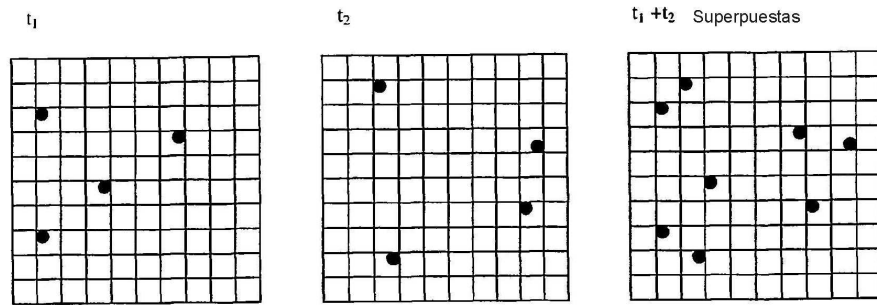


Figura 2

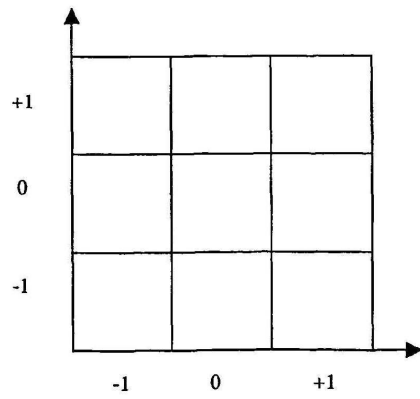


Figura 3