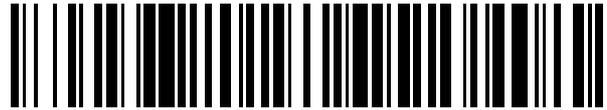


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 551 320**

51 Int. Cl.:

G01S 13/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2009 E 09753180 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.09.2015 EP 2370834**

54 Título: **Sistema y método para el procesamiento de imágenes de radar**

30 Prioridad:

18.12.2008 GB 0823034
30.04.2009 US 174187 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.11.2015

73 Titular/es:

QINETIQ LIMITED (100.0%)
Cody Technology Park Ively Road
Farnborough, Hampshire GU14 0LX, GB

72 Inventor/es:

JAHANGIR, MOHAMMED;
KEALEY, PAUL, GRAHAM;
MOATE, CHRISTOPHER, PAUL y
HILL, ROBERT, DAVID

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 551 320 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

Sistema y método para el procesamiento de imágenes de radar

5 Esta invención se refiere a un método de y un sistema para el procesamiento de imágenes de apertura sintética, tales como imágenes de radar de apertura sintética, de dos o más pasadas de formación de imágenes independientes de la misma escena. Más específicamente, se refiere a la detección de objetivos en movimiento en imágenes de radar de detección de cambios coherentes mediante la observación de cambios físicos en la superficie terrestre producidos por tales objetivos en movimiento y también cambios en las imágenes que resultan de las sombras de los objetivos en movimiento

10 Se conocen los sistemas de radar de apertura sintética (SAR). El SAR se ha desarrollado como una técnica de formación de imágenes para obtener imágenes de radar de alta resolución de las características de la superficie. Se usa una técnica para integrar coherentemente las muestras recogidas de una plataforma en movimiento durante un período de tiempo y usar los resultados para crear una antena que tiene una apertura sintética grande para obtener una compresión del acimut muy alta de los datos de muestra. Para obtener mejores resultados estas muestras tienen que alinearse todas en fase para una imagen SAR que se enfoca adecuadamente en el acimut. Por ejemplo, para obtener una imagen enfocada del terreno estático a partir de un radar de vista lateral SAR esto es simplemente una corrección de fase cuadrática a través de una apertura sintética nominalmente de línea recta.

15 Un par de imágenes SAR recogidas para la misma escena en diferentes instantes de tiempo pueden compararse entonces una contra la otra para localizar cualquiera de los cambios que se han producidos en la escena en el intervalo entre las recolecciones. En términos generales existen dos clases de detección de cambios que pueden llevarse a cabo con las imágenes SAR, la detección de cambios incoherentes (ICD) y la detección de cambios coherentes (CCD).

20 La ICD se limita a identificar los cambios de la potencia de retrodispersión media de la escena. Típicamente, se calcula la relación de intensidad de la imagen promedio del par de imágenes para detectar tales cambios. Puede aplicarse la ICD a muchos tipos de imágenes diferentes, que incluye electro óptica (EO) e infrarrojas (IR) así como también imágenes de radar, y es útil en la detección de cambios visibles en la imagen.

25 Por otra parte, la CCD, identifica los cambios tanto en el contenido de amplitud como de fase entre los pares de imágenes. Se basa en los procesos de formación de imágenes que son coherentes y requieren las imágenes SAR como datos complejos es decir donde cada pixel tiene un valor real e imaginario. Específicamente, la CCD no funcionará con el módulo de las imágenes SAR o equivalente ya que se pierde la información de fase en el proceso de transformación de la imagen. El cambio de fase entre un par de imágenes puede calcularse mediante el uso de la coherencia de la muestra. Como el cambio de fase se mide en fracciones de longitud de onda radar (por ejemplo la longitud de onda en 10 GHz es 3 cm), la CCD tiene el potencial para detectar los cambios de escena muy sutiles que puedan permanecer sin detectar mediante el uso de técnicas incoherentes.

30 La CCD ha demostrado ser eficaz contra la detección de los movimientos del vehículo como se refirió en la referencia [1]. Incluso una perturbación menor en la superficie de dispersión provocada por el movimiento del vehículo sobre la superficie puede resultar en la pérdida completa de la coherencia. Siempre que el área circundante en la escena mantenga la coherencia habrá un contraste adecuado entre la perturbación del vehículo y el fondo para detectar el rastro del vehículo en la imagen CCD. La coherencia de la escena total puede verse afectada por otras perturbaciones temporales tales como viento y lluvia que limitarán entonces la capacidad de detectar las perturbaciones artificiales.

35 La CCD es capaz de revelar los cambios resultantes del enmascaramiento del eco del fondo debido al oscurecimiento de un objeto presente en la escena, es decir una región de sombra. En tales circunstancias no se registrará la señal de eco de la región de sombra y por lo tanto el valor del pixel será simplemente el valor del ruido térmico producido por el receptor. Esto significa que el valor de intensidad del eco se sustituye por un valor bajo determinado por el ruido de fondo térmico y el valor de fase del eco se reemplaza por una fase aleatoria. Es esta última alteración que entonces resulta en una pérdida de coherencia que puede observarse en la imagen CCD. Por lo tanto la sombra del objetivo creará una pérdida localizada de coherencia. Siempre y cuando la región que rodea la sombra tenga una alta coherencia entonces se hace visible la presencia de la sombra en la imagen CCD. Una vez que el objetivo destino se mueve, se iluminará previamente una región en la sombra una vez más, y, para las superficies que tienen alta coherencia, los retornos del radar de esa región serán similares tanto en amplitud como en fase para sus valores antes de que estuviera en la sombra. Por lo tanto la región de sombra, y por lo tanto el objetivo, pueden identificarse por esta pérdida temporal de coherencia.

40 Se crea una imagen CCD a partir de un par de imágenes SAR de una escena, cada una medida independientemente entre sí. Cada pixel representa las estadísticas de coherencia del correspondiente par de pixeles en las imágenes originales. Una imagen CCD tenderá a mostrar las huellas del vehículo (es decir la trayectoria tomada por las ruedas de un vehículo) como líneas continuas de alto contraste. La imagen CCD tenderá también a mostrar las regiones que se enmascaran por una sombra del objetivo como regiones de alta intensidad. El contorno de estas regiones brillantes seguirá ampliamente el contorno de la huella de la sombra del objetivo. La imagen CCD sólo es capaz de mostrar la

5 historia acumulada del movimiento que ha tenido lugar en el intervalo entre las recolecciones del rastro de tierra y la posición instantánea del objetivo en base a los cambios CCD de la sombra. No hay medios para calcular directamente la velocidad del objetivo a partir de una sola imagen de CCD. Además, a partir del rastro de tierra acumulado no hay medios para proporcionar una referencia de tiempo exacta para la posición del objetivo o confirmar que todavía está presente en la escena de una imagen CCD sola.

10 Cuando pueden estimarse los parámetros de movimiento para un objetivo en movimiento tales como con sombras del objetivo en las imágenes SAR originales como se describe en la referencia [2], tal información puede utilizarse en la recuperación de la imagen real del objetivo. Típicamente, la imagen borrosa y desenfocada de un objetivo en movimiento se recuperará a través de una búsqueda exhaustiva sobre todos los posibles parámetros de movimiento del objetivo hasta que se obtenga una imagen óptima enfocada. Cualquier estimación de los parámetros de movimiento del objetivo puede usarse para iniciar este proceso y reducir sustancialmente la dimensión de la búsqueda. Como la imagen CCD sola no proporciona tales medios para calcular los parámetros de movimiento del objetivo, no es capaz de ayudar con el proceso de recuperación de la imagen del objetivo en movimiento.

15 Además, la detección basada en una imagen CCD sola puede resultar en considerables falsas alarmas debido a las perturbaciones que no se relacionan con los movimientos del vehículo por ejemplo, perturbación en tierra, reorganización de los objetos en la escena y perturbación temporal debido al viento y otros factores ambientales. También donde hay varias pistas que se entrecruzan entre sí entonces puede presentar un desafío considerable en la identificación de huellas de vehículos individuales. Por lo tanto, la capacidad para detectar las huellas del vehículo y sombras robustas con un mínimo de falsas alarmas en presencia de una considerable actividad en tierra puede ser muy problemática con una imagen CCD sola.

20 Si se genera una secuencia de imágenes CCD a partir de la misma escena entonces se proporciona un medio para localizar los cambios dinámicos en la escena más exactamente. Para poder observar de forma realista los cambios dinámicos de un objetivo terrestre móvil el desplazamiento temporal entre las imágenes CCD sucesivas tiene que ser de un orden de unos pocos segundos a lo sumo.

25 Para que la CCD funcione con éxito es importante que el par de imágenes SAR que se recoge tenga casi idéntica geometría de formación de imágenes de manera que hay una buena coherencia general entre las imágenes. Las múltiples imágenes SAR por lo tanto deben adquirirse todas en la misma geometría de formación de imágenes para producir una secuencia de imágenes CCD. Típicamente, una sola plataforma SAR de centro de fase sólo será capaz de recoger una sola imagen en una geometría especificada en cualquier pasada. Por lo tanto, las múltiples imágenes necesitarían pasadas de formación de imágenes totalmente separadas por la plataforma lo cual resultará en un lapso de tiempo de minutos posiblemente horas entre pasadas de formación de imágenes sucesivas. Mientras que se ha utilizado tal secuencia CCD en el seguimiento de la dinámica lenta tales como las debidas a las perturbaciones geológicas como se describe en la referencia [3] son inadecuadas para el seguimiento de cambios rápidos tales como los de un objetivo en movimiento.

30 Un conjunto de plataformas móviles en una formación en convoy que cada una recoge una imagen SAR de la misma geometría de visión podría acortar considerablemente el lapso de tiempo entre las sucesivas recogidas. Sin embargo, el desplazamiento no puede reducirse más allá de un cierto límite inferior debido a la separación mínima que tendría que mantenerse para la seguridad de las operaciones de las múltiples plataformas. Además, existen considerables implicaciones en términos de costo y complicaciones logísticas en el funcionamiento de las múltiples plataformas.

35 Los sistemas de antena con múltiples centros de fase en la dirección a lo largo de la pista permiten la posibilidad de realizar múltiples recogidas en una sola pasada con una duración temporal muy corta entre cada imagen. Sin embargo, de modo realista sólo un número finito de centros de fase son posibles debido a las limitaciones en el tamaño de la antena. Esto, a su vez, limita en gran medida la longitud total de la secuencia de la imagen que puede lograrse con tal sistema. Además, los sistemas de centro de múltiples fases llegan en un considerable aumento de los costos. El procesamiento de adaptación de espacio tiempo (STAP) o a lo largo de la pista de interferometría tal como el descrito por las referencias [4] y [5] son técnicas establecidas para detectar objetivos en movimiento mediante el uso de un número finito de centros de fase. Estas técnicas funcionan esencialmente mediante el procesamiento del retorno de Doppler directo de los objetivos en movimiento y son similares en técnica al indicador del objetivo en tierra en movimiento (GMTI) convencional con la ventaja de que es capaz de alcanzar la velocidad de detección mínima inferior (MDV) y exactitud de localización del acimut comparativamente mejorada.

40 Una forma práctica de lograr una secuencia de la imagen CCD mediante el uso de un sistema de centro de fase SAR único es realizar la formación de imágenes de haz concentrado de gran angular. Cada pasada genera múltiples imágenes en la resolución máxima del sistema para la misma escena en ángulos de aspecto variados. Una pasada inicial genera la secuencia de imágenes primarias. Una pasada de repetición genera un segundo conjunto de imágenes. Las imágenes CCD se forman mediante el emparejamiento de cada imagen en la secuencia de pasada de repetición con la imagen correspondiente en la pasada primaria que está en la misma geometría de formación de imágenes que en este caso implica los ángulos de aspecto idénticos. Por lo tanto un complemento completo de la secuencia de la imagen CCD se genera con sólo dos pasadas de formación de imágenes individuales y el desplazamiento temporal relativo

entre las imágenes CCD consecutivas puede estar en el orden de unos pocos segundos. Esto hace que la velocidad de actualización en la secuencia CCD sea suficientemente corta para observar la rápida dinámica que sería propia de un objetivo en tierra en movimiento.

5 La referencia [6] menciona el fenómeno de generación de una secuencia CCD mediante el uso de la secuencia de imágenes de múltiples aspectos con sólo dos pasadas de repetición. Los autores proponen el uso del eco directo del objetivo para observar el cambio de fase en la secuencia CCD. Degradan la resolución del acimut para minimizar el desenfoque del objetivo y estimar los parámetros de movimiento del objetivo mediante el seguimiento de su retorno a través de las múltiples imágenes CCD. Sin embargo, ya que los retornos del objetivo se desplazan en acimut debido a alguna velocidad a lo largo del intervalo, tal técnica puede estar sujeta a errores de posición significativos en el acimut. Además, se depende de la capacidad de obtener un apreciable retorno del destino. En algunos casos el eco del objetivo puede ser tan pequeño o el grado de desenfoque es de manera que se pierde la firma en el ruido speckle y por lo tanto no se detecta en la secuencia CCD.

15 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención se proporciona un método para detectar los parámetros de movimiento de un objetivo con base en tierra mediante el procesamiento de las primera y segunda secuencias temporales de los retornos de un sistema de apertura sintética, cada secuencia recogida durante las pasadas de formación de imágenes separadas, los retornos que comprenden una pluralidad de imágenes de base de apertura sintética de una región caracterizado porque comprende las etapas de:

20 i) emparejar una imagen en la segunda secuencia temporal con una imagen primaria correspondiente a partir de la primera secuencia temporal, alinear las imágenes si se requiere y conformar una imagen de detección de cambios coherentes (CCD), y repetir para cada par para producir una pluralidad de imágenes de base CCD;
 25 ii) conformar una imagen de referencia a partir de una o más de las imágenes de base CCD;
 iii) conformar una imagen de "detección de cambios incoherentes" (ICD) mediante la normalización de la imagen de referencia con una imagen de base CCD predeterminada convenientemente alineada a partir de la secuencia
 iv) analizar la imagen ICD para detectar un rastro dejado por el objetivo; y
 v) detectar un objetivo mediante la producción de una o más imágenes enfocadas mediante la manipulación de las fases de los retornos temporales de acuerdo con los parámetros de movimiento estimados a partir del rastro de un objetivo.

30 Por lo tanto, se genera una secuencia CCD de dos pasadas de un sistema de formación de imágenes de apertura sintética de gran angular. El sistema de apertura sintética puede ser un sistema SAR. La primera pasada proporciona un conjunto de imágenes primarias. La segunda pasada proporciona un segundo conjunto de imágenes que cuando se emparejan con las imágenes apropiadas de la secuencia primaria genera una secuencia CCD con un desplazamiento temporal muy corto entre cada imagen CCD. Debe notarse que una imagen apropiada será, para una determinada imagen tomada en la primera pasada, la imagen en la segunda pasada que más se acerque al punto de vista de la primera imagen pasada determinada. Un vehículo en movimiento en la escena en el momento de la segunda pasada resultará en un cambio visible en la imagen CCD en la localización del vehículo. A través de la secuencia CCD crecerá el rastro del vehículo en la imagen. Este rastro del vehículo en movimiento puede entonces detectarse y seguirse a través de la secuencia CCD para detectar, localizar y estimar el conjunto completo de los parámetros de movimiento de traslación para el objetivo en movimiento. De la misma manera, un vehículo en movimiento en la escena en el momento de la primera pasada resultará en un cambio visible en la imagen CCD en la localización del vehículo. A través de la secuencia CCD retrocederá el rastro del vehículo en la imagen. Este rastro del vehículo en movimiento puede entonces detectarse y seguirse a través de la secuencia CCD para detectar, localizar y estimar el conjunto completo de los parámetros de movimiento de traslación para el objetivo en movimiento.

40 Un vehículo en movimiento u otro objetivo generalmente tendrá una sombra asociada con este, la sombra es una región en el terreno que no está iluminada por el sistema de formación de imágenes de apertura sintética debido a que la región se enmascara por el vehículo. Esta sombra producirá un cambio visible en la imagen CCD sobre la región donde el eco se enmascara por la sombra de los objetivos. En la región de la sombra la señal del eco se reemplaza por el ruido térmico esencialmente aleatorio que no se correlacionará con la fase de eco original de esa región. Si la región de eco que bordea la región de sombra está en perfecta coherencia entonces todo el contorno de la sombra se hará visible como una región brillante contra un fondo oscuro. A medida que el objetivo se mueve, las nuevas regiones del eco se enmascararán y perderán coherencia mientras que las regiones previamente enmascaradas que se hacen visibles al radar volverán a los valores de la señal del eco originales y por lo tanto aparece una vez más como coherente en la imagen CCD y por lo tanto se mezcla con el resto del fondo del eco. Esta evaluación de los cambios CCD dependientes de la sombra puede entonces detectarse y seguirse a través de la secuencia CCD para detectar, localizar y estimar el conjunto completo de los parámetros de movimiento de traslación para el objetivo en movimiento. El proceso de detección es idéntico con independencia de si el objetivo se mueve durante la primera o la segunda pasada.

60 El procesamiento de la secuencia CCD es parecido a la realización del procesamiento de detección de cambios incoherentes en la imagen CCD. Este procedimiento tiene paralelismos con el proceso de detección de sombra descrito en la referencia [7] para detectar objetivos en movimiento a través del seguimiento de los movimientos de la sombra en una secuencia de la secuencia de imágenes SAR de haz concentrado de múltiples looks de una sola pasada. En el caso

de las sombras el proceso de detección de cambios es detectar los cambios en la retrodispersión media debido al desplazamiento de las sombras de un objetivo en movimiento en una secuencia de imágenes SAR. En la presente invención el proceso de detección de cambios detecta los cambios en el nivel de coherencia media a partir de un rastro del vehículo formado en el terreno sobre una secuencia de imágenes CCD o de la sombra del objetivo que crea un cambio de fase localizado en respuesta al eco de fondo a través de la secuencia de imágenes CCD.

Por lo tanto, el procedimiento de detección de cambios aplicado a la secuencia CCD implica un proceso similar al descrito en la referencia [7] que implica el uso de una serie de imágenes de base para generar imágenes de referencia a través del promedio temporal de una o más imágenes de base. Cada imagen de base se alinea adecuadamente antes de conformar la imagen de referencia. La imagen de referencia se normaliza con una imagen de base determinada de la secuencia que se alinea adecuadamente con la imagen de referencia para conformar una imagen de 'detección de cambios incoherentes'.

Se apreciará que la presente invención se refiere a un nuevo enfoque que explota la información en una secuencia de imágenes CCD para ayudar en la detección y localización de los objetivos en movimiento. En lugar de usar la respuesta de eco directa del objetivo en la secuencia CCD explota la respuesta CCD desde la perturbación a la superficie terrestre del movimiento del vehículo o el cambio de fase en la señal de eco del fondo debido a la sombra del objetivo. Se proporciona un método para observar la respuesta CCD debido a un objetivo en tiempo real y puede detectar y localizar un objetivo en movimiento con un buen grado de precisión. El parámetro de movimiento del objetivo estimado por lo tanto puede usarse para volver a procesar los datos complejos originales SAR para recuperar una imagen enfocada del propio objetivo real.

Preferentemente, la imagen de detección de cambios incoherentes se pasa a un detector umbral que destaca las partes de la imagen de detección de cambios incoherentes que están por encima de un valor umbral determinado para producir una imagen de salida.

Favorablemente, una pluralidad de imágenes de detección de cambios incoherentes, o, si se usa un detector umbral, produce imágenes de salida (producidas como se describe a continuación), cada una que se asocia con una imagen de base CCD particular. La imagen de referencia usada en la producción de cada imagen de detección de cambios incoherentes se actualiza preferentemente para cada etapa de normalización realizada.

Preferentemente, cada imagen de detección de cambios incoherentes o de salida se procesa mediante el uso de un procedimiento de preselección. La preselección puede comprender un algoritmo de tasa constante de falsas alarmas (CFAR). El procedimiento de preselección también puede comprender los procedimientos de conglomerado y discriminación.

Favorablemente puede realizarse un algoritmo de seguimiento temporal en las salidas del procedimiento de preselección, o en una secuencia de imágenes de detección de cambios incoherentes o de salida.

Una vez que los parámetros de movimiento del objetivo se han estimado puede realizarse el procesamiento correctivo en los datos complejos originales SAR para obtener una imagen adecuadamente enfocada y geolocalizada correctamente del objetivo en movimiento. Este proceso puede repetirse para cada objetivo detectado en la escena. También puede ser favorable intentar enfocar la sombra del objetivo ya que las distorsiones de la sombra son sólo una función de los componentes de movimiento lineal donde como el eco del objetivo también se ven afectados por las aceleraciones y los componentes de movimiento más altos que son propensos a tener estimaciones de error más grandes asociados con ellos. Las sombras del objetivo obtenidas en múltiples ángulos de aspecto entonces pueden usarse en la construcción del contorno de la forma del objetivo como se realizó en la referencia [8].

Una aplicación importante de esta invención es la extracción de los parámetros de movimiento del objetivo mediante la realización de la detección de cambios en el rastro de tierra del vehículo en una secuencia de la imagen CCD o el cambio de fase en la señal de eco del fondo resultante de la sombra del objetivo. El beneficio de estos dos fenómenos se describirá por separado.

Para las detecciones mediante el uso del rastro de tierra del vehículo el método no usa el eco directo del objetivo en ninguna etapa del procesamiento. Por lo tanto, el rendimiento de detección es totalmente independiente del RCS del objetivo, la altura del objetivo y dependiente en líneas generales en aspectos de la forma del objetivo, por ejemplo el ancho de la rueda y la separación en un ángulo. Depende simplemente de la capacidad del objetivo para provocar una perturbación a la superficie terrestre a medida que se desplaza sobre la superficie. La velocidad radial mínima de detección del objetivo (MDV) es esencialmente cero y puede detectarse que el objetivo se desplaza en cualquier dirección. Un único modo de formación de imágenes (como se define a continuación) será capaz de detectar y mantener el rastro sobre un objetivo que puede detenerse y arrancar repetidamente. Esto puede contrastarse con un enfoque más convencional donde se usa el modo radar GMTI para detectar objetivos más rápidos y los que son estacionarios o que se desplazan por debajo del MDV se detectan mediante el uso del modo SAR. Tal intercambio entre los modos SAR y GMTI puede conducir a tiempo de inactividad y pérdida de la cobertura. Ya que el método es detectar los objetivos mediante el uso de un enfoque basado en la imagen tiene un buen potencial para la alta precisión de localización tanto

en distancia como en acimut. Puede reducirse las falsas alarmas ya que el proceso de detección de cambios aplicado a la secuencia CCD sólo rastreará los cambios que se mantienen a través de las múltiples imágenes. El proceso no se basa en la capacidad para generar la secuencia CCD con un desplazamiento temporal entre las imágenes CCD adyacentes que es comparable a las escalas de tiempo de los movimientos del vehículo. Por ejemplo, beneficiosamente la escala de tiempo para la adquisición de una secuencia de imágenes de base SAR, ya sea en una primera o una segunda pasada de una región será de manera que un vehículo en movimiento tiene tiempo para moverse una cantidad apreciable durante la pasada, y el tiempo entre las imágenes individuales en una secuencia es de manera que, a través de la secuencia completa, pueden observarse las diferentes posiciones del vehículo. También es dependiente del eco de la tierra para tener suficiente componente speckle de manera que la perturbación de la superficie puede observarse en la imagen CCD. Además la técnica se basa en el contraste adecuado entre la perturbación artificial y otras fuentes de decorrelaciones temporales, tal como la perturbación del viento, etc.

Para las detecciones que utilizan los cambios dependientes de la sombra del objetivo en la coherencia en la imagen CCD nuevamente la técnica no usa el eco directo del objetivo en ninguna etapa del procesamiento. Por lo tanto, el rendimiento de detección es totalmente independiente del RCS del objetivo. Sin embargo, ya que el tamaño de la huella de la sombra del objetivo se relaciona con las dimensiones del objetivo, particularmente su altura y el ángulo rasante en el cual el sensor está formando la imagen del objetivo, el rendimiento de detección se relacionará con el tamaño del objetivo. La velocidad radial mínima de detección del objetivo (MDV) sigue siendo esencialmente cero en este caso y puede detectarse que el objetivo se desplaza en cualquier dirección. Un único modo de formación de imágenes (como se define en el párrafo anterior) será capaz de detectar y mantener el rastro sobre un objetivo que puede detenerse y arrancar repetidamente. La precisión de localización se mantiene alta tanto en distancia como en acimut. Las falsas alarmas pueden reducirse sustancialmente ya que el proceso de detección de cambios aplicado a la secuencia CCD sólo rastreará los cambios que se mantienen a través de las múltiples imágenes. El proceso no se basa en la capacidad para generar la secuencia CCD con un desplazamiento temporal entre las imágenes CCD adyacentes que es comparable a las escalas de tiempo de los movimientos del vehículo. A diferencia del rastro de tierra del vehículo los cambios de la sombra no requieren que el terreno esté físicamente alterado. En cambio, el requisito es que la región en la cual se proyecta la sombra sea capaz de (cuando no esté en la sombra) proporcionar una reflexión suficientemente coherente de vuelta al sistema de medición de apertura sintética de manera que cuando la señal del eco se enmascare por la sombra del objetivo se registre un cambio de fase suficiente en la imagen CCD. Por lo tanto esto significa que un objetivo en movimiento a lo largo de una superficie dura que formará una huella de tierra CCD pero que la sombra que se proyecta a lo largo del lado del camino, que resulta en un cambio de sombra CCD, permitirá que el objetivo se detecte con este enfoque mientras que fallará un único método para detectar el rastro de tierra. La técnica basada en la sombra no depende todavía del contraste adecuado entre la perturbación artificial y otras fuentes de decorrelaciones temporales.

Esta invención a diferencia del enfoque adoptado en la referencia [6] sí ofrece total independencia de los objetivos propio de la firma del radar. Por el enfoque que usa el rastro de tierra del objetivo el enfoque también es independiente de la huella de la sombra de los objetivos. Por lo tanto para el caso de la detección a través del rastro de tierra un carrito simple de madera del mismo ancho que un vehículo blindado de bordes altos puede potencialmente tener el mismo rendimiento de detección. Esta técnica se beneficia de la máxima resolución CCD en distancia y acimut mientras que hay resoluciones de acimut mucho más bajas logradas con el enfoque en la referencia [6]. Además este método proporciona una técnica más simple en base a una única etapa del 'proceso de detección de cambios incoherentes' para extraer los parámetros de movimiento del objetivo mientras que la referencia [6] tiene que establecer la degradación requerida en la resolución SAR que sería necesaria, localizar el objetivo en distancia y determinar los errores de desplazamiento por acimut antes de volver a localizar correctamente el objetivo en su localización correcta.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un sistema de procesamiento para la detección de los parámetros de movimiento de un objetivo, el sistema de procesamiento que procesa los retornos de un sistema de apertura sintética, que comprende un procesador adaptado para recibir datos del sistema de apertura sintética, los datos que comprenden información de la imagen de dos pasadas de formación de imágenes independientes de la misma escena, la información de la imagen que comprende una pluralidad de imágenes de apertura sintética de cada pasada de la escena, el sistema de procesamiento que comprende un procesador adaptado para procesar los datos en la forma de imágenes de apertura sintética de las dos pasadas de formación de imágenes independientes y, emparejar la pasada primaria y repetir la pasada de imágenes para las mismas geometrías, para producir una imagen de detección de cambios coherentes (CCD) para cada emparejamiento, de manera que se genera una pluralidad de imágenes de base CCD;

caracterizado porque:

el procesador se adapta para conformar una imagen de referencia a partir de una o más de las imágenes de base CCD, la una o más imágenes de base CCD que se alinean adecuadamente de manera espacial una con respecto a otra; y

el procesador se adapta además para normalizar la imagen de referencia con una imagen de base CCD dada para conformar una imagen de detección de cambios incoherentes asociada, la imagen de base CCD dada que se alinea adecuadamente con la imagen de referencia;

el procesador que se adapta además para analizar una o más imágenes de detección de cambios incoherentes para detectar un rastro dejado por el objetivo en el terreno, y localizar un objetivo mediante la producción de una o más

imágenes enfocadas mediante la manipulación de fases de los retornos temporales de acuerdo con los parámetros de movimiento estimados a partir del rastro de un objetivo.

El sistema puede integrarse con un sistema de apertura sintética tal como un sistema SAR, o puede implementarse alternativamente como un sistema de ordenador separado dispuesto para procesar los datos de imagen de apertura sintética. Los datos del sistema de apertura sintética pueden comprender datos "en tiempo real", en cuyo caso el procesador se adapta preferentemente para que funcione en tiempo real. Alternativamente, los datos del sistema de apertura sintética pueden almacenarse en una memoria, tal como en un disco duro, con el procesador que toma los datos del disco duro en un momento posterior. En este caso el procesador no necesita adaptarse para que funcione en tiempo real.

De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención se proporciona un programa de ordenador adaptado para implementar el método para el primer aspecto de la presente invención en un sistema de ordenador, y adaptado además, para producir, cuando se ejecuta en el sistema de ordenador, los datos de la imagen que comprenden una imagen de detección de cambios incoherentes. El programa de ordenador puede disponerse para que funcione en un sistema de ordenador, el sistema de ordenador que comprende una memoria y un procesador. El programa de ordenador puede comprender instrucciones que provocan que el procesador interactúe con la memoria de acuerdo con el método para el primer aspecto para producir los datos de la imagen, y para almacenar la datos de la imagen en la memoria.

El programa de ordenador puede implementarse en un sistema de ordenador dedicado conectado a un sistema de apertura sintética tal como un SAR, o puede implementarse en un sistema de ordenador separado.

Con el propósito de que la invención pueda entenderse con más facilidad, se describirán ahora las modalidades de ésta, a modo de ejemplo solamente, con referencia a las figuras acompañantes en las cuales:

La Figura 1 es un diagrama en bloques esquemático de un sistema de recopilación de datos de radar de apertura sintética conocido capaz de producir los datos adecuados para la invención actual;

La Figura 2 ilustra la configuración de geometría de formación de imágenes SAR desplegada por el sistema de la Figura 1 cuando se recogen los datos;

La Figura 3 es un diagrama en bloques esquemático del sistema de formación de la imagen SAR de la invención;

La Figura 4 es un diagrama en bloques esquemático del sistema de formación de la imagen CCD de la invención;

La Figura 5 muestra, mediante el uso de imágenes CCD reales, los resultados de ejemplo de una modalidad del sistema descrito en relación con la Figura 2 mediante el uso de a) cambios del rastro de tierra del vehículo, y b) cambios de la sombra.

La Figura 6 es un diagrama de flujo de las rutinas de procesamiento del sistema de detección de cambios usadas en el sistema de la Figura 2; y

La Figura 7 ilustra una subimagen binaria para un conglomerado hipotético.

Con referencia a las Figuras 1, 2 y 3 se muestra un sistema de detección de objetivos radar adecuado para recoger los datos para su uso por la invención, y además para la implementación de la invención. Se indica generalmente por un sistema de adquisición de datos 10, un sistema de formación de imágenes SAR 100 y un sistema de formación de imágenes CCD 300 respectivamente. Cada uno de los subsistemas 10, 100 y 300 se explican de aquí en adelante.

El sistema 10 referido en la Figura 1 es el sistema de radar de laboratorio para la determinación de un objetivo aéreo integrado (IATL) que funciona desde un avión Andover. El sistema 10 se usa en la recolección de los datos de radar crudos, antes del procesamiento de acuerdo con la presente invención. Comprende una antena 12 soportada dentro de un compartimiento que se suspende por debajo del fuselaje del avión, un radar 14, un convertidor análogo a digital (A a D) 16, un registrador de datos 18, un ordenador 20 y un dispositivo de visualización 22. El ordenador 20 está bajo el control del operador a través de un ratón 24 y un teclado 28. Los datos se entran entre las partes del sistema 10 a lo largo de las líneas de datos 30, los que están entre el ordenador y el convertidor de A a D 16 y el ordenador 20 y el registrador de datos 18, incluyen los interruptores respectivos 33 y 34. Las líneas de control 36 proporcionan señales de control generadas por ordenador para pasar al dispositivo radar 14, al convertidor de A a D 16 y al dispositivo de visualización 22. Se proporciona una línea de comunicación 37 para pasar los mensajes entre el ordenador 20 y el registrador de datos 18.

La antena 12 es una antena de alta ganancia. El radar 14 es un radar de pulso coherente. Se usa la misma antena para transmitir y recibir y es por lo tanto un sistema monoestático. Se hace funcionar a una frecuencia central de 9.46 GHz y a esta frecuencia la antena tiene un ancho de haz de 1.26° grados en el acimut y 7.95° en elevación. El radar tiene una

potencia de transmisión máxima de 3500 W y es capaz de funcionar en los intervalos de 10-100 km. Es capaz de funcionar en un ancho de banda máximo de 1.44 GHz. En la recogida de los datos usados en una modalidad ilustrativa descrita en la presente descripción se establece un ancho de banda de funcionamiento a 1.44 GHz el máximo soportado por el sistema. El radar se polariza linealmente tanto con las polarizaciones de transmisión como de recepción establecidas por el horizontal. Se hace funcionar mediante la transmisión de una serie de pulsos a una frecuencia de repetición de pulsos (PRF) de 1000 Hz. Los detalles completos del sistema IATL pueden encontrarse en la referencia [9].

Después que cada pulso se ha transmitido, el radar está inactivo durante un corto periodo y entonces registra los 11279 valores correspondientes al eco del radar de una serie de 11279 células en la dirección de distancia concurrentes. Las células en la dirección de distancia se disponen a lo largo de una línea radial que se extiende hacia fuera del centro de la antena. La primera célula en la dirección de distancia es la más cercana en distancia a la antena y la última la más alejada en distancia. El radar usa el tiempo de retardo entre el final de la transmisión de un pulso y el comienzo del registro de la primera célula en la dirección de distancia para determinar el desplazamiento del rango de inclinación al comienzo de la primera célula en la dirección de distancia.

La antena puede girar -15 grados a +15 grados en el acimut y de +5 grados a -45 grados en elevación. Para la recolección de datos usados por la invención como se describe en la presente descripción el ángulo de elevación se establece a -9.2 grados. Se especifica un punto de interés fijo (POI) en el terreno y el radar ajusta automáticamente el punto de mira del acimut de la antena para apuntar continuamente de manera directa al POI. Cada uno de los 11279 valores que el radar registra para cada pulso que se transmite es un valor complejo con una parte real e imaginaria. La señal análoga se pasa a través de un convertidor de A a D donde se digitaliza la señal. Todo el procesamiento subsiguiente se realiza en los datos digitales. El radar transmite 1000 pulsos por segundo y recibe datos de 11279 células en la dirección de distancia para cada pulso.

El convertidor de A a D 16 es de un tipo estándar y es capaz de digitalizar tanto las partes real como imaginaria de una señal de entrada compleja. El registrador de datos 18 es una grabadora de cinta estándar de alta velocidad, por ejemplo una grabadora de cinta Quantum LTO-3 con 800 GB de capacidad en un solo cartucho y velocidades de copia de seguridad de 324 GB/hr. El ordenador 20 es un ordenador Opteron con cuatro procesadores AMD Opteron de 2.4 GHz. El sistema 10 tiene una interfaz gráfica de usuario (GUI) que se visualiza en el dispositivo de visualización 22 y con la cual un operador puede interactuar con el sistema 10 mediante el uso del ratón 24 y el teclado 28. Los resultados generados por el sistema 10 también se visualizan en el dispositivo de visualización 22. Hay dos visualizadores GUI separados; un monitor de datos radar que informa el progreso de la plataforma en un mapa junto con una variedad de información paramétrica de la gestión interna y un visor de imágenes donde pueden presentarse las imágenes procesadas al operador. El visor de imágenes GUI tiene un número de funcionalidad adicional para el usuario tales como superposiciones de mapas y herramientas para navegar alrededor de la imagen y manipular múltiples imágenes.

Con referencia a la Figura 2, para la recogida de datos el IATL vuela una pista a una distancia de seguridad de 6903 m en un intervalo que da un rango de inclinación de 12627 m desde el centro de la pista del IATL (Punto O) al POI seleccionado en el terreno (Punto S). La altitud de la pista se selecciona para dar un ángulo rasante de -9.2° desde el centro de la pista del Punto O al POI S. El IATL vuela en una línea recta a lo largo de la pista a una velocidad constante de 83 m/s. El acimut de la antena 12 se entrena en el POI S. A medida que la plataforma del IATL progresa a lo largo de la pista el ángulo de acimut de la antena 12 se dirige automáticamente por el radar para mantener el punto de mira de la antena apuntando continuamente al POI. Esta forma de adquisición de datos se denomina formación de imágenes en modo de haz concentrado.

Al inicio de la formación de imágenes el IATL se alinea a lo largo de la pista formación de imágenes designadas. La antena 12 está orientada hacia el POI S. El ángulo de estrabismo de acimut inicial de la antena 12 es aproximadamente +15 grados. El dispositivo radar 14 se conecta automáticamente por el ordenador 20 cuando el IATL alcanza el punto designado a lo largo de la pista para comenzar la formación de imágenes. El interruptor 33 se cierra y los datos de radar crudos se registran en la memoria de almacenamiento en el ordenador 20. La plataforma del IATL vuela a lo largo de la trayectoria larga designada de 6903 m a una velocidad nominal de 83 m/s. A medida que la plataforma del IATL progresa a lo largo de la pista el ángulo de acimut de la antena 12 se ajusta continuamente por la señal de control del ordenador 20. A medida que la plataforma del IATL se desplaza a través del Punto O el ángulo de estrabismo de la antena 12 cae a 0 grados. Después de este punto la antena 12 tiene ángulos de estrabismo negativos. En el momento en que el IATL alcanza el final de la trayectoria larga de 6903 m el ángulo de acimut de la antena 12 se ha desviado a un valor de aproximadamente -15 grados. El interruptor 33 se abre y el radar 14 se apaga. El operador introduce un comando mediante el uso del teclado 28 al ordenador 20 para cerrar el interruptor 34 y almacenar una copia de los datos de la memoria del ordenador 20 en el medio del dispositivo registrador. Cuando se completa la copia de seguridad de los datos el interruptor 34 se abre. El operador toma nota de los nombres de archivo de los datos almacenados en el dispositivo registrador 18 que se han generado automáticamente por el ordenador 20. Esto completa la etapa de adquisición de datos por el sistema 10.

Lo que se muestra en la Figura 3 es un sistema de formación de imágenes SAR 100, usado para producir imágenes de base para el posterior procesamiento de acuerdo con la presente invención. Que comprende un registrador de datos

180, un ordenador 200 y un dispositivo de visualización 220. El ordenador 200 está bajo el control del operador a través de un ratón 240 y un teclado 280. Los datos se pasan entre las partes del sistema 100 a lo largo de las líneas de datos 300. Las líneas de control 360 proporcionan señales de control generadas por ordenador para pasar al dispositivo de visualización 220. Una línea de comunicación 370 se proporciona para pasar mensajes entre el ordenador 200 y el registrador de datos 180. El registrador de datos 180, el ordenador 200 y sus periféricos 220 al 370 son idénticos a los dispositivos enumerados del 18 al 37 en la Figura 1.

En uso, un operador usa el teclado 280 para configurar los parámetros requeridos por el sistema, que incluye la latitud, longitud y altitud de una región de interés, el ángulo de orientación del avión, el ángulo rasante, el desplazamiento del rango de inclinación junto con el ángulo de estrabismo de acimut de arranque y terminación requerido de la antena 12 y el número de etapas de ángulo de estrabismo. El ángulo de estrabismo es el ángulo fuera del eje de puntería. El estrabismo de grado cero es el ángulo que apunta en la dirección del costado de la plataforma. El estrabismo positivo es el que apunta hacia la nariz de la plataforma y el estrabismo negativo a lo largo del parte trasera. Por lo tanto por ejemplo el ángulo de estrabismo para apuntar en la dirección de la nariz de la plataforma es +90 grados. El operador entonces especifica finalmente la resolución de distancia y acimut (cross-range) y la separación de píxeles para las imágenes SAR. El operador también especifica el tamaño de la imagen en metros tanto en distancia como en acimut. El ordenador 200 entonces mediante el uso de algoritmos de procesamiento SAR de haz concentrado estándar con procedimientos de focalización automatizados forma una serie de archivos de imagen de base SAR 250, uno para cada ángulo de estrabismo solicitado, de los datos de pulso de radar crudos. Para los datos usados en las modalidades descritas en la presente descripción, cada imagen SAR es del tamaño de 3002 píxeles de acimut por 8002 píxeles de distancia con la separación de píxeles que es 0.1 m tanto en acimut como en distancia. Se conocen los algoritmos para conformar imágenes de base SAR de haz concentrado en la geometría de estrabismo de pulsos crudos del radar. Las referencias [11] y [12] son sólo dos ejemplos de entre varias referencias de la literatura publicada que describen el método para producir imágenes SAR de haz concentrado en ángulos de estrabismo arbitrarios a partir de los datos de radar crudos desde una plataforma en movimiento.

Para este ejemplo el sistema 100 se despliega para producir imágenes de base SAR a partir de dos pasadas de formación de imágenes independientes contra el mismo POI que voló con una diferencia de aproximadamente 22 minutos. Los datos de cada una de las dos pasadas se procesan para conformar las imágenes de base SAR a partir del ángulo de estrabismo de 6 grados a 12 grados. La siguiente descripción muestra el procesamiento de 7 archivos de imagen de base SAR 250 producidos durante cada pasada. Para cada pasada, se toma cada imagen de base SAR a partir de un punto de vista separada espacialmente en aproximadamente 230 m a partir de la última, y separada temporalmente por aproximadamente de 2.8 segundos. Por lo tanto entre cada imagen que se registra hay tiempo para una cantidad apreciable de movimiento para los vehículos terrestres que se mueven a velocidades normales, y tiempo por lo tanto para que se creen los "rastros" significativos.

Los archivos de imagen de base SAR a partir de la (primera) pasada primaria se denominarán de ahora en adelante como P_1, P_2, \dots, P_7 . P_1 es la etiqueta para el archivo de imagen de base SAR en el ángulo de estrabismo de 12 grados, P_2 es la etiqueta para el archivo de imagen de base SAR en el ángulo de estrabismo de 11 grados y etcétera. Mediante el uso de esta norma de etiquetado P_7 es la etiqueta para el archivo de imagen de base SAR en el ángulo de estrabismo de 6 grados.

Las imágenes de base de la segunda pasada se denominarán como S_1, S_2, \dots, S_7 donde el subíndice x en S_x corresponde al ángulo de estrabismo idéntico al del subíndice para las imágenes primarias P_x . Por lo tanto por ejemplo P_1 y S_1 son dos imágenes SAR de la pasada primaria y de repetición respectivamente cada una formada en los ángulos de estrabismo idénticos que para esta modalidad es 12 grados.

Cada uno de los archivos de imagen de base SAR 250 tanto de la pasada primaria como la de repetición es una matriz bidimensional que tiene 8002 filas con cada fila que contiene 3002 columnas. Cada fila representa los datos radar recibidos de una posición de distancia específica y cada columna representa datos de la posición de acimut específica. Por lo tanto, por ejemplo el elemento (100, 12) será los datos de radar derivados de la célula en la dirección de distancia 100 a la célula en la dirección de acimut 12. La matriz completa bidimensional es por lo tanto una imagen SAR que es del tamaño de 8002 píxeles de la célula en la dirección de distancia por 3002 píxeles de la célula en la dirección del acimut. Cada elemento o píxel en la matriz bidimensional es un número complejo con un componente real e imaginario. El valor del píxel representa la sección transversal del radar complejo (RCS) para la correspondiente localización en el terreno según se mide por el radar. Para esta modalidad la separación de los píxeles de distancia y acimut es 0.1 m. Cada píxel por lo tanto corresponde a un 0.1 m por 0.1 m de huella radar en el terreno. Todo el archivo de imagen de base SAR 250 corresponde a un huella radar que es 800.2 m de longitud en distancia y 300.2 m amplitud en el acimut. La resolución correspondiente de la imagen en distancia y acimut es 0.13 m. Esta relación entre la resolución de imagen de muestreo espacial y la verdadera garantiza la visualización óptima de los datos. Los archivos de imagen de base SAR 250 se almacenan en el ordenador 200. Los archivos de datos 250 se almacenan como archivos binarios con un encabezado ASCII que contiene información en la separación de píxeles y del ángulo de estrabismo de la imagen SAR. Por lo tanto para el archivo P_1 el encabezado indicará un ángulo de estrabismo de 12 grados. La generación de los archivos de los datos de la imagen SAR P_1 a P_7 y S_1 a S_7 completa el proceso de formación de la imagen SAR por el sistema 100.

La Figura 4 muestra las etapas implicadas en una primera modalidad de la presente invención. Se muestra un diagrama de flujo que ilustra las etapas de rutina 305 a la 330 ejecutadas por el ordenador 200 para procesar los archivos de la imagen SAR 250 para producir las imágenes de la línea de base CCD 350 por el proceso 300. La serie comprende una rutina de selección de imagen 305, un emparejamiento con la rutina de imagen de base primaria 310, una rutina de alineación de imagen 320 y finalmente una rutina de cálculo de estadísticas de coherencia 330. La salida del proceso 300 es una imagen de base CCD 350.

El proceso 300 funciona por la primera tarea de la acción de la rutina 305 que selecciona una de las imágenes, S_i , donde $i = 1, \dots, 7$, de entre las imágenes de línea de base de la segunda pasada. La rutina 310 entonces selecciona la imagen correspondiente adecuada a partir de las imágenes de base primarias. En este caso es la imagen de base primaria P_j de manera que $j=i$. Por lo tanto si 305 selecciona la imagen S_1 entonces la rutina 310 seleccionará la imagen P_1 . Las operaciones de 305 y 310 pueden realizarse manualmente donde un humano selecciona los archivos adecuados o el proceso puede automatizarse como una escritura que puede emparejar las imágenes en base a la información del ángulo de estrabismo contenida en el encabezado de los archivos SAR 250.

La rutina 320 alinea la imagen SAR S_i con P_j . Las imágenes S_i y P_j se correlacionan entre sí lo que proporciona un estimado de la desalineación tanto en la fila como en la columna. La imagen S_i se desplaza entonces en la fila y la columna en esta cantidad para producir una imagen SS_i alineada. La técnica de alineación de imagen en base a la correlación es un procedimiento bien establecido en el procesamiento de la señal de imagen y la referencia [13] es sólo una de muchas referencias en la literatura publicada en este tópico. Para esta modalidad la alineación de la imagen se realiza dentro de $1/10^{\text{mo}}$ de un pixel que se logra mediante la ampliación de las imágenes originales cada una por un factor de 10 antes de calcular la correlación. La alineación se aplica entonces a la versión ampliada de S_i antes de reducirla de nuevo por un factor de 10. La imagen final SS_i se alinearía entonces dentro de un 10^{mo} de un pixel de la imagen P_j . Puede ser ventajoso realizar el cálculo de correlación en pequeñas subsecciones de imágenes centradas en puntos brillantes que están presentes tanto en S_i como en P_j . Cada una de estas correlaciones de subsección producirá una estimación del desplazamiento de alineación separada que puede promediarse para producir un desplazamiento de alineación medio. El procedimiento para aplicar la corrección de desplazamiento a S_i se mantiene igual con independencia de si el desplazamiento de alineación se ha derivado mediante el uso de toda la imagen o como un promedio de múltiples estimaciones de alineación. Un experto será consciente de aún otras técnicas para producir el resultado de alineación como de la rutina 320.

La rutina 330 entonces calcula las estadísticas de coherencia para SS_i y P_j . Esto produce un archivo de imagen de base CCD 350. Para esta modalidad estos archivos se etiquetan C_i , donde i es el mismo índice de valor como en SS_i y por lo tanto significa el mismo ángulo de estrabismo como para SS_i . C_i es el mismo tamaño como el archivo SS_i y para el caso de P_j . Cada pixel en C_i es la estadística de coherencia y, el producto normalizado medio de P_j con el conjugado complejo de SS_i se da como [10]:

$$\gamma = \frac{\langle |I_1 I_2^*| \rangle}{\sqrt{\langle |I_1|^2 \rangle \langle |I_2|^2 \rangle}} \quad (1)$$

donde I_1 es el valor del pixel complejo de P_j , I_2^* es el valor conjugado complejo de SS_i , $| \cdot |$ denota el valor absoluto, y $\langle \cdot \rangle$ el valor medio del ensamble de una cantidad que se estima como

$$\frac{1}{NM} \sum_{l=1}^N \sum_{k=1}^M x_{lk}$$

por una cantidad x sobre una ventana que es la longitud de la fila N y la amplitud de la columna M . Para esta modalidad las longitudes de las ventanas usadas son $M=N=10$. Esto resultó en una reducción en la resolución efectiva de la imagen CCD por un factor de 10 es decir, 1 m de 0.1 m de los archivos originales SAR 250. Sin embargo, el proceso de promedio produce una estimación menos ruidosa de las estadísticas de coherencia que ayuda con las etapas de procesamiento de subsecuencias. La separación de pixeles se mantiene sin cambios en 0.1 m y por lo tanto el tamaño de la imagen total de la imagen CCD C_i es idéntica a la imagen original SAR.

Un experto en la materia de cálculos CCD puede idear técnicas modificadas para realizar el proceso 330. Una alternativa particular es generar múltiples SS_i , cada una con una corrección de alineación diferente y producir diferentes variantes de C_i . La salida final C_i se obtiene entonces mediante la selección del máximo en cada pixel de entre el grupo de imágenes C_i por lo tanto calculadas.

Una sola iteración del proceso 300 producirá una de la imagen de base CCD 350 que se ha etiquetado como C_i . El proceso se repite seis veces para generar las imágenes de base CCD C_1, \dots, C_7 . Esto completa el proceso para la generación de la imagen de base CCD del sistema 300. Las ventajas de la generación de la secuencia de la imagen de base CCD de sólo dos pasadas y que toma pares de imágenes de múltiples aspectos en geometrías idénticas es que el

lapso de tiempo entre cada imagen CCD en la secuencia es muy corto - del orden de unos pocos segundos. Esto permite una dinámica rápida en la escena que va a capturarse por un proceso de detección de cambios como el realizado por las etapas del método 1000 como se ilustra en la Figura 6.

5 Como una ilustración adicional de esta técnica se hace referencia a la Figura 5a que muestra una modalidad de esta invención con la ayuda de una serie de cuadros de imágenes que ilustran la evolución de la imagen CCD debido a una perturbación del terreno producida por el movimiento de un vehículo sobre una superficie de hierba. En cada caso se muestra una pequeña sección de la imagen de la misma región. La imagen superior es una imagen de base SAR S_1 . Hay un vehículo que se desplaza en la escena que va de derecha a izquierda justo por debajo del rastro (la línea horizontal oscura en la imagen SAR). Ni el vehículo en movimiento ni ninguna traza formada en la hierba puede verse a partir de la imagen SAR sola. La segunda imagen de la parte superior en la Figura 5a es la imagen de base CCD C_1 . Mientras que el propio vehículo no aparece en la imagen CCD hay una línea brillante inconfundible que aparece en la superficie de la hierba donde se ha movido el vehículo a lo largo del terreno. La cabeza de la flecha apunta a la parte delantera del rastro del vehículo en C_1 . Con referencia a la tercera imagen de la parte superior en la Figura 5a que es la imagen de base CCD C_7 puede verse claramente que la parte delantera del rastro del vehículo ha progresado a lo largo del terreno por una distancia notable en la imagen. Un resultado de la detección de cambios entre tales imágenes de línea de base CCD detectará estas diferencias en la longitud del rastro de tierra del vehículo y por lo tanto detecta, localiza y estima la velocidad del objetivo en movimiento sin el uso de ningún eco directo o información de sombra del propio objetivo. Como una ilustración de tal detección de cambios incoherentes aplicada a las imágenes de base CCD para detectar las huellas del vehículo la imagen inferior en la Figura 5a muestra una imagen de relación de C_1 y C_7 . Los detalles de la escena que están presentes en ambas imágenes aparecen en gris en esta imagen combinada. Las características de la escena brillantes presentes solamente en C_1 aparecen oscuras y las presentes en C_7 sólo aparecen brillantes en la imagen combinada. A partir de esta imagen de relación el rastro del vehículo aparece en gris a excepción de la última sección que aparece de color blanco brillante ya que esta corresponde a un nuevo movimiento a partir de la imagen de base CCD anterior, C_1 , es decir el movimiento que se lleva a cabo entre la imagen C_1 y C_7 , el grado del cual se indica aproximadamente por las flechas en la imagen inferior de la Figura 5a. La detección de la presencia de tales nuevos cambios a través del procesamiento de la secuencia de la imagen de base CCD es un aspecto importante de esta invención que permite la detección de tales eventos dinámicos tales como el movimiento de vehículos terrestres a lo largo de superficies rugosas.

30 En esta Figura no había vehículo en movimiento en la escena para la recolección de la primera pasada y el vehículo no se movió durante la segunda pasada. Puede observarse la dinámica del rastro del vehículo similar si el objetivo estuvo presente y en movimiento durante la pasada primaria y no estuvo presente el vehículo en la escena para la segunda pasada. En este caso el rastro del vehículo en lugar de crecer se retraerá en las imágenes de base CCD. Sin embargo, la secuencia de la imagen de base CCD sólo puede generarse una vez que la segunda pasada de repetición para la formación imágenes se ha realizado. Una vez que las imágenes de base CCD se han generado puede detectarse todavía cualquiera de las dinámicas rápidas, pero se apreciará que esta detección sólo puede tener lugar una vez que se han hecho ambas pasadas de formación de imágenes, junto con el procesamiento CCD subsiguiente de acuerdo con la presente invención. El período de tiempo entre llevar a cabo las dos pasadas de formación de imágenes por lo tanto introduce un período de latencia, entre la primera pasada de formación de imágenes y es capaz de observar y detectar un objetivo en movimiento. Por lo tanto una capacidad de respuesta rápida en tiempo real contra objetivos en movimiento se verá limitada por este período de latencia.

45 Por supuesto, en muchas escenas habrá vehículos en movimiento tanto en la pasada primaria como en la segunda pasada del sistema de apertura sintética, lo que conduce a un entorno más complejo en donde la dinámica del rastro del vehículo tanto crecerá como se retraerá en las imágenes de base CCD cuando se ve en la sucesión, por ejemplo en una secuencia de vídeo. Los diversos comportamientos, tal como una pista de retroceso o que se forma con el tiempo se muestran sin embargo cuando tiene lugar el movimiento (es decir la primera o segunda pasada respectivamente).

50 Como una ilustración adicional de esta técnica se hace referencia a la Figura 5B que muestra una modalidad de esta invención con la ayuda de una serie de cuadros de imágenes que ilustran la evolución de la imagen CCD que incluye las sombras del objetivo producidas por el movimiento de un vehículo. En cada caso se muestra una pequeña sección de la imagen de la misma región. La imagen de la derecha es una imagen de base SAR S_1 . Hay un vehículo que se desplaza en la escena a la izquierda de la pista vertical en el campo. Se desplaza en ángulo recto con la pista que va de izquierda a derecha. La imagen del vehículo es totalmente invisible. La imagen central en la Figura 5B es la imagen de base CCD C_1 . El vehículo pasa a estar en movimiento en una parte del campo que aparece muy brillante en la imagen CCD. Aunque el vehículo se mueve cerca del borde de esta región brillante su rastro de tierra no es visible, ya que no puede distinguirse de otros cambios CCD fuertes que se muestran en la imagen en la misma localización. Sin embargo, hay una región brillante rectangular que aparece contra la parte más oscura del campo (delimitada por una caja negra para facilitar la ilustración) esta región brillante que comprende los cambios CCD debido a la sombra del objetivo. Cuando una región en la imagen SAR se enmascara por la sombra del objetivo, la fase de eco se sustituye por la fase de ruido aleatorio. En la imagen CCD esto aparece como un área brillante, lo que significa pérdida de coherencia. Por lo tanto la presencia de la sombra del objetivo se enmascara por esta señal de sombra CCD relacionada. Nótese que aquí la sombra se observa a través de un cambio de fase, y más particularmente en la fase de la señal de fondo. En el método de detección de sombra SAR como en la referencia [7] la sombra se reconoce en la imagen debido a un cambio en los

valores de intensidad en la región enmascarada por la sombra del objetivo. Con referencia a la imagen de la derecha en la Figura 5B que es la imagen de base CCD C_3 el objetivo se ha movido más a la derecha en la imagen. La sombra del objetivo también se ha desplazado a la derecha y la caja negra marca la nueva posición de la señal CCD asociada a la sombra del objetivo. Nótese la posición anterior de la sombra, como se marca por la caja negra discontinua, ahora ya no es brillante. Esto es debido a que el fondo ha vuelto a los valores de eco originales, y sin ningún cambio de fase de las medidas de imagen CCD esta región debe ser coherente, y por lo tanto aparece en negro. Un resultado de la detección de cambios entre tales imágenes de línea de base CCD detectará ahora el desplazamiento en los cambios CCD de la sombra relacionada y por lo tanto detecta, localiza y estima la velocidad del objetivo en movimiento sin el uso de ningún eco directo del propio objetivo. La detección de la presencia de tales nuevos cambios a través del procesamiento de la secuencia de la imagen de base CCD es una aplicación importante de esta invención que permite la detección de tales eventos dinámicos tales como la evolución de los cambios CCD debido al desplazamiento de la sombra del vehículo en movimiento. Como los cambios CCD dependientes de la sombra no son permanentes, esto significa que el mismo parche de la imagen puede usarse para detectar objetivos separados. Esto difiere de la técnica que usa el rastro de tierra que, en este enfoque, una vez que se forma un nuevo rastro, el cambio CCD se convierte en permanente lo que evita los cambios de los objetivos subsiguientes que se desplazan a lo largo de la misma trayectoria que se detecta. Además, como simplemente se observan los cambios de la sombra del bloqueo de la señal de eco, los cambios CCD pueden observarse incluso cuando el terreno en realidad no se perturba físicamente por ejemplo en el caso de la superficie rígida. Por lo tanto mediante el examen de los cambios CCD dependientes de la sombra pueden detectarse los objetivos que se desplazan no sólo en el terreno blando sino también en superficies duras donde el fondo es lo suficientemente fuerte para permitir las diferencias de fase debido al enmascaramiento de la sombra que como tal se observa en las imágenes CCD. A diferencia de los cambios CCD del rastro de tierra que muestran ya sea un patrón de expansión o de retroceso que depende de si el objetivo se mueve en la pasada primaria o secundaria los cambios CCD de la sombra aparecen idénticos con independencia de en cual pasada se movía el objetivo.

La Figura 6 muestra un diagrama de flujo que ilustra las etapas de rutina 1001 a la 1008 ejecutadas por el ordenador 200 para procesar los archivos de base CCD 350 para realizar el proceso de detección del rastro de tierra del objetivo en movimiento 1000. El resultado de estas rutinas se visualiza en el dispositivo de visualización 220 mediante el uso del enlace de datos 300. La serie de etapas comprende una rutina de rotación de la imagen 1001, una rutina de generación de la imagen de referencia 1003, una rutina de generación de relación de la imagen 1004, otra rutina de rotación de la imagen 1005, una rutina de preselección SAR 1006, una rutina de transformación de datos 1007 y una rutina de seguimiento 1008.

La siguiente descripción se refiere al procesamiento que puede realizarse en las imágenes de base CCD para proporcionar una capacidad de detección de objetivos automática. El procesamiento es similar al hecho en la publicación de solicitud de patente PCT copendiente núm. WO2007/113469.

Para cada archivo de imagen de base CCD C_i , donde $i = 1, \dots, 7$, la rutina de rotación de la imagen 1001 rota la imagen por el ángulo de estrabismo donde el ángulo de estrabismo se obtiene a partir del encabezado del archivo ASCII. Siguiendo esta rotación las filas y columnas de la imagen se alinean a lo largo del eje de la plataforma a través de la pista y a lo largo de la pista. Cualquier pixel dado en las imágenes transformadas se refiere ahora a la misma localización en el terreno. Todas las imágenes están ahora alineadas con respecto al terreno. Para esta modalidad C_1 se hace girar en un ángulo de 12 grados, C_2 por un ángulo de 11 grados y etcétera. La salida de la rutina de rotación de la imagen 1001 es un conjunto de 7 archivos de imagen de base CCD girada. Estos se etiquetan de B_1 a B_7 .

La rutina de generación de la imagen de referencia 1003 produce una imagen de referencia correspondiente para cada imagen de base CCD a partir de la rutina 1001. Para esta modalidad la imagen de referencia para una imagen B_i es simplemente la imagen de procedimiento en la secuencia es decir,

$$B_i^{ref} = B_{i-1} \text{ donde } i = 2 \text{ a } 7 \quad (2)$$

Nótese que B_1 no tiene una imagen de referencia correspondiente, ya que en este caso no hay ninguna imagen anterior. Para la modalidad actual la rutina 1003 produce un total de 6 imágenes de referencia, etiquetadas como B_2^{ref} a B_7^{ref} .

Por supuesto, la imagen de referencia puede producirse de cualquier otra manera adecuada. Por ejemplo, la imagen de referencia puede comprender una imagen formada a partir de una pluralidad de imágenes de base CCD giradas mediante el uso de cualquier número de estadísticas del promedio máximo de valores de los pixeles, etc.

La siguiente etapa es la normalización para producir la imagen de detección de cambios incoherentes. Esta modalidad produce la imagen de detección de cambios mediante la creación de una relación, y así por lo tanto usa el término "imagen de relación" para describir la imagen de detección de cambios. La imagen de relación se genera por la rutina de generación de relación de la imagen 1004 que forma una relación entre la referencia y la imagen correspondiente dada como

$$R_i = B_1^{ref} / B_i \text{ donde } i = 2 \text{ a } 7 \quad (3)$$

Aquí R_i es la etiqueta con referencia a la imagen de relación para la imagen de secuencia i -mo. La rutina de la imagen de relación 1004 se aplica en un total de 6 imágenes a partir de la secuencia número 2 y que termina con la secuencia de la imagen número 7.

5 La generación de la imagen de relación (o más generalmente la imagen de detección de cambios incoherentes) mediante el uso de la imagen de referencia es el mecanismo por el cual se realiza la detección de cambios del rastro móvil del objetivo terrestre.

10 Después de normalización en la rutina de la imagen de relación 1004, las rutinas subsiguientes 1005 a 1006 en el sistema 1000 de la Figura 6 describen un método para la detección automática de los objetivos en movimiento mediante el uso de las imágenes de relación. Tal detección automática se añade a la conveniencia de uso de la invención.

15 Para esta modalidad, la siguiente etapa después de la creación de las imágenes de relación R_i es rotarlas de nuevo en el eje de coordenadas de la imagen original. Esto se realiza mediante el uso de la rutina de rotación de la imagen 1005. Como en la rutina 1002, el ángulo de estrabismo en el encabezado del archivo determina la cantidad por la que se hace rotar la imagen. La diferencia con la rutina 1005 es que la rotación se realiza en la dirección opuesta. Por lo tanto por ejemplo si el ángulo de estrabismo es 10 grados entonces el ángulo de rotación será -10 grados. Los procesos de rutina un total de 6 imágenes de relación y los archivos de salida se etiquetan D_i donde $i = 2$ a 7.

20 La rutina de preselección 1006 procesa entonces cada uno de los archivos D_i y genera una lista de detecciones de puntos. La preselección consiste de tres subrutinas, detección inicial (1106) (por ejemplo procesamiento CFAR), conglomerar (1206) y discriminación (1306).

25 La rutina de detección inicial 1106 realiza una detección de anomalías brillantes. Esto aplica un umbral adaptativo CFAR a la imagen D_i para señalar los píxeles que son anormalmente brillantes en comparación con el fondo local. La técnica de detección CFAR es familiar para los expertos en la materia de ingeniería radar. Por lo tanto por ejemplo un algoritmo CFAR para un fondo de distribuciones K se describe por la referencia [14]. Para obtener resultados óptimos el algoritmo CFAR tiene que tener en cuenta las estadísticas correctas para el fondo de las imágenes de relación.

30 Para cada imagen D_i la rutina de detección inicial 1106 genera una imagen binaria correspondiente del mismo tamaño. Las imágenes binarias, etiquetadas E_i , donde $i = 2$ a 7, se componen de píxeles de valores ceros y unos donde un uno indica una detección y un cero indica que no hay detección.

35 La rutina de conglomerado 1206 busca a través de la imagen binaria E_i y grupos vecinos de píxeles con valores con valores uno en conglomerados únicos. Se conoce la rutina de conglomerado 1206, y más detalles de algoritmos de conglomerado genéricos del tipo usado por la rutina 1206 pueden encontrarse en la referencia [15]. Para cada conglomerado que se identifica en la imagen binaria E_i , la rutina de conglomerado genera una lista que contiene un número único de identificación (ID) para el conglomerado, el número de píxeles en el conglomerado y los índices de fila y columna de los píxeles identificados como que pertenecen a ese conglomerado. Por lo tanto por ejemplo la rutina 1206 podría generar una lista de la forma

1 3 100,25; 100,26; 100,27

45 Esta lista de salida indica que la rutina 1206 ha encontrado un solo conglomerado al que le ha sido asignado el número de identificación único "1". El número total de píxeles en este conglomerado es tres. Los tres siguientes pares de números son los índices de fila y columna de los tres píxeles pertenecientes al conglomerado "1". La rutina 1206 produce un archivo de lista del conglomerado de este formato que corresponde a cada archivo de imagen binaria E_i . Estos archivos de lista del conglomerado son archivos de texto ASCII y se etiquetan L_i . Hay una línea de datos por un único conglomerado. Un total de 6 archivos L_i se producen donde $i = 2$ a 7.

55 Una vez que los píxeles se conglomeran, se usa una rutina de discriminación 1306 para rechazar las falsas alarmas. Se diseña para rechazar los conglomerados que no son objetivos válidos. Para un objetivo terrestre tal como un rastro del vehículo es probable que un conglomerado válido tenga un perfil delgado estrecho, pero esto podría variar si, por ejemplo, el vehículo no se mueve muy lejos durante los sucesivos cuadros de imágenes SAR en una pasada de formación de imágenes dada. Otros factores, tales como maniobras complejas del objetivo entre los cuadros de imágenes SAR también podrían provocar que existan huellas de vehículos más complejas. La rutina de discriminación 1306 usa la imagen binaria E_i junto con el correspondiente archivo de lista del conglomerado L_i para calcular las características discriminatorias asociadas con cada conglomerado. Se especifican los criterios para las características del objetivo válido.

60 Si se detectan cambios CCD de la sombra del vehículo se especificará un conjunto diferente de características discriminantes. Se relacionan con el grado probable de las sombras del objetivo teniendo en cuenta tanto las dimensiones del objetivo como de la geometría de formación de imágenes. Por lo tanto la rutina 1306 es capaz de seleccionar los conglomerados ya sea en la base del rastro de tierra del vehículo o por su huella de la sombra.

Si se detectan cambios CCD de la sombra entonces la generación de las imágenes de referencia pueden diferir de las generadas cuando se detectan las huellas del vehículo. A medida que las sombras se mueven con los objetivos aparecerán en diferentes lugares en la secuencia de imágenes CDD. Para proporcionar una mejor oportunidad de detección cuando se compara una imagen de detección de cambios incoherentes con una imagen de referencia, es ventajoso filtrar temporalmente las imágenes usadas para producir la imagen de referencia para reducir la influencia de las imágenes de sombra anteriores sobre la imagen de referencia. Una sombra que aparece en la imagen de detección de cambios incoherentes se destaca entonces más claramente contra la imagen de referencia. Tal filtrado temporal en la producción de la imagen de referencia es menos importante cuando se detectan rastros de tierra, ya que uno no trata de reducir el efecto de las detecciones del rastro de tierra anterior.

Para cada imagen binaria E_i , la rutina 1306 lee el correspondiente archivo de lista del conglomerado L_i . Para cada conglomerado enumerado en L_i , (uno por línea), la rutina 1306 extrae una ventana rectangular de la imagen E_i . El tamaño y localización de la ventana de extracción en la imagen E_i se establece de manera que incluye todos los píxeles identificados como que pertenecen a un conglomerado específico. Sin embargo, ya que los píxeles conglomerados se van a difundir un poco al azar, una subimagen en forma de rectángulo es probable que contenga un número de píxeles de valor cero.

Esto se explica aún más con la ayuda de la Figura 7 que ilustra una subimagen de 4 por 3 para un conglomerado de cinco píxeles hipotético. Como puede verse en la Figura 7 hay siete píxeles de valor cero en esta subimagen. Las subimágenes binarias correspondientes a cada conglomerado se usan para estimar la longitud, ancho y orientación del conglomerado mediante el uso de momentos espaciales. El método de estimación basado en el momento espacial es familiar para los expertos en la materia de ingeniería radar y la referencia [16] proporciona una referencia adecuada sobre este tema. A partir de las estimaciones de longitud y ancho, los valores de relación del área y aspecto del conglomerado pueden calcularse entonces.

El proceso de la discriminación de la rutina 1306 implica la lectura de la lista del conglomerado L_i . Para cada conglomerado enumerado en L_i , se extrae una subimagen del rectángulo del correspondiente archivo de imagen binaria E_i y se estima un número de características espaciales y se compara con un criterio de aceptación predeterminado. Habrá un conjunto de criterios asociados con el rastro de tierra del vehículo y un conjunto separado de criterios para la sombra del vehículo. Un criterio de aceptación más avanzado podría combinar ambos conjuntos de criterios de aceptación dentro de un solo esquema pero debe tener en cuenta esos cambios que presentan cada subconjunto de criterios es decir el rastro de tierra sólo o la sombra sólo se aceptan junto con aquellos que cumplen con todos los criterios.

Los criterios de aceptación para los cambios del rastro de tierra pueden comprender una alta correlación con las líneas relativamente delgadas acordes con el movimiento lineal de un objetivo, y también puede comprender altas correlaciones con más formas complejas determinadas por los movimientos potenciales de vehículos objetivos sospechosos. Los conglomerados para los que cualquiera de los valores de las características cae fuera del rango de aceptación se rechazan como falsas alarmas.

Similarmente, los criterios de aceptación para los cambios CCD basados en la sombra del objetivo dependerán de la forma esperada de la huella de la sombra del objetivo según se determina por la longitud, ancho, área, etc. de la región de sombra. Otra vez los conglomerados para los cuales cualquiera de los valores de las características cae fuera del intervalo de aceptación se rechazan como falsas alarmas.

Los detalles para los conglomerados aceptados se guardan en un archivo de detección de preselección. Este archivo de detección de preselección es un archivo de texto ASCII y se etiqueta P. La información que se registra para cada conglomerado aceptado es el número de índice de la imagen "i", el ángulo de estrabismo correspondiente a la imagen i y la posición de pixel central del conglomerado como un número de índice de fila y columna. Por lo tanto la entrada de archivo para cada conglomerado aceptado será como sigue

I ángulo_estrabismo conglomerado_centro_fila_no. conglomerado_centro_columna_no.

La rutina de discriminación 1306 procesa cada par de archivos de datos L_i y D_i y almacena la salida en el archivo P mediante el uso del formato que se muestra anteriormente. El proceso se repite para todos los 6 pares de archivos de datos y los resultados de cada uno se almacenan en el archivo P.

El archivo de datos P contiene los resultados para la preselección como un resultado del procesamiento de todas las imágenes disponibles. Contiene las listas completas de todas las huellas del vehículo detectadas sobre el conjunto completo de imágenes. La localización para cada detección se refiere al punto central de la huella. La siguiente etapa es para la rutina de transformación de datos 1007 para transformar los datos del archivo P en un formato adecuado para la rutina de seguimiento 1008.

Cada línea en el archivo P se refiere a una detección separada. Las entradas con número de índice de imagen idéntico

se relacionan con las detecciones referidas para la misma imagen. La rutina 1007 lee cada línea y transforma el eje de coordenadas para alinearse con el eje de la plataforma a lo largo de la pista y a través de la pista.

5 Esto garantiza que las detecciones a través de todas las imágenes se indexen mediante el uso de un cuadro común de referencia. Esta rotación se hace debido a que las etapas de preselección de la detección inicial 1106, conglomerado 1206 y discriminación 1306 como se describe anteriormente fueron, en esta modalidad particular, diseñadas para trabajar en las imágenes en su orientación original, mientras que la etapa siguiente, la implementación particular de la rutina de seguimiento 1008, requiere en esta modalidad las salidas de la etapa de preselección 1006 para alinearse adecuadamente.

10 Las posiciones de fila y columna del objetivo junto con el número de índice de la imagen se registran en un archivo de preselección modificado etiquetado como Q. El archivo Q también es un archivo de texto ASCII que contiene una entrada de línea por detección. Cada entrada es de la forma

15 I objetivo_fila_no. objetivo_columna_no.

donde la primera entrada se refiere al número de índice de la imagen y las siguientes dos entradas de la posición del objetivo.

20 La rutina 1007 procesa cada entrada del objetivo en el archivo P y envía los resultados al archivo Q. El archivo Q tiene el mismo número de entradas que el archivo P. Los datos en el archivo Q están en el formato que puede pasarse a la rutina de seguimiento 1008.

25 La rutina de seguimiento 1008 aplica un filtro de Kalman x-y estándar a los datos del archivo Q. Esta técnica es familiar para los expertos en la materia de algoritmos de seguimiento. Una buena referencia sobre los rastreadores de filtro Kalman se proporciona por la referencia [17].

30 La salida de la rutina 1008 se almacena en un archivo de salida de seguimiento que se etiqueta T. Este es también un archivo de texto ASCII. Contiene una lista de objetivos que han producido pistas válidas. Cada entrada registrada como una línea separada en el archivo T especifica el número de índice de la imagen, un identificador de pista única y la posición de la fila estimada del objetivo, velocidad de fila (m/s), la posición de la columna y la velocidad de la columna (m/s). El rastreador puede informar una serie de pistas para una imagen dada. Estos tendrán el mismo número de índice de imagen, pero diferentes números de identificación de pista ID. Una pista se declara válida sólo si se detecta el objetivo en tres o más imágenes consecutivas. Las entradas pertenecientes a una pista específica tendrán el mismo número de identificación pista ID pero los números de índice de la imagen se incrementan. Por ejemplo una entrada en el archivo de T puede tener los siguientes valores

35
6 3 145 5.6 55 1.2

40 Esta entrada significa que en la imagen 6, el objetivo que pertenece al único id de la pista 3 se informó en la posición de fila 145 con una velocidad a lo largo de la dirección de la fila de 5.6 m/s. La posición de columna es 55 con una velocidad a lo largo del eje de la columna de 1.2 m/s. La generación del archivo de resultados de seguimiento T completa el sistema de detección del objetivo en movimiento CCD 1000.

45 Por supuesto, será evidente para los expertos que el seguimiento de preselección y subsiguiente de las imágenes de relación puede realizarse mediante el uso de cualquier algoritmo adecuado, y la invención no se limita a los métodos descritos en la presente descripción.

50 Las estimaciones de los parámetros de movimiento del objetivo obtenidas con el método 1000 pueden usarse entonces para volver a enfocar la imagen SAR original SS_i para recuperar una imagen del objetivo. El procedimiento de enfoque sería similar al que se describe en la referencia [18], pero en lugar de realizar una búsqueda exhaustiva sobre todas las posibles combinaciones de movimiento objetivo sólo se aplican los parámetros obtenidos a partir del método 1000. Esto por lo tanto resultará en un gran ahorro en el tiempo de procesamiento y el esfuerzo sobre la búsqueda exhaustiva.

55 El proceso actual de volver a enfocar un objetivo particular implicará trasladar el objetivo a velocidades específicas en términos de velocidad a lo largo de la pista (paralelo a la dirección de la plataforma del recorrido) y velocidad transversal a la trayectoria (perpendicular a la dirección de la plataforma del recorrido) en la corrección de fase equivalente sobre la longitud de apertura sintética SAR. La correlación es de manera que el componente de velocidad transversal a la trayectoria se iguala a un desplazamiento de fase lineal sobre la apertura sintética SAR y el componente de velocidad a lo largo de la pista se iguala a un desplazamiento de fase cuadrática sobre la apertura sintética SAR. Las aceleraciones del objetivo en la dirección a lo largo de y transversal a la trayectoria produce correcciones de fase de orden superior. Sin embargo, los componentes de movimiento de orden superior producen correcciones de fase de orden aún mayor a través de la abertura SAR. Sin embargo, en una primera aproximación sólo los componentes de velocidad del objetivo se toman en cuenta en el término de corrección de fase junto con la aceleración transversal a la trayectoria. Se produce una sola expresión que combina la corrección de fase para todos los componentes de movimiento que se consideren.

5 Este término de corrección de fase se transforma en el dominio de la frecuencia. La imagen de base SAR (del tipo SS_i) se transforma en la frecuencia a lo largo de la dimensión de acimut (filas). La imagen de dominio de la frecuencia se multiplica por el término de corrección de la frecuencia y el resultante es la frecuencia inversa transformada a lo largo de la dimensión de acimut (fila) para obtener una imagen SAR corregida en el dominio espacial original. La imagen del objetivo en la imagen SAR ajustada ahora se enfoca correctamente. El proceso de enfoque se repite para cada imagen de base SAR SS_i. El procedimiento de volver a enfocar todo para todas las imágenes de base SAR alineadas se repite para cada objetivo detectado.

10 Puede estimarse el tamaño del objetivo RCS o del objetivo a partir de la imagen SAR enfocada y si esto cae por debajo de un cierto nivel, entonces esto puede proporcionar un mecanismo para destacar aquellos objetivos que tienen un valor RCS particularmente bajo. La confirmación directa de los objetivos RCS de baja firma es particularmente difícil, ya que los métodos de detección tradicional GMTI y SAR no podrán detectar los objetivos RCS bajos en la primera instancia.

15 Ya que el enfoque basado en CCD para detectar objetivos en movimiento no depende del eco del radar directo del objetivo en movimiento, el rendimiento de detección es esencialmente independiente del RCS del objetivo. Las imágenes enfocadas del objetivo pueden proporcionar estimaciones del tamaño del objetivo ya sea directamente desde la imagen del objetivo o de las sombras del objetivo dadas las geometrías de imágenes conocidas. Alternativamente, una estimación aproximada del tamaño del objetivo puede determinarse a partir de la longitud del eje del objetivo que puede obtenerse mediante la medición de la distancia entre pares de líneas formadas en las imágenes CCD a partir de los neumáticos que se encuentran en cada extremo del eje de un vehículo. Puede formarse una relación del RCS del objetivo contra el tamaño del objetivo. La capacidad de generar este criterio de relación será totalmente independiente del valor real RCS del objetivo.

25 Además, la secuencia de enfoque de imágenes para un objetivo detectado determinado entonces puede implementarse en cualquiera de los esquemas disponibles de reconocimiento de múltiples cuadros, tales como la delineación de contorno activo como se detalla en la referencia [19] y [20] para clasificar el objetivo. El esquema de clasificación puede utilizar la imagen enfocada del objetivo o la imagen de la sombra o ambas para el propósito de reconocimiento.

30 El experto será consciente de que otras modalidades dentro del alcance de la invención pueden contemplarse, y por lo tanto la invención no debe limitarse a las modalidades como las descritas en la presente descripción. Por ejemplo, en lugar de la detección de cambios del sistema 100 que lleva a cabo el uso del proceso de preselección y seguimiento el rastro del vehículo puede detectarse mediante el uso de líneas de correlación de plantilla, líneas de extracto de características, segmentación y técnicas similares.

35 Además, el método no se limita a la detección de vehículos en movimiento simplemente. La secuencia de la imagen de base CCD puede utilizarse para observar y detectar cualquier evento dinámico que produce un cambio temporal en la escena. Siempre y cuando se observe el cambio a través de la detección de cambios incoherentes aplicada a la secuencia de imágenes de base CCD, los parámetros de localización y movimiento de traslación del evento dinámico pueden estimarse a través del método descrito en la presente descripción.

40

Referencias

- [1] D G Corr y A Rodrigues, "Coherent change detection of vehicle movements", *Proc. IGARSS 1998*, vol5, 1998, pp. 2451-2453
- 5 [2] M Jahangir, "Moving target detection for Synthetic Aperture Radar via shadow detection", IET Radar 2007 Conf., 16-18 Oct. 2007, Edinburgh, GB
- [3] H A Zebker, "Studying the earth with interferometric radar", *IEEE Computing in Science and Engineering*, vol 2, núm. 3, pp. 52-60, 2000
- 10 [4] Z Yang y M Soumekh, "Adaptive along-track multi-channel SAR interferometry for moving target detection and tracking", *IEEE Int. Radar Conf. 2005*, 9-12 mayo 2005, pp.337-342
- [5] R Klemm, "Principles of space-time adaptive processing", 2^{da} ed., *IEE Radar, Sonar Navigation and Avionic Series 12*, 2002
- [6] S Scarborough, C Lemanski, H Nichols, G Owirka, M Mirandi and T Hale, "SAR Change Detection MTI", *Proc. SPIE Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XIII*, vol 6237, 62370V, 2006
- 15 [7] M Jahangir, "System and Method for Processing Synthetic Aperture Imagery", solicitud de patente de GB núm. 0606489.3, 31 de marzo de 2006
- [8] F M Dickey y W Doerry, "Recovering shape from shadows in synthetic aperture radar imagery", *Proc. SPIE Radar Sensor Technology XII*, vol. 6947, 694707, 2008
- 20 [9] M Jahangir, D Coe, A P Blake, P G Kealey y P Moate, "PodSAR: A versatile real-time SAR GMTI surveillance and targeting system", *IEEE RadarCon 2008*, 26-30 mayo 2008, Roma, Italia
- [10] D Corr and A Rodrigues, "Coherent Change Detection", *Journal of Defence Science*, vol. 8, núm. 1/2, mayo 2003, pp.51-59
- [11] W G Carrara, R S Goodman and R M Majewski, "Spotlight Synthetic Aperture Signal Processing Algorithms" Boston, Artech House, 1995
- 25 [12] C Y Chang, M Jin, and J C Curlander, "Squint Mode SAR Processing Algorithms", *Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS 1989*, pp:1702-1706, julio 1989
- [13] E Hall, "Computer Image Processing and Recognition", Academic Press 1979, pp. 480-484
- [14] G Blucher, D Blacknell, N J Redding and D Vagg, "Prescreening algorithm assessment within the analysts' detection support system", *Proc. International Radar Conf. 2003*, Adelaide, Australia, septiembre 2003, pp 454 - 459
- 30 [15] M R Anderberg, "Cluster Analysis for Applications", Academic Press, 1973
- [16] M R Teague, "Image analysis via the general theory of moments", *J. of Optical Society of America*, vol. 70, núm. 8, 1979, pp. 920-930
- [17] E Brooker, "Tracking and Kalman Filtering Made Easy", Wiley Interscience, 1998
- 35 [18] M J Minardi, L A Gorham y E G Zelnio, "Ground Moving Target Detection and Tracking based on Generalized SAR processing and Change Detection", *Proc. SPIE Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XII*, vol. 5808, 2005, pp.156-165
- [19] R D Hill, C P Moate y D Blacknell, "Urban scene analysis from SAR image sequences", *Proc. SPIE Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XII*, vol. 6237, 2006, pp. 623702-1-12
- 40 [20] M Jahangir, D Blacknell, C P Moate y R D Hill, "Extracting information from shadows in SAR imagery", *Inter. Conf. on Machine Vision ICMV 2007*, 2007, pp.107-112

Reivindicaciones

- 5 1. Un método para detectar los parámetros de movimiento de un objetivo con base en tierra mediante el procesamiento de las primera y segunda secuencias temporales de los retornos de un sistema de apertura sintética, cada secuencia recogida durante los pasadas de formación de imágenes separadas, los retornos que comprenden una pluralidad de imágenes de base de apertura sintética de una región **caracterizado porque** comprende las etapas de:
 - 10 i) emparejar una imagen en la segunda secuencia temporal con una imagen primaria correspondiente de la primera secuencia temporal, alinear las imágenes si se requiere y conformar una imagen de detección de cambios CCD coherentes, y repetir para cada par para producir una pluralidad de imágenes de base CCD;
 - 15 ii) conformar una imagen de referencia a partir de una o más de las imágenes de base CCD;
 - iii) conformar una imagen de "detección de cambios ICD incoherentes" mediante la normalización de la imagen de referencia con una imagen de base CCD predeterminada convenientemente alineada a partir de la secuencia;
 - iv) analizar la imagen ICD para detectar un rastro dejado por el objetivo; y
 - v) detectar un objetivo mediante la producción de una o más imágenes enfocadas mediante la manipulación de las fases de los retornos temporales de acuerdo con los parámetros de movimiento estimados a partir del rastro de un objetivo
- 20 2. Un método como se reivindica en la reivindicación 1 en donde los retornos son a partir de un sistema de radar de apertura sintética.
- 25 3. Un método como se reivindica en la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en donde las etapas ii) y iii) se repiten para las imágenes de base CCD sucesivas, para conformar una secuencia de imágenes de detección de cambios incoherentes.
- 30 4. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 3 en donde la imagen de referencia comprende una de (a) una de las imágenes CCD o (b) una imagen formada por el filtrado temporal de dos o más de las imágenes de base CCD.
- 35 5. Un método como se reivindica en la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en donde la imagen de detección de cambios incoherentes comprende una relación de dos imágenes de base CCD.
- 40 6. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde una o más imágenes de detección de cambios incoherentes se analizan para el ruido térmico aleatorio que no se correlacionarán para detectar la sombra del objetivo en las imágenes.
- 45 7. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde el método para obtener imágenes enfocadas del objetivo en movimiento se repite para cada rastro del objetivo separado que se detecta.
- 50 8. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7 adaptado para obtener imágenes enfocadas en base a las sombras de un objetivo en movimiento.
- 55 9. Un método como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 6 a la 8 en donde un valor de la sección transversal del radar del objetivo detectado se estima a partir de su imagen enfocada.
- 60 10. Un sistema de procesamiento para la detección de los parámetros de movimiento de un objetivo, el sistema de procesamiento que procesa los retornos de un sistema de apertura sintética, que comprende un procesador adaptado para recibir los datos del sistema de apertura sintética, los datos que comprenden información de la imagen de dos pasadas de formación de imágenes independientes de la misma escena, la información de la imagen que comprende una pluralidad de imágenes de apertura sintética de cada pasada de la escena, el sistema de procesamiento que comprende un procesador adaptado para procesar los datos en la forma de imágenes de apertura sintética de las dos pasadas de formación de imágenes independientes y, emparejar la pasada primaria y repetir la pasada de imágenes para las mismas geometrías, para producir una imagen de detección de cambios CCD coherentes para cada emparejamiento, de manera que se genera una pluralidad de imágenes de base CCD;

caracterizado porque:

el procesador se adapta para conformar una imagen de referencia a partir de una o más de las imágenes de base CCD, la una o más imágenes de base CCD que se alinean adecuadamente de manera espacial una con respecto a otra; y

el procesador se adapta además para normalizar la imagen de referencia con una imagen de base CCD dada para conformar una imagen de detección de cambios incoherentes asociada, la imagen de base CCD dada que se alinea adecuadamente con la imagen de referencia,

el procesador que se adapta además para analizar una o más imágenes de detección de cambios incoherentes para detectar un rastro dejado por el objetivo en el terreno, y localizar un objetivo mediante la producción de una o más imágenes enfocadas mediante la manipulación de fases de los retornos temporales de acuerdo con los parámetros de movimiento estimados a partir del rastro de un objetivo.

5

11. Un sistema de procesamiento como se reivindica en la reivindicación 10 en donde el sistema forma parte de un sistema de radar de abertura sintética.

10

12. Un sistema de procesamiento como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11 en donde el procesador se adapta para producir una pluralidad de imágenes de detección de cambios incoherentes a partir de una sucesión de imágenes de base CCD, y procesar la pluralidad de imágenes de detección de cambios incoherentes para detectar automáticamente los objetivos en movimiento en la escena.

15

13. Un sistema de procesamiento como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 10 a la 12 en donde el procesador se adapta para conformar la(s) imagen(es) de referencia por el filtrado temporal dos o más de las imágenes de base CCD.

20

14. Un sistema de procesamiento como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 10 a la 13 en donde el procesador se adapta para conformar la(s) imagen(es) de cambio(s) incoherente(s) mediante el cálculo de una relación de dos imágenes de base CCD.

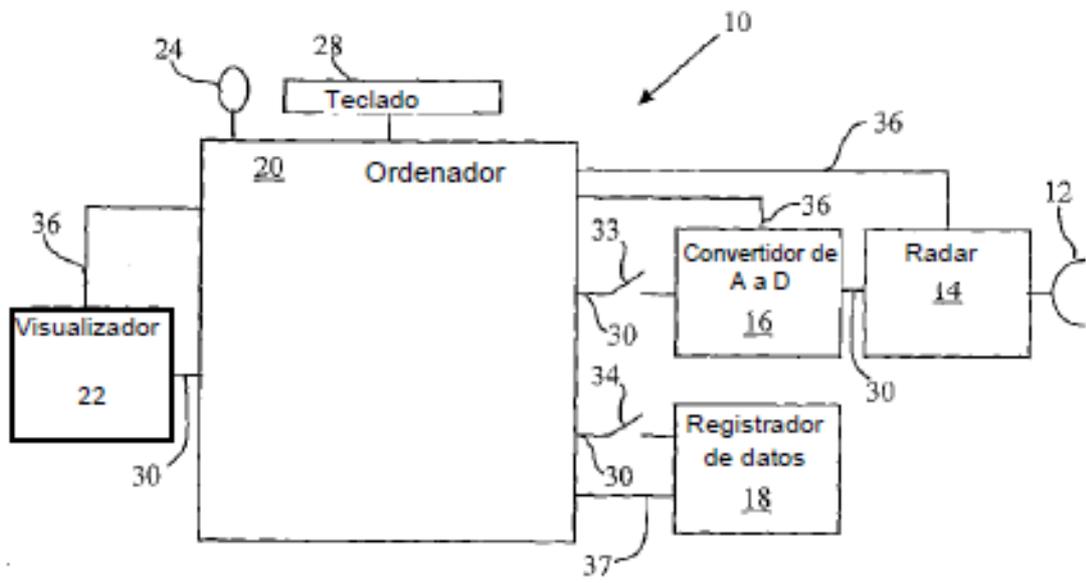
25

15. Un programa de ordenador adaptado para implementar el método como se reivindica en la reivindicación 1 en un sistema de ordenador, y adaptado además, cuando se ejecuta en el sistema de ordenador, para producir los datos de la imagen que comprenden una imagen de detección de cambios incoherentes.

30

35

Figura 1



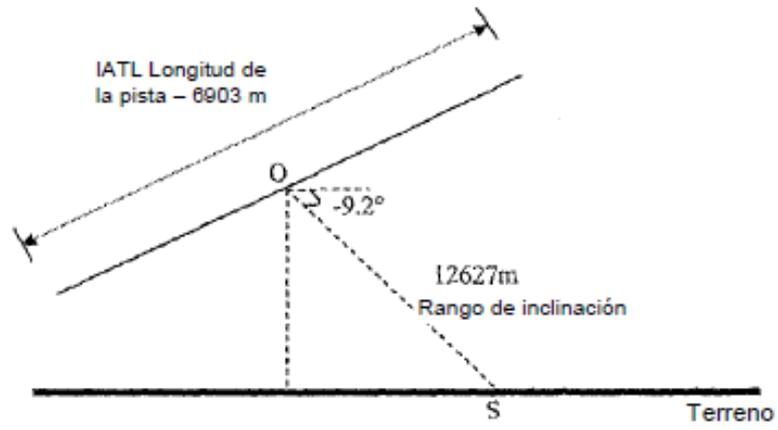


Figura 2

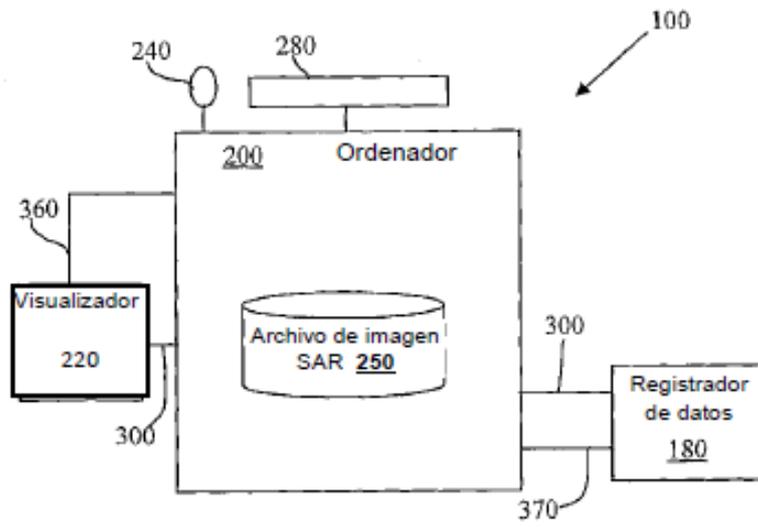


Figura 3

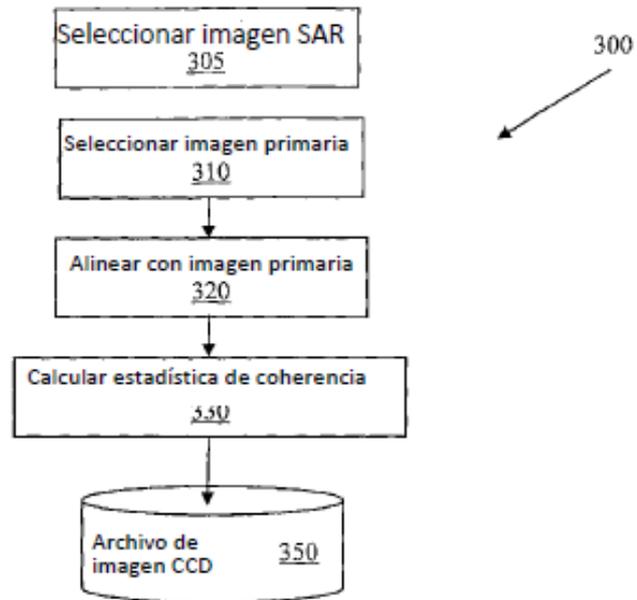


Figura 4

Figura 5a

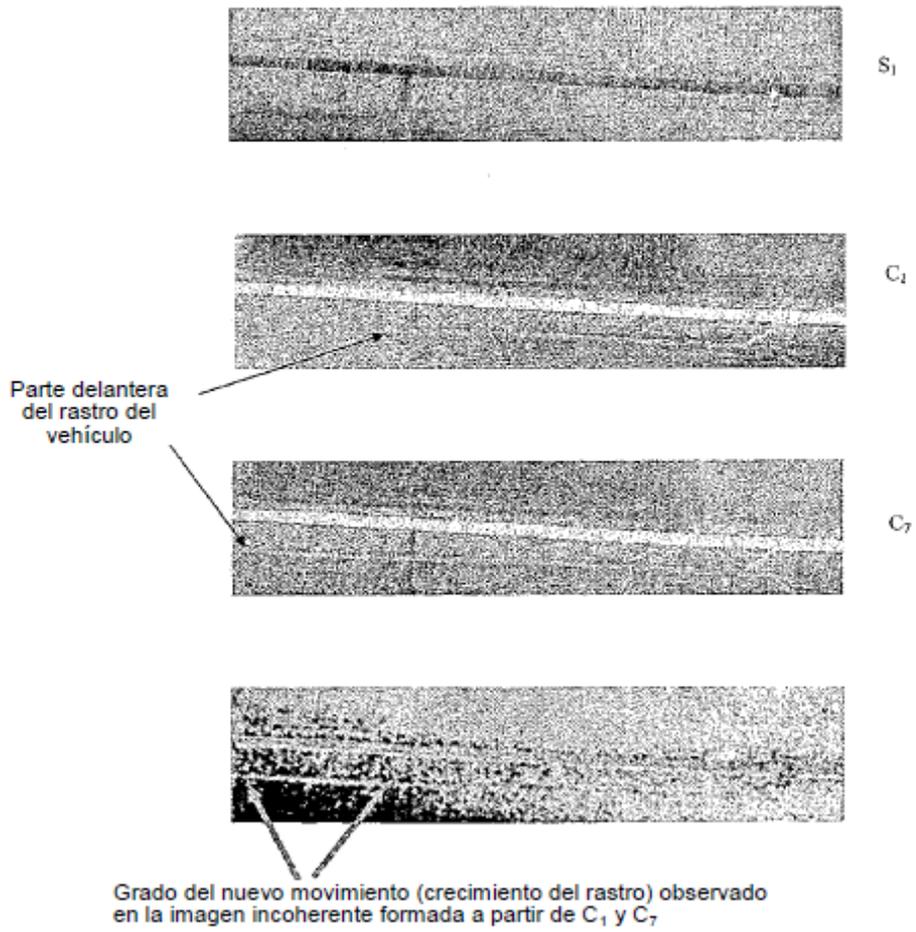
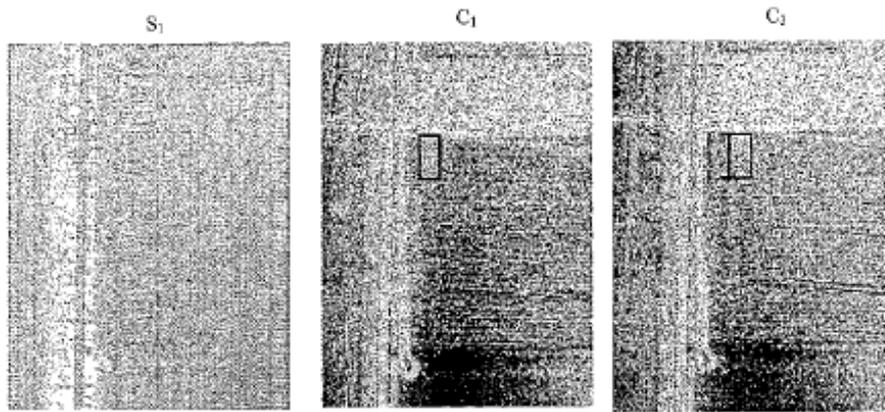


Figura 5B



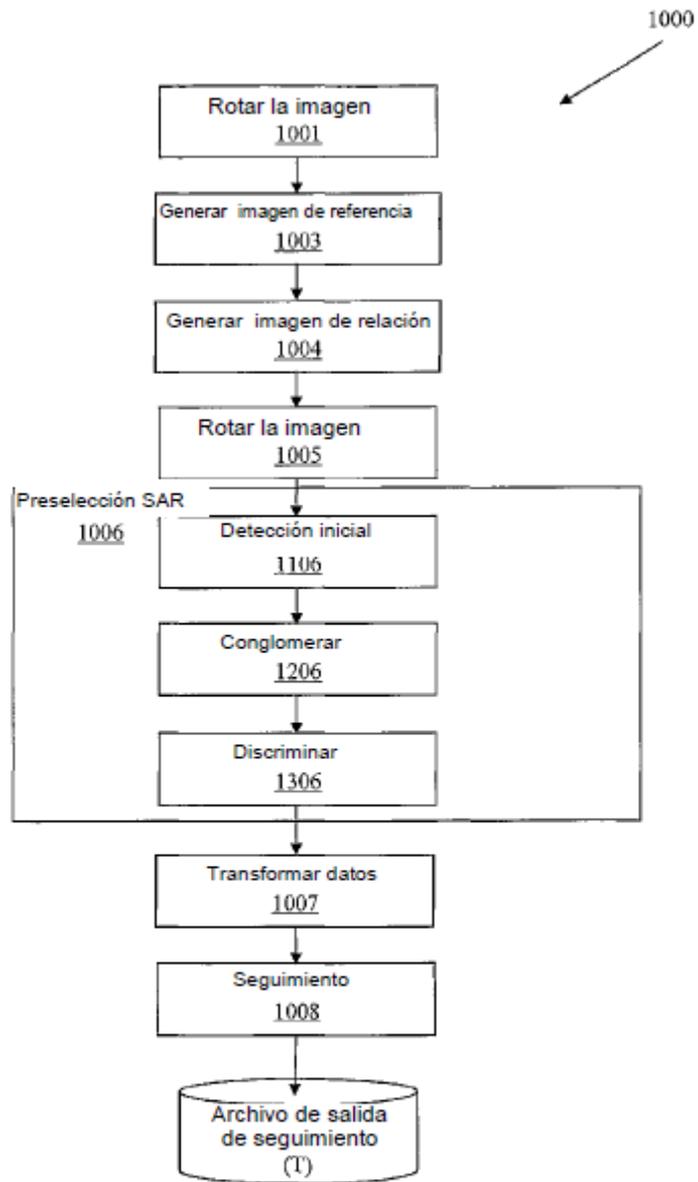


Figura 6

1	1	0	0
0	1	0	0
0	0	1	1

Figura 7