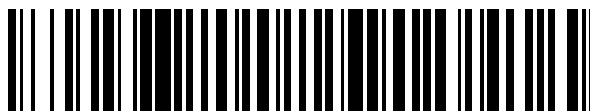


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 011**

51 Int. Cl.:

G01B 11/24 (2006.01)

G06K 9/00 (2006.01)

G06T 17/00 (2006.01)

G06T 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2010 E 10190983 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.10.2014 EP 2333481**

54 Título: **Sistema oprónico y procedimiento de elaboración de imágenes en tres dimensiones dedicadas a la identificación**

30 Prioridad:

27.11.2009 FR 0905720

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

17.12.2014

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
45, rue de Villiers
92200 Neuilly Sur Seine, FR**

72 Inventor/es:

**BERGINC, GÉRARD y
JOUFFROY, MICHEL**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 525 011 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 oprónico y procedimiento de elaboración de imágenes en tres dimensiones dedicadas a la identificación

La invención se refiere a los sistemas oprónicos de identificación de un objeto en el campo técnico de la captura de imagen óptica no convencional y, más particularmente, a la captura de imagen fotónica tridimensional. Esta captura de imagen se denomina comúnmente "full-3D" para diferenciarla de una imagen 2.5D que no contiene más que la información de intensidad en 2D más la de profundidad.

La identificación automática de objetos mediante un sistema oprónico se utiliza en múltiples campos. Se puede citar como ejemplo el campo de la defensa y la seguridad para reconocimiento de objetivos, el campo médico para la detección de tumores subcutáneos y cutáneos o el campo de la microelectrónica para la observación de los componentes durante su fabricación. Un sistema oprónico crea una imagen en 3D de un objeto presente en una escena oprónica compleja. Esta imagen debe permitir por ejemplo discriminar los objetivos camuflados detrás de una red de camuflaje, bajo unos árboles... Esta condición operativa constituye el problema principal.

En este campo de la captura de imagen en 3D, es necesario obtener un conjunto de mediciones del objeto a reconstruir dependiendo de un parámetro variable (ángulo y/o dimensión en profundidad por ejemplo), este conjunto de datos permite reconstruir el volumen aplicando unas técnicas de reconstrucción inversa. Desde un punto de vista matemático, la técnica se descompone en dos etapas: una medición directa, eventualmente tratada utilizando un modelo de fenómenos físicos medidos, y posteriormente la reconstrucción mediante inversión a partir de estas mediciones directas. El primer problema consiste en suministrar en un tiempo razonable un conjunto de datos directos aprovechables por el proceso de inversión. Este problema recupera naturalmente el conjunto de los problemas tecnológicos (láser de iluminación de gran velocidad, corto impulso, bloque detector rápido, apuntado). El segundo problema se refiere al procedimiento de inversión utilizado y su realización matemática.

Se conoce un primer sistema oprónico para la identificación de objetos. Se trata de un sistema de captura activa de imagen en 3D perfilométrico cuyas características se divulgan en una publicación cuyas referencias son las siguientes: "Lincoln Laboratory Journal Vol. 15 número 1 2005, Jigsaw: a foliage Penetrating 3D imaging laser radar system". Se conoce la Patente de Estados Unidos US/2008/0181487 que presenta el procedimiento de recolocación espacial del móvil aéreo. Se trata de un sistema de adquisición aire/tierra que efectúa un cierto número de mediciones sobre una escena oprónica según unos ángulos de observación diferentes. Para cada ángulo de observación, el sistema recupera unas informaciones de distancia y de intensidad sobre una rejilla de grandes dimensiones (> 256x256). El sistema utiliza el principio de la perfilometría para discriminar los diferentes puntos de los ecos situados en una misma línea de observación. El principio de esta captura de imagen en 3D se basa en la utilización de una fuente láser de corto impulso (del orden del nanosegundo) y elevada velocidad de muestreo. Un único impulso láser ilumina la escena completa; un detector matricial en 2D cuenta los fotones retrodifundidos por la escena y su retardo con relación a la emisión. La imagen se produce mediante barrido. Esta técnica necesita entonces una optimización del barrido para producir una imagen en un tiempo compatible con el desplazamiento del UAV ("Unmanned Aerial Vehicle") por ejemplo. La imagen producida mediante este dispositivo es una carta de fotones detectados en 3D gracias a los múltiples ecos sobre una línea de observación. La acumulación de varias cartas de este tipo para unos ángulos de observación diferentes después de la recolocación espacial permite crear unas nubes de puntos que evocan la superficie del objeto a identificar. El problema de la función inversa de construcción de la imagen en 3D se limita a una concatenación de un conjunto de datos con la misma referencia y en una extracción de la zona de interés que contiene los datos a identificar. Este sistema presenta varias dificultades tecnológicas. De entrada, es necesario utilizar un láser de corto impulso y un sistema de detección provisto con una electrónica rápida con el fin de determinar la distancia entre la fuente láser y el detector para cada uno de los píxeles. Además, la etapa de recolocación de las nubes de puntos requiere la utilización de un sistema para apuntar y la geolocalización con buenas prestaciones con el fin de permitir la concatenación de imágenes en una misma referencia. En resumen, una solución de ese tipo presenta un coste importante ligado a la tecnología a implementar para la adquisición de las imágenes y no permite por lo tanto democratizar una aplicación de ese tipo de detección "full-3D" en todos los campos. Además, esta solución sigue siendo difícil de implementar para un sistema aerotransportado guiado.

Se conoce un segundo sistema oprónico de captura de imagen tomográfica en 3D en transmisión utilizado en la captura de imagen médica. El principio general es el siguiente: un fino haz de rayos X, procedente de la fuente colimatada, barre el cuerpo del paciente y realiza un primer perfil del objeto. El sistema se somete entonces a una rotación elemental y el proceso se repite, suministrando de ese modo, nuevos perfiles, procedentes de un ángulo de proyección diferente. A partir de estos datos y gracias a los algoritmos basados en la teoría de Radon, deben calcularse los valores de los coeficientes de atenuación en cada punto de la sección, suministrando de ese modo una cartografía de los tejidos internos. El escáner se apoya por lo tanto en la absorción más o menos importante de los rayos X según el medio atravesado. El problema directo en este caso se apoya en el conocimiento de los parámetros de absorción electromagnética de los tejidos atravesados.

Una tercera solución conocida es un sistema de modelizado de objetos en 3D a partir de múltiples vistas. Se conocen dos grandes procedimientos principales de construcción sintética de objetos según este principio.

- 5 El primer procedimiento consiste en la extracción de las siluetas. La idea es colocar el objeto a representar en tres dimensiones sobre un plato giratorio y efectuar unas tomas de vistas en la captura de imagen visible clásica según los diferentes ángulos. Después de la extracción de la silueta del objeto en cada imagen, se aplica cada silueta sobre un volumen en 3D según el ángulo de observación conservando nada más que la parte del volumen que se encuentra en el interior de la silueta. Este procedimiento presenta un problema ligado a la iluminación del objeto que debe comprender el menor número de sombras posible y el objeto debe destacarse perfectamente del fondo cualquiera que sea el ángulo. Se obtiene mediante este medio una envolvente exterior del objeto poco detallada y si el objeto contiene unas zonas de sombra o de ruido una gran parte de la información se habrá perdido. Además, este procedimiento no permite la identificación de objetos parcialmente enmascarados.
- 10 El segundo procedimiento es el procedimiento de minimizado de superficies. Esta técnica consiste en reconstruir una superficie a partir de puntos destacados en las imágenes en 2D de objetos mediante algoritmos de minimizado de la superficie o de registro de pequeños recortes. La técnica, que consiste en aplicar unos recortes sobre una rejilla de puntos teledados, se efectúa en general desde un único ángulo de observación; puede extenderse a varios ángulos en el marco de una reconstrucción completa utilizando un tiempo y unos medios de cálculo importantes pero no puede aplicarse a unos objetos parcialmente enmascarados debido al hecho de la necesaria continuidad entre los recortes. Estos procedimientos se emparentan con las técnicas de estereoscopia que permiten reproducir la percepción del relieve a partir de dos imágenes planas (imagen 2.5D, percepción de la profundidad).
- 15 Según Kapoor R. et ál., "Features for detecting obscured objects in ultra-wideband (UWB) SAR imagery using a phenomenological approach", ISSN: 0031-3203, se propone una detección de objetos capturados mediante un radar de síntesis de apertura.
- 20 En definitiva, los problemas de las soluciones del estado de la técnica son por un lado el coste y la inaccesibilidad de los medios tecnológicos y por otro lado la imposibilidad de ser utilizados en unos entornos desconocidos y no controlados o permitir la detección de objetos camuflados.
- 25 El objetivo de la invención es proporcionar una solución de detección y de reconstrucción en 3D con unos medios tecnológicos accesibles en términos de coste y de rendimiento. Además, la solución técnica debe poder ser utilizada para unas aplicaciones en las que la escena a observar no ha sido controlada por el operador e igualmente está parcialmente enmascarada.
- Más precisamente, la invención es un sistema oprónico de identificación de objetos según la presente reivindicación 1.
- 30 El sistema comprende un medio de emisión de un impulso electromagnético que puede emitirse hacia el objeto y el captador fotosensible es adecuado para detectar el nivel de intensidad del impulso electromagnético reflejado por el objeto.
- Ventajosamente, el sistema comprende igualmente un medio para apuntar hacia una posición de referencia que permite al captador fotosensible registrar una secuencia de imágenes tomadas según unos ángulos de observación próximos y centrados sobre la posición de referencia y porque el medio de tratamiento informático es adecuado para situar sobre la posición de referencia cada imagen de la secuencia desplazada de la posición de referencia.
- 35 Ventajosamente, el sistema comprende igualmente unos medios de medición de la distancia entre el captador fotosensible y la posición de referencia para que el medio de tratamiento informático sea adecuado para modificar las dimensiones del objeto representado en una imagen en función de dicha distancia de manera que las dimensiones del objeto representado en las imágenes de una misma secuencia utilizadas para la reconstrucción sean equivalentes entre las imágenes.
- 40 Ventajosamente, el medio de tratamiento informático es adecuado para modificar la iluminación de una imagen en función de la distancia entre el captador fotosensible y la posición de referencia de manera que las imágenes de la misma secuencia utilizadas para la reconstrucción sean de un nivel de iluminación equivalente.
- 45 Según un modo cualquiera de realización precedente, caracterizado por que el captador fotosensible se monta sobre un aparato móvil adecuado para desplazarse alrededor del objeto.
- Según un modo cualquiera de realización de la captura activa de imagen, el medio de emisión de un impulso electromagnético y el captador fotosensible están montados sobre un aparato móvil adecuado para desplazarse alrededor del objeto.
- 50 Según un modo de realización preferido el aparato móvil es una aeronave y el medio de tratamiento informático se localiza en una estación de cálculo distante del captador fotosensible conectado al captador por los medios de comunicación.
- Según un modo de realización cualquiera precedente, el sistema comprende una base de datos de objetos de referencia para identificar el objeto mediante comparación con la reconstrucción en tres dimensiones.

La invención se refiere igualmente a un procedimiento de tratamiento informático para la identificación del objeto mediante reconstrucción del objeto en tres dimensiones, según la presente reivindicación 10.

Ventajosamente, el procedimiento comprende, a continuación de la etapa de adquisición de imágenes, una etapa de posicionamiento de una imagen sobre una posición de referencia.

- 5 Ventajosamente, el procedimiento comprende, a continuación de la etapa de adquisición de imágenes, una etapa de redimensionamiento de una imagen con relación a una imagen de referencia para que las dimensiones del objeto detectado en una imagen sean similares a las dimensiones del objeto en una imagen de referencia.

10 Ventajosamente, el procedimiento comprende, a continuación de la etapa de adquisición de imágenes, una etapa de modificación de la iluminación de una imagen en función de una imagen de referencia para que la iluminación de la imagen sea similar a la iluminación de la imagen de referencia.

Ventajosamente, el procedimiento comprende, a continuación de la etapa de adquisición de imágenes, una etapa de tratamiento del sinograma de la imagen para extraer las informaciones relativas al objeto de las otras informaciones de la imagen. El sinograma es una representación de la evolución de una misma línea (o de una misma columna) de la imagen y de su variación en función del ángulo según la segunda dimensión (ordenada).

15 Una primera ventaja del sistema optrónico y del procedimiento de reconstrucción de imagen asociado es poder detectar unos objetos parcialmente enmascarados con unos medios tecnológicos que no necesitan un rendimiento elevado de adquisiciones y de tratamiento. En efecto, al contrario de la solución de captura activa de imagen perfilométrica del estado de la técnica, el captador fotosensible de rayos láser es un medio de detección clásico. De ese modo, la invención permite disponer de una solución de menor coste porque la problemática de la reconstrucción en 3D a partir de imágenes en dos dimensiones se resuelve mediante el procedimiento de tratamiento de las imágenes. El medio de emisión del impulso electromagnético, el captador fotosensible y los medios de geolocalización implican unas limitaciones de desarrollo menores y permiten suministrar una solución de menor coste a las aplicaciones embarcadas en unos medios de utilización limitados.

20

25 Una segunda ventaja de la invención es que el procedimiento de tomografía utilizado no requiere disponer de un control espacial fino del aparato móvil que embarca al captador fotosensible (solamente 3 grados de libertad contra 6 con el dispositivo perfilométrico clásico o trayectoria fija en captura de imagen médica), es decir en posición, movimiento u orientación e igualmente no requiere conocer los coeficientes de absorción de los objetos presentes en la escena al contrario de las soluciones de tomografía de transmisión habituales. De ese modo, el sistema y el procedimiento de tratamiento de las imágenes se pueden utilizar para unos campos de aplicaciones más numerosos y particularmente para las aplicaciones de objetivos camuflados.

30

Una tercera ventaja inherente al procedimiento de reconstrucción en 3D es proporcionar una solución de detección del objeto de rendimiento bastante mayor que para una solución de detección a partir de imágenes en 2D o 2,5D. En efecto, una imagen en 3D suministra al operador y a los sistemas de análisis muchas más informaciones relativas al objeto mejorando de ese modo las capacidades de diagnóstico.

- 35 La invención se comprenderá mejor y surgirán otras ventajas con la lectura de la descripción a continuación dada a título no limitativo y gracias a las figuras adjuntas entre las que:

La figura 1 representa un esquema de principio de un modo de realización de la invención para un sistema que comprende una plataforma de adquisición aerotransportada y una estación de tierra de tratamiento de las imágenes.

40 La figura 2 representa el principio de reconstrucción en tres dimensiones mediante tomografía.

La figura 3 representa las etapas del procedimiento de tratamiento de las imágenes según la invención.

La figura 4 representa un esquema de adquisición de la secuencia de imágenes en el marco de una experimentación de laboratorio a escala reducida.

45 La figura 5 representa un esquema que ilustra el principio de una primera función de corrección de imagen para recolocación de una imagen desde una posición de referencia.

Las figura 6 representa un esquema que ilustra el principio de una segunda función de corrección de la imagen para redimensionamiento de una imagen con relación a una imagen de referencia.

La figura 7 representa un esquema que ilustra el principio de una tercera función de corrección de la imagen para homogeneizar la iluminación de las imágenes de una misma secuencia.

50 La figura 8 representa un esquema que ilustra el principio de una cuarta función de corrección de la imagen para paliar el efecto de punto focal de un dispositivo láser.

La figura 9 representa un esquema que ilustra las etapas del algoritmo de transformación inversa.

La figura 10 representa un esquema que ilustra el principio de la etapa de extracción de una zona de interés en una zona en 3D según el procedimiento.

55 La figura 11 representa un esquema que ilustra el principio de la etapa de construcción de la superficie del objeto en 3D detectado.

La figura 12 representa el caso de un objetivo normalmente menos reflectante que el fondo de la escena y el resultado de una quinta función de corrección de imagen sobre los sinogramas asociados. El sinograma es una

representación de la evolución de una misma línea (o de una misma columna) de la imagen y de su variación en función del ángulo según la segunda dimensión (ordenada).

Un modelo preferente de la invención utiliza la captura activa de imagen convencional, es decir la realización de imágenes en 2D en intensidad con la ayuda del sistema de ladar monoestático clásico. Sin embargo, el sistema y el procedimiento tal como se reivindica se aplican igualmente a la captura pasiva de imagen. Según este modo preferente tal como se representa por la figura 1, una plataforma 3 aerotransportada permite adquirir una secuencia de imágenes de una gran escena en tierra que comprende un objeto 5 objetivo, en este caso un vehículo automóvil, parcialmente camuflado por otros objetos 4, unos árboles o red de camuflaje, por ejemplo, en el curso de una trayectoria 31 predefinida según unos ángulos 61 y 62 de observación conocidos. Unos medios 21 y 22 de comunicaciones permiten transmitir las imágenes adquiridas a unos medios de tratamiento de las imágenes situados en una estación de tierra distante 1.

Como se ha representado en la figura 2, después de una eventual recolocación y tratamiento de las imágenes 11 y 12, el algoritmo de retroproyección filtrada permite reconstruir mediante tomografía un volumen 13 en 3D de la escena. Dado que el objeto objetivo es opaco a los impulsos electromagnéticos del láser, es decir que el impulso es reflejado por la superficie del objeto, no hay corrección de la medida directa puesto que la integral a lo largo de una línea de observación se limita al valor de la intensidad retrodifundida en un punto. El escrutinio de este volumen por planos de corte permite localizar una región de interés. El tratamiento de esta región permite extraer un cierto número de vóxeles ("volumetric pixels" en inglés o píxeles volumétricos) que tras el reagrupamiento son envueltos por una superficie que permite hacer surgir una forma tridimensional comparable a una estructura en 3D conocida del tipo CAO (Concepción Asistida por Ordenador) con fines de identificación (mediante "coincidencia", reconocimiento de forma, comparación en una espín-imagen,...).

La invención se refiere igualmente al procedimiento de tratamiento informático de las imágenes tal como se representa por la figura 3 que comprende un cierto número de etapas en las que conviene respetar las especificaciones para obtener el resultado esperado. El procedimiento será el objetivo de la descripción a continuación de la descripción detallada de los medios estructurales para implementar la invención.

La plataforma 3 aerotransportada comprende un medio de emisión de un impulso electromagnético. Se trata de un dispositivo ladar utilizado en configuración monoestática o casi monoestática (ángulo de visión igual al ángulo de recepción), siendo el interés de esta configuración el que subsisten un mínimo de zonas de sombras en la escena iluminada. Además, la óptica utilizada se dimensiona para el captador y la longitud de onda elegida, en este caso con el objetivo de mejorar su nitidez y su contraste. Las amplitudes espacial y temporal del impulso láser deben ser suficientes para iluminar el conjunto de la escena, típicamente varias decenas de metros.

A título de ejemplo no limitativo, las características del láser son las siguientes para iluminar una escena contenida en un volumen de 30 m de lado:

- láser de impulso superior a 200 ns,
- divergencia del láser: de 15 mrad a 1 km a 3 mrad a 5 km,
- la frecuencia de repetición debe ser una centena de hercios como mínimo, típicamente, de manera que convierta en posible la integración posterior. Con esta cadencia, para un portador que evolucione a 50 m/s por ejemplo, el desplazamiento es de 50 cm entre dos imágenes consecutivas. A 5 km, el desvío angular correspondiente es de 100 μ rad, lo que permite la integración posterior puesto que la desviación angular necesaria entre dos imágenes será del orden del grado (es decir 17,5 mrad será típicamente 175 veces más grande),
- la longitud de onda de 1,5 μ m (sigilo, seguridad ocular),
- reducida energía por impulso (del orden de una docena de mJ, típicamente).

El captador fotosensible, igualmente embarcado sobre la plataforma 3 aerotransportada, está constituido por un detector sensible en el infrarrojo próximo (por ejemplo una matriz 2D de grandes dimensiones de InGaAs). El proceso de adquisición es entonces el de una imagen activa de láser tridimensional en intensidad.

Las imágenes adquiridas se transmiten sin retardo a la estación de tratamiento en tierra por unos medios de comunicación 21 y 22 de radiofrecuencia u ópticos conocidos para el experto en la materia cuyas características no son el objeto de una limitación de la invención. Las características técnicas de los medios de comunicación determinan la distancia posible entre la estación de tratamiento y el aparato móvil que embarca los medios de adquisición de imagen. En configuración aire/tierra, las limitaciones ligadas a la turbulencia, a la velocidad de desplazamiento del portador, a la dinámica del captador y a la precisión para apuntar permiten una distancia típicamente del orden de 5 km entre el portador y el objetivo.

Unos medios 1 de tratamiento de imágenes permiten realizar un tratamiento posterior de corrección de imágenes cuyas funciones se describirán más en detalle a continuación. Estos medios de tratamiento permiten corregir las imágenes antes de ejecutar los procesos de reconstrucción en 3D con el fin de mejorar la precisión de reconstrucción del objeto. Estos mismos medios de tratamiento de imágenes permiten a continuación realizar de manera automatizada las operaciones de identificación o de transmitir a unos medios de presentación la reconstrucción en 3D para identificación manual por un operador.

5 El hecho de situar el bloque de emisión/detección sobre una plataforma 3 aerotransportada permite observar la escena sobre un gran desplazamiento angular y según varias trayectorias. En este modo de realización en el que se utiliza una aeronave, se realizan entonces varios pasos de la aeronave (por ejemplo un dron o un helicóptero) según unos planos de observación azimutales diferentes. La multiplicación de los ángulos de observación aporta una información suplementaria y afina la resolución de la reconstrucción final.

10 Unos medios de geolocalización deben permitir resituar cada imagen en 2D con relación a un punto de referencia del espacio (teóricamente 3 grados de libertad, siendo el más limitado el grado de libertad de rotación). La precisión del punto de referencia es del orden de 1 m para algunos kilómetros de altitud, esta precisión es suficiente para la reconstrucción. Estos medios de geolocalización pueden ser un dispositivo de telemetría o un dispositivo de posicionamiento por satélite. Los datos telemétricos o de posicionamiento por satélite son indispensables porque permiten la localización de un punto fijo en la imagen y la recolocación de toda la secuencia con relación a este punto fijo. La utilización de la central inercial de la plataforma 3 aerotransportada (o aeronave) y de la telemetría se pueden concebir y van igualmente en el sentido de un incremento de la precisión del posicionamiento del centro de rotación.

15 Se utiliza un medio para apuntar del haz láser y del captador fotosensible con el fin de centrar la toma de la vista sobre el punto de referencia.

Operacionalmente, las imágenes se pueden transmitir al mismo tiempo a una estación de tratamiento en tierra por unos medios de comunicación de radio clásicos o procesarse directamente en la plataforma aerotransportada.

20 El objetivo reivindicado se refiere igualmente al procedimiento de tratamiento de imágenes para la identificación de un objeto. La figura 3 representa las etapas del procedimiento de tratamiento de las imágenes según la invención. El procedimiento de tratamiento de las imágenes comprende una primera etapa 101 de adquisición de las imágenes, una segunda etapa 102 de corrección de las imágenes, una tercera etapa 103 de reconstrucción en 3D de la escena adquirida, una cuarta etapa 104 de extracción de una zona de interés en la reconstrucción en 3D que comprende el objeto, una quinta etapa 105 de formación de la superficie del objeto reconstruido y una sexta etapa 106 de identificación del objeto reconstruido. El conjunto de estas etapas se desarrolla sucesivamente, sin embargo se pueden añadir otras etapas preliminares, intermedias o suplementarias al desarrollo del procedimiento sin por ello salirse del marco de la invención.

25 Más precisamente, la primera etapa 101 de adquisición proporciona una secuencia de imágenes según varios ángulos de observación e igualmente varias imágenes para un mismo ángulo de observación con el fin de obtener una relación señal/ruido lo más elevada posible. Además, para ser aprovechables por la técnica propuesta y proporcionar una representación óptima, las imágenes deben presentar la dinámica y el contraste en particular entre el objetivo que se desea ver representado de manera tridimensional y el resto de la escena. La figura 4 ilustra una experimentación de laboratorio a escala reducida que permite representar de manera simplificada una etapa de adquisición en el transcurso de la que el objeto 51 a identificar es iluminado por una fuente de emisión de un impulso electromagnético 43 y detectada por el captador fotosensible 42 según varios ángulos. Según una etapa de adquisición óptima, el objetivo se ve según todos los ángulos de observación posibles contenidos en un plano con el fin de reconstruir el objeto de la manera más completa posible. En cualquier caso, la etapa de adquisición puede comprender un número reducido de ángulos de visión que permitan modelizar una reconstrucción parcial en tres dimensiones. De ese modo, la identificación a partir de un modelo 3D se mejora con relación a una identificación a partir de una vista en 2D.

30 La segunda etapa 102 de corrección de imagen comprende varias funciones de corrección independientes entre sí. La primera función de corrección es una colocación de la imagen con relación a una posición de referencia en la imagen. Cuando el captador fotosensible se monta sobre un aparato móvil, como por ejemplo una aeronave, cuya trayectoria no está perfectamente controlada, la función de posicionamiento de las imágenes o recolocación de las imágenes permite mejorar el factor señal/ruido de una secuencia de imágenes cuyos ángulos de observación estén muy próximos. Esta función la recolocación de la imagen con relación a la oposición de referencia se efectúa mediante la determinación del coeficiente de correlación entre dos imágenes sucesivas de la secuencia.

35 En la figura 5 que representa dos imágenes vecinas pero desplazadas en $(\Delta x, \Delta y, \Delta \theta)$ entre sí, el proceso de recolocación mediante matriz de correlación permite obtener una secuencia sin saltos de imágenes, pero igualmente corregir el posicionamiento del punto fijo de rotación de una imagen a la otra sin ningún conocimiento telemétrico o de posicionamiento por satélite. El coeficiente de correlación $\rho(X, Y)$ viene dado por la expresión habitual:

$$\rho(X, Y) = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}}$$

40 en la que $\text{Cov}(X, Y)$ es la función de covariancia definida por:

$$\text{Cov}(X, Y) = E[(X - \langle X \rangle)(Y - \langle Y \rangle)] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle X \rangle)(y_i - \langle Y \rangle)$$

y $\text{Var}(X)$ es la varianza definida por:

$$\text{Var}(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \langle X \rangle)^2$$

Se efectúa una rotación $\delta\theta$ de la imagen nº 2 y se calcula el coeficiente de correlación entre las dos imágenes sobre una parte de la imagen de gran tamaño (que contiene particularmente la zona de la imagen donde se encuentra el objetivo a recolocar). Se desplaza la segunda imagen según las direcciones δx y δy en el interior de una ventana de tamaño predefinido que representa el desplazamiento máximo que se puede esperar de una imagen a otra. Se repite la operación incrementando el ángulo de rotación hasta el valor máximo que se ha permitido. El máximo de la matriz de correlación encontrado da los valores de desplazamiento (Δx , Δy) entre las dos imágenes para un $\Delta\theta$ dado. Se repite la operación para cada imagen de la secuencia. Para incrementar la dinámica de una imagen se puede efectuar a continuación un promediado sobre varias imágenes recolocadas si corresponden a unos ángulos de observación suficientemente próximos.

Además, para que las imágenes sean directamente aprovechables, es necesario implementar una segunda función de correlación ligada a la variación de la distancia entre el captador fotosensible y la posición de referencia a todo lo largo de la secuencia de toma de imágenes. En efecto, es necesario que las imágenes se tomen a una distancia constante de esta posición de referencia. Operativamente, para el modo de realización preferente en el que el captador fotosensible se monta sobre una aeronave, la trayectoria es más bien rectilínea, incluso curvada pero raramente circular. Por ello, la función de corrección geométrica permite resolver el problema de variación de la distancia entre el captador y la posición de referencia pretendida. Esta función permite modificar el tamaño de cada imagen en función de su distancia a la trayectoria circular (aplicación de una relación Γ) si se supone que se trabaja con campo constante de manera que la dimensión superficial común a todas las imágenes de la secuencia sea idéntica y por tanto igualmente sus dimensiones en píxeles. La elaboración de la función de corrección geométrica comprende una primera etapa de determinación de la imagen de referencia de la secuencia para la que el captador fotosensible está más próximo al objetivo. Esta imagen servirá de referencia espacial para la reconstrucción. Para esta imagen de referencia la distancia objetivo/portador se referencia en la figura 6 por D_{ref} . Hay a continuación una segunda etapa de determinación para cada imagen a partir de los datos de geolocalización de la distancia objetivo/portador referenciada por D_N . Cada imagen N de la secuencia debe ser sobremuestreada, según el paso de la imagen de referencia d_{ref} sobre la rejilla de paso d_N . Estos dos pasos están ligados por la relación:

$$\frac{D_N}{D_{ref}} = \Gamma = \frac{d_N}{d_{ref}}$$

Una tercera función de corrección de la iluminación de la escena mejora la reconstrucción en 3D porque la potencia luminosa recibida sobre el detector varía en $1/D^4$ (ecuación ladar), siendo D la distancia ladar/objetivo. La figura 7 representa el principio de corrección. La señal de potencia P_{ref} representa la potencia luminosa recibida a la distancia D_{ref} que corresponde a la distancia D_{ref} objetivo/portador más próxima. P_N representa la potencia luminosa recibida a la distancia D_N objetivo/portador para una imagen N de la trayectoria. La función de corrección de iluminación comprende una primera etapa de reducción de ruido y posteriormente la etapa de escalonamiento de la dinámica de la imagen para alcanzar el nivel de la imagen de referencia.

Una cuarta función de corrección cuyo principio se ilustra en la figura 8 que se puede aplicar se refiere a la figura de la iluminación ligada a la forma espacial del haz láser. Esta puede ser gaussiana (caso ideal del láser monomodo), "top-hat" o multimodo. Sin corrección, la imagen es muy luminosa en la parte central y cada vez más oscura en el borde de la imagen. Conociendo la cifra de iluminación del láser, esta cuarta función de corrección permite aproximarse a una iluminación uniforme sobre la superficie de la imagen. Esta cuarta función comprende varias etapas. Una primera etapa es la aplicación de un filtro paso bajo sobre la imagen en la que se han retirado los picos eventuales de intensidad especular, una segunda etapa es la sustracción de la imagen filtrada y de la imagen inicial y una tercera etapa es la multiplicación de la imagen resultante por el perfil inverso.

El algoritmo de reconstrucción podrá funcionar sin tratamiento previo de la imagen suplementaria en todos los casos en los el que el objetivo se destaca del fondo siendo globalmente más reflectante que éste. En el caso en que el objetivo sea globalmente menos reflectante que el resto de la escena, se aplicará a la secuencia de imágenes inicial una quinta función de corrección dirigida a separar la imagen del fondo mediante tratamiento de la imagen. La imagen 121 ilustra este caso: la imagen del objetivo presenta una buena dinámica pero el resto de la escena es reflectante. El algoritmo de reconstrucción se puede aplicar a la imagen en bruto; sin embargo, el tratamiento de la imagen en 3D reconstruida se comprueba que es más difícil dada la inversión de contraste: son las partes débilmente reflectantes las que resaltarán en un espacio de negativo tridimensional. La imagen reconstruida tridimensional se comprueba por lo tanto difícil de leer. En este caso en que el objetivo se destaca visualmente del fondo, se trabaja directamente sobre el sinograma para separar el objetivo de interés del fondo. La técnica es leer el sinograma línea por línea (es decir ángulo por ángulo) partiendo del primer píxel y posteriormente partiendo del último píxel en el otro sentido y aprovechar la ruptura de intensidad entre la señal que procede del fondo y la del objetivo; se obtiene el sinograma 123. Este tratamiento puede convertirse en automático. Se puede incluso afinar el tratamiento de la imagen alisando la envolvente del sinograma con relación al objetivo: el sinograma 124 presenta

los residuos resultantes del fondo de la escena que han desaparecido después del alisado sobre el sinograma 125. Esta corrección es ventajosa para la utilización de la invención en unos medios complejos de reducido contraste o contraste invertido. La resolución de esta problemática es particularmente importante para identificar los objetos camuflados en la escena observada.

- 5 Se pueden utilizar en el transcurso del procedimiento de tratamiento de imágenes otras funciones de tratamiento de imágenes para facilitar la reconstrucción en 3D, sin salirse del marco de la invención.

La tercera etapa 103 corresponde a la etapa de reconstrucción de la totalidad de la escena común al conjunto de las imágenes de la secuencia y se efectúa mediante unas técnicas de transformación de Radon (retroproyección filtrada por ejemplo). Ésta consiste en filtrar todas las proyecciones y en efectuar un cambio de variables que permitan pasar el sistema de coordenadas cilíndricas (x,y,θ) a un sistema cartesiano (x,y,z) . La función de transformación inversa de Radon se realiza con unas imágenes que representan unos datos de reflexión del impulso electromagnético sobre la superficie de objetos opacos de la escena. Habitualmente, la técnica de transformación inversa de Radon se efectúa a partir de datos ligados a la absorción de la estructura del objeto en el campo médico por ejemplo. Es necesario determinar las funciones de absorción del medio mediante simulación de la propagación de la onda electromagnética en el medio considerado. Esta simulación es en todos los casos aproximada matemáticamente. Su precisión depende del modelo físico utilizado que no es más que una aproximación matemática de la realidad física. Son estas funciones de absorción las que se invierten. La precisión de la inversión depende directamente de los datos de absorción simulados. En el caso que consideramos, la inversión se efectúa directamente sobre los valores medidos en el marco del problema directo. El problema inverso considerado en este caso no es tributario de valores intermedios simulados con la ayuda de modelos aproximados.

El algoritmo comprende una primera etapa 91 de lectura de la secuencia de imágenes completa, es decir una secuencia de imágenes tomadas según varios ángulos de observación θ alrededor del objeto. Comprende una segunda etapa 92 de ponderación de los píxeles en función de la separación al centro de la imagen. Esta etapa está destinada a minimizar el desplazamiento de los puntos que están en el borde de la imagen con el fin de reducir el factor de ruido durante la reconstrucción. El algoritmo comprende a continuación una tercera etapa 93 de filtrado de tipo paso bajo con el fin de alisar las imágenes, posteriormente una cuarta etapa 94 de cálculo de los vóxeles en cada plano de corte mediante retroproyección y posteriormente una quinta etapa 95 de reconstrucción del volumen mediante suma de las retroproyecciones.

La función de transformación inversa de Radon es la siguiente:

- 30 I es el cálculo de los vóxeles en cada plano de corte mediante retroproyección resultante de la cuarta etapa 94, P son los píxeles proyectados filtrados resultantes de la tercera etapa 93 y w es el factor de ponderación de la etapa 92.

La figura 10 ilustra una cuarta etapa 104 del procedimiento de tratamiento de las imágenes que es la extracción de la zona de interés. La escena reconstruida se presenta bajo forma de una matriz en 3D de números reales 1014 que representan unas intensidades. Para aprovecharla, se utiliza una representación de planos de sección en 2D XY, XZ, ZY según los tres ejes principales del cubo que permiten aislar visualmente una región de interés 1011, 1012, 1013. Una vez efectuada esta operación, se obtiene un volumen de interés en el que se ha seleccionado la información que se desea representar; todas estas operaciones se realizan manualmente pero pueden ser igualmente automatizadas por adición del criterio sobre la localización en la escena (por ejemplo se sabe que el objeto buscado será de una altura dada con relación al suelo en la escena) o sobre las intensidades o sobre el reconocimiento de formas.

La quinta etapa 105 es una etapa de construcción de la superficie del objeto 111 por reagrupamiento de los vóxeles. El objeto 111 es una formación de varios vóxeles. La función que se implementa en esta etapa utiliza un criterio de reagrupación de los vóxeles en la región de interés en función de la intensidad; se desprende una forma de esta reagrupación y no queda más que reconstruir la superficie del objeto mediante iso-densidades y colocación en la luz para reflejarla. Como resultado de esta etapa 105, se obtiene una superficie 112.

La sexta etapa del procedimiento es una etapa de identificación del objeto reconstruido con una base de datos de objetos. La superficie reconstruida se compara por un operador con una base de datos de CAO mediante "coincidencia", reconocimiento de formas, comparación de unas "espín-imagen", por ejemplo. Este tratamiento se puede automatizar, se puede efectuar en la estación en tierra o en el calculador del UAV.

El sistema oprónico y el procedimiento de cálculo de las imágenes en 3D se aplican de manera general a la identificación de objetos que puedan estar parcialmente enmascarados en una escena y que no sean directamente manipulables por el operador. La invención se aplica al campo de la seguridad y la defensa para detección de objetivos camuflados, en el campo médico para detección de tumores cutáneos o subcutáneos e igualmente en el campo de la microelectrónica.

REIVINDICACIONES

1. Sistema oprónico de identificación de un objeto que comprende unos medios de emisión de un impulso láser hacia el objeto, un captador fotosensible en el IR próximo (42) adecuado para detectar los niveles de intensidad del impulso reflejado por el objeto, unos medios (21, 22) de comunicación y un medio (1) de tratamiento informático que permitan reconstruir el objeto en tres dimensiones a partir de las imágenes en 2D tomadas por el captador e identificar el objeto a partir de la reconstrucción, **caracterizado porque** el captador fotosensible es adecuado para registrar unas imágenes del objeto que representan los niveles de intensidad de la radiación electromagnética reflejada por la superficie del objeto (5) tomada según varios ángulos (61, 62) de observación alrededor del objeto (5) y los medios (21, 22) de comunicación son adecuados para transmitir dichas imágenes al medio (1) de tratamiento informático para reconstruir el objeto en tres dimensiones por medio de la función de tomografía configurada de manera que la trate mediante transformación de Radon inversa en modo de reflexión, representando dichas imágenes del objeto los niveles de intensidad de una radiación electromagnética reflejada por la superficie del objeto.
2. Sistema oprónico según la reivindicación 1, **caracterizado porque** comprende igualmente un medio para apuntar hacia una posición de referencia que permita al captador fotosensible registrar una secuencia de imágenes tomadas según unos ángulos de observación próximos y centrados sobre la posición de referencia y **por que** el medio de tratamiento informático es adecuado para posicionar sobre la posición de referencia cada imagen de la secuencia desplazada de la posición de referencia.
3. Sistema oprónico según la reivindicación precedente, **caracterizado porque** el sistema comprende igualmente unos medios de medición de la distancia entre el captador fotosensible y la posición de referencia para que el medio de tratamiento informático sea adecuado para modificar las dimensiones del objeto representado en una imagen en función de dicha distancia, de manera que las dimensiones del objeto representado en las imágenes de una misma secuencia utilizadas para la reconstrucción sean equivalentes entre las imágenes.
4. Sistema oprónico según una de las reivindicaciones 2 o 3, **caracterizado porque** el medio de tratamiento informático es adecuado para modificar la iluminación de una imagen en función de la distancia entre el captador fotosensible y la posición de referencia de manera que las imágenes de una misma secuencia utilizadas para la reconstrucción sean de un nivel de iluminación equivalente.
5. Sistema oprónico según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el captador fotosensible es montado sobre un aparato móvil (3) adecuado para desplazarse alrededor del objeto.
6. Sistema oprónico según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el medio (43) de emisión de un impulso electromagnético y el captador (42) fotosensible son montados sobre un aparato móvil (3) adecuado para desplazarse alrededor del objeto.
7. Sistema oprónico según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 6, **caracterizado porque** el aparato móvil es una aeronave.
8. Sistema oprónico según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** comprende una base de datos de objetos de referencia para identificar el objeto por comparación con la reconstrucción en tres dimensiones.
9. Sistema oprónico según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 7, **caracterizado porque** el medio de tratamiento informático es localizado en una estación de cálculo distante del captador fotosensible conectado al captador por los medios de comunicación.
10. Procedimiento de tratamiento informático para la identificación de objetos (5) mediante reconstrucción del objeto en tres dimensiones, **caracterizado porque** comprende las etapas sucesivas siguientes:
- Adquisición (101) por medio de un captador fotosensible en el IR próximo de una secuencia de imágenes en 2D del objeto que representa los niveles de intensidad de una radiación electromagnética reflejada por la superficie del objeto, y tomada según varios ángulos (61, 62) de observación alrededor del objeto (5),
 - Reconstrucción (102) del objeto en tres dimensiones mediante una función de tomografía en base a una transformación de Radon inversa en modo de reflexión y aprovechando las imágenes en dos dimensiones que representan los niveles de intensidad de una radiación electromagnética reflejada por la superficie del objeto,
 - Extracción (103) de la zona de reconstrucción en tres dimensiones que comprende el objeto a identificar,
 - Reconstrucción (104) de la superficie del objeto en tres dimensiones,
 - Comparación (105) del objeto en tres dimensiones con un objeto de referencia.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** comprende, a continuación de la etapa de adquisición de imágenes, una etapa de posicionamiento de una imagen sobre una posición de referencia.
12. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** comprende, a continuación de la etapa de adquisición de imágenes, una etapa de redimensionamiento de la imagen con relación a una imagen de referencia

para que las dimensiones del objeto detectado en una imagen sean similares a las dimensiones del objeto en una imagen de referencia

5 13. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** comprende, a continuación de la etapa de adquisición de imágenes, una etapa de modificación de la iluminación de una imagen en función de una imagen de referencia para que la iluminación de la imagen sea similar a la iluminación de una imagen de referencia.

14. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado porque** comprende, a continuación de la etapa de adquisición de imágenes, una etapa de tratamiento del sinograma (121) de una imagen para extraer las informaciones relativas al objeto de las otras informaciones de la imagen.

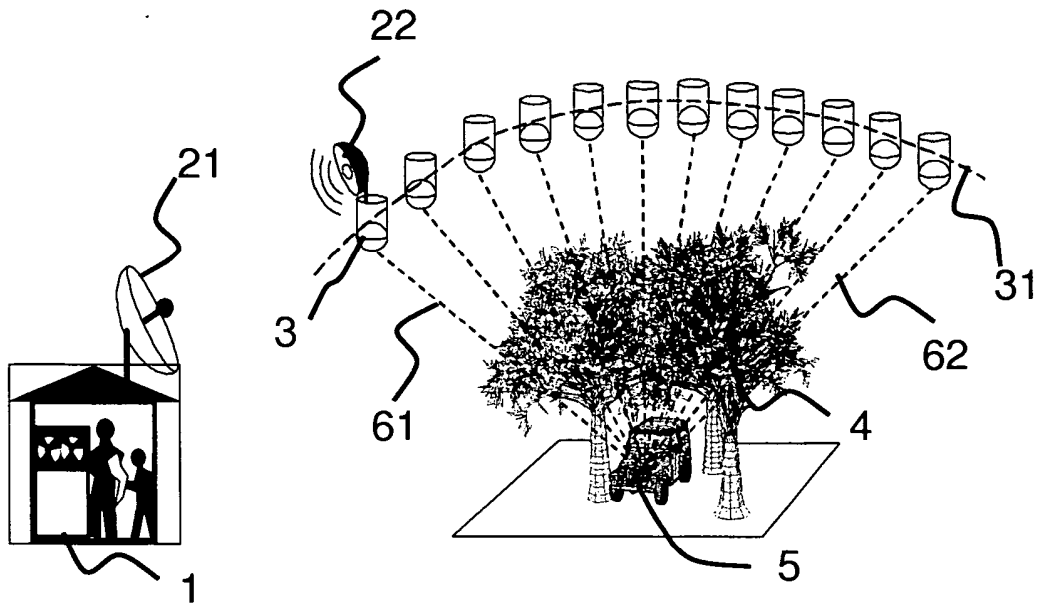


FIG.1

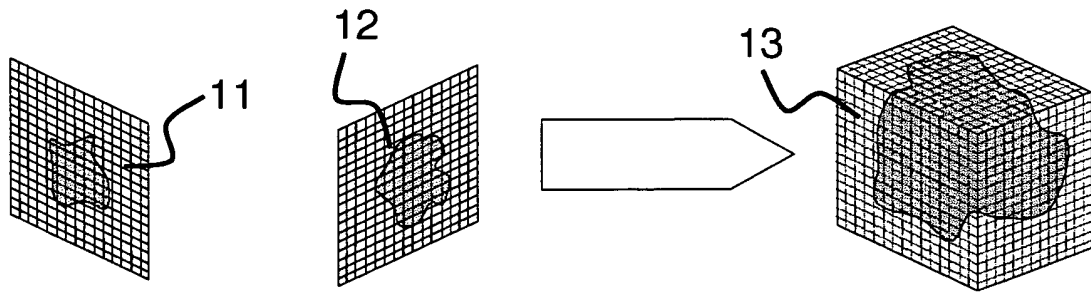


FIG.2

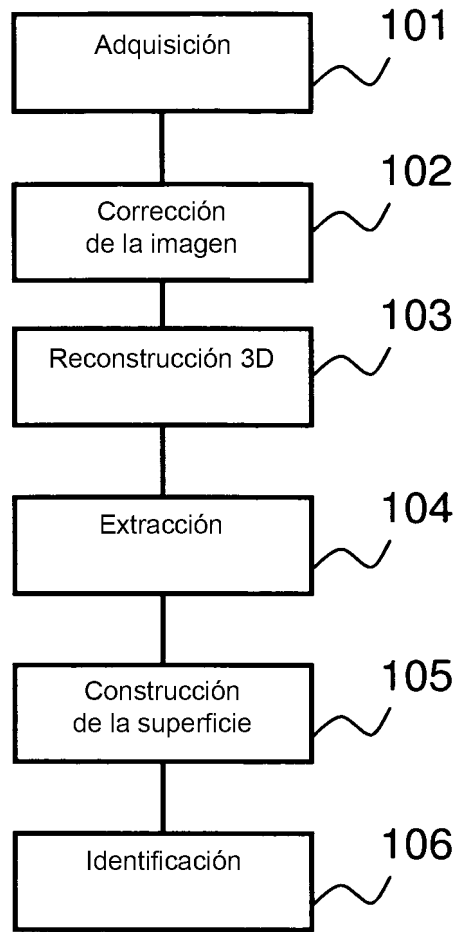


FIG.3

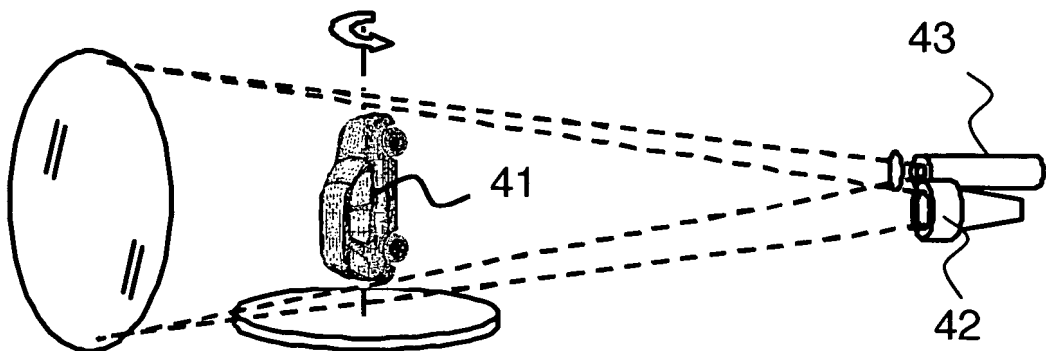


Fig. 4

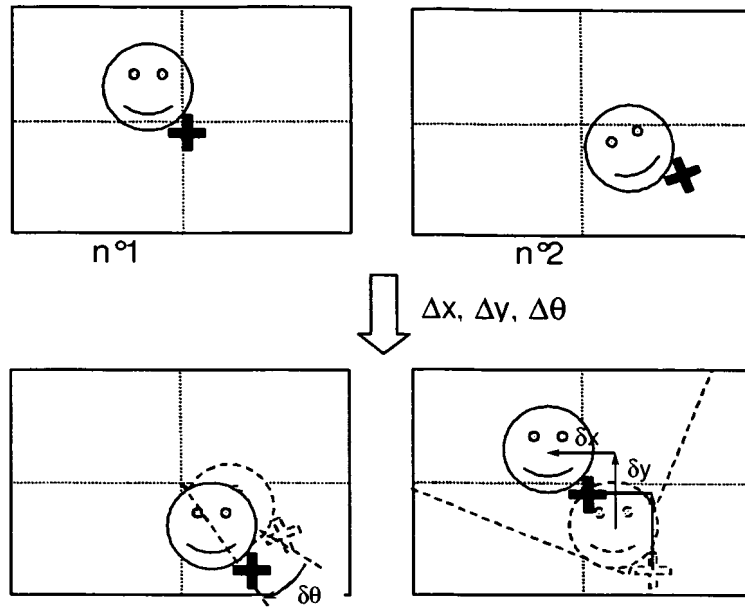


FIG.5

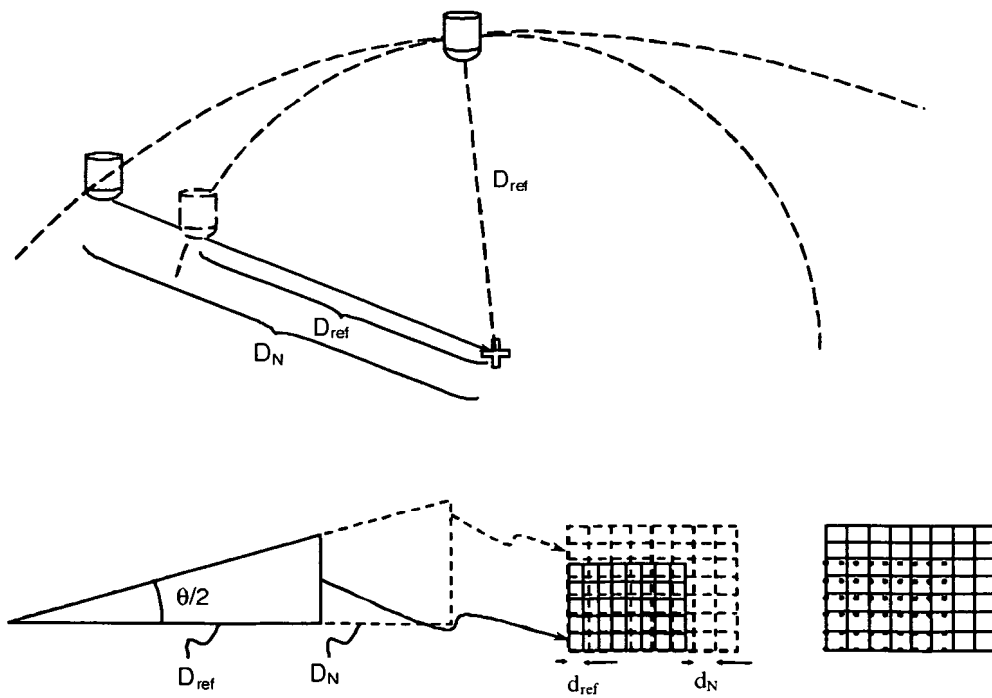


FIG.6

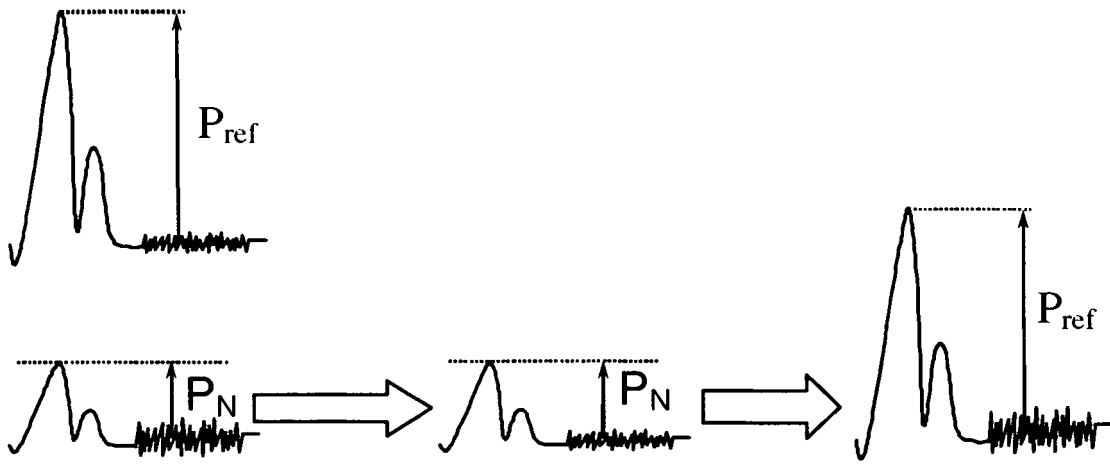


FIG.7

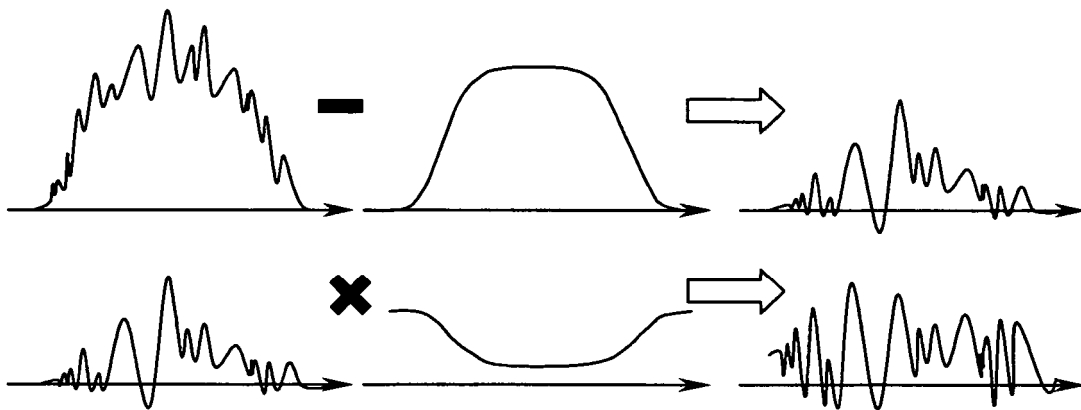


Fig. 8

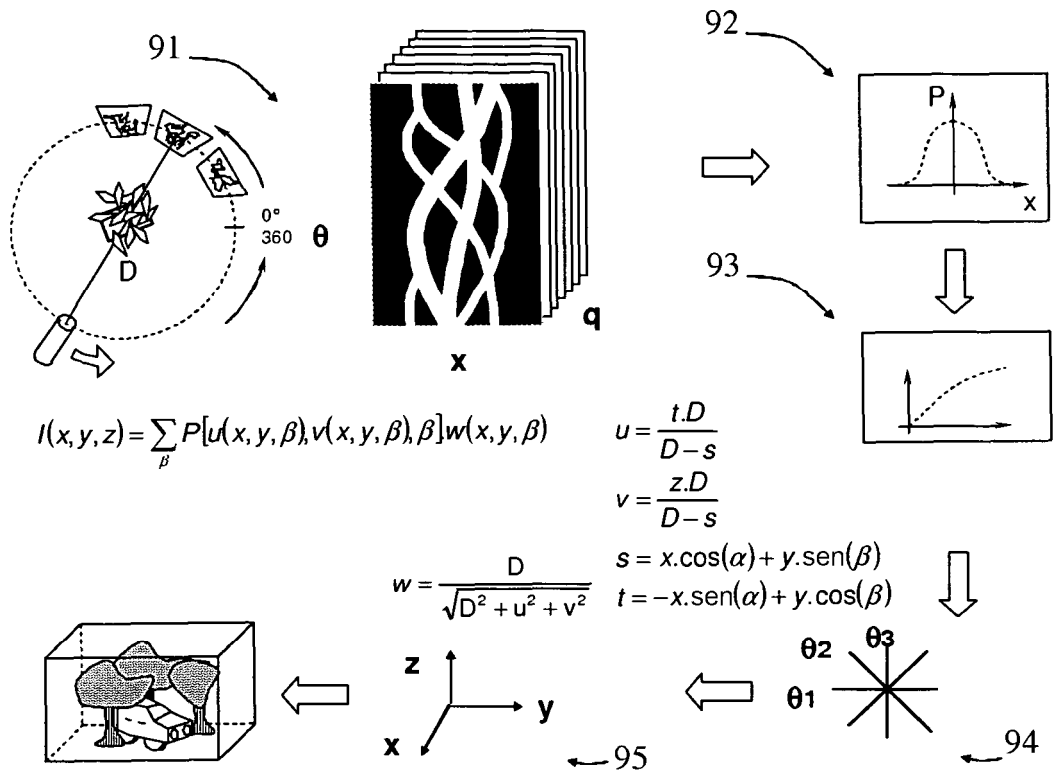


Fig. 9

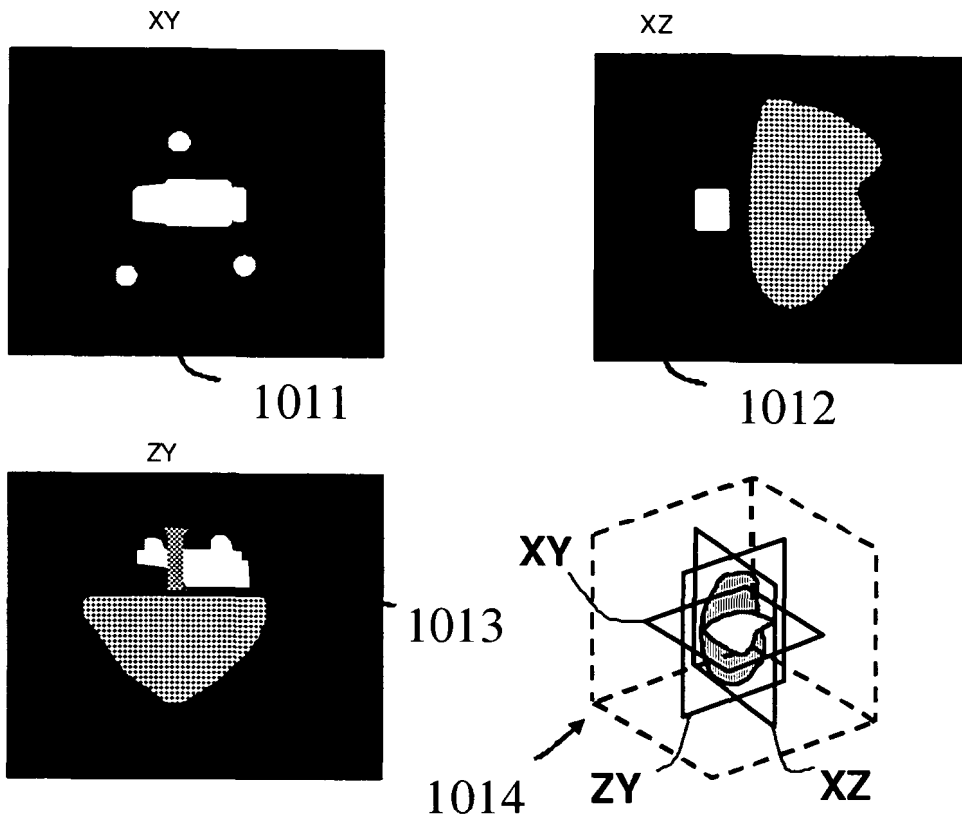


Fig. 10

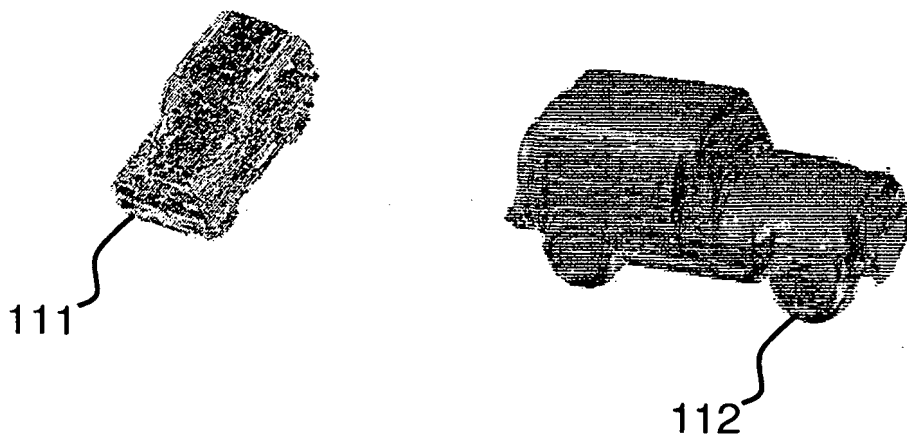


Fig. 11

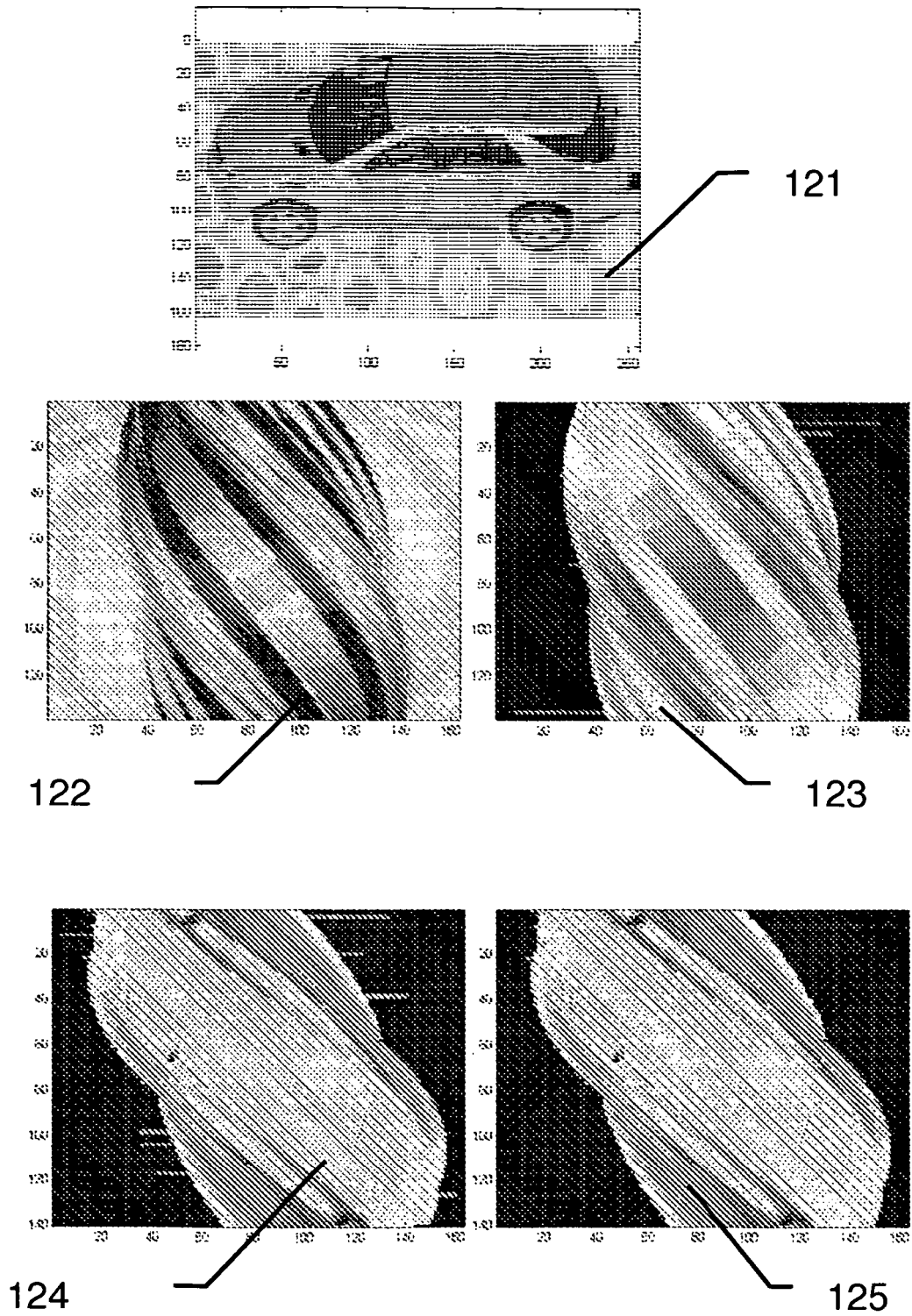


Fig. 12