

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 373 807**

51 Int. Cl.:
G06K 9/46

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08736206 .7**

96 Fecha de presentación: **14.04.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2143042**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.01.2010**

54 Título: **APARATO DE TRANSFORMACIÓN DE HACES PEQUEÑOS ADAPTADOS A UNA CARACTERÍSTICA Y METODOLOGÍA ASOCIADA DE DETECCIÓN DE OBJETOS CURVILÍNEOS DE UNA IMAGEN.**

30 Prioridad:
13.04.2007 US 911797 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
08.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
08.02.2012

73 Titular/es:
**INSTITUT PASTEUR
25-28, RUE DU DOCTEUR ROUX
75015 PARIS, FR y
GENOMIC VISION**

72 Inventor/es:
**BERLEMONT, Sylvain;
OLIVO-MARIN, Jean-Christophe y
BENSIMON, Aaron**

74 Agente: **Curell Aguilá, Mireya**

ES 2 373 807 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

Aparato de transformación de haces pequeños adaptados a una característica y metodología asociada de detección de objetos curvilíneos de una imagen.

5

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

La presente solicitud reivindica los derechos de fecha de presentación anterior de la solicitud provisional US nº 60/911.797, presentada el 13 de abril de 2007 y titulada "A Feature Adapted Beamlet Transform Apparatus and Associated Methodology of Detecting Curvilinear Objects of an Image".

10

Antecedentes

Las mejoras reivindicadas descritas en la presente memoria se refieren a un sistema y a la metodología asociada de detección de objetos curvilíneos en una imagen. Más particularmente, se da a conocer un aparato y una metodología asociada para realizar una transformada de haces pequeños (en inglés "beamlet") de características adaptadas para la detección de objetos curvilíneos en una imagen con ruido, por medio de una implementación de software y/o hardware.

15

En los sistemas de procesamiento de imágenes, las aplicaciones de visión artificial y similares, a menudo se desea detectar objetos curvilíneos. Dichos objetos están presentes en todas las imágenes naturales o sintéticas y adoptan la forma de contornos de objetos o de carreteras en aplicaciones de captación de imágenes lineales aéreas o de filamentos de ADN en aplicaciones de microscopía. En el documento de Jacob M *et al.*: "Design of Steerable filters for Feature Detection using Canny-Like Criteria", (IEEE Transactions on pattern analysis and Machine Intelligence, IEEE Service Center, Los Alamitos, CA, US, vol. 26, nº 8, 1 de agosto de 2004, páginas 1007-1019, XP011114226 ISSN: 0162-8828), se describe un procedimiento de diseño óptimo de filtros orientables para detectar diversas estructuras de imagen tales como bordes y aristas. Asimismo, en el documento de Arias-Castro E *et al.*: "Near-Optimal Detection of Geometric Objects by Fast Multiscale Methods" (IEEE Transactions on information Theory, IEEE, US, vol. 51, nº 7, 1 de julio de 2005, páginas 2402-2425, XP011135579 ISSN: 0018-94) se da a conocer un procedimiento multiescala rápido mediante descomposición en haces pequeños para la detección de objetos geométricos. Sin embargo, no existe ninguna metodología conocida que permita influir en un filtro orientable con el objetivo de emplear metodologías de procesamiento de segmentos lineales, tales como procedimientos de haces pequeños para representar objetos curvilíneos que presentan un perfil de línea específico.

20

25

30

35

Los objetos curvilíneos se consideran variedades de 1 dimensión que presentan un perfil específico a lo largo de una curva suave. La forma de este perfil puede ser un borde o una característica tipo cadena, o también puede estar representado por características de diseño más complejo. Por ejemplo, en el contexto del análisis de filamentos de ADN en microscopía fluorescente, es aceptable considerar que la dimensión transversal de un filamento es pequeña con respecto a la amplitud de la función PSF (función de dispersión del punto) del microscopio. Por lo tanto, la forma del perfil puede calcularse correctamente mediante un modelo PSF.

40

Una forma de detectar objetos curvilíneos consiste en rastrear localmente la característica del perfil de curva, siendo el filtrado lineal o el filtrado por coincidencia de plantilla unas técnicas muy conocidas para llevar a cabo ese cometido. El detector de bordes de Canny clásico y los detectores de diseño más reciente se basan en dichas técnicas de filtrado lineal. Estas técnicas comprenden el cálculo de productos internos con versiones desplazadas y/o giradas de la plantilla de la característica en cada punto de la imagen. Una respuesta elevada en una posición determinada de la imagen significa que el área considerada guarda una similitud con la plantilla de la característica. El filtrado habitualmente va seguido de una supresión de no máximos y una etapa de umbralización para extraer los objetos. Los mayores inconvenientes de dichas técnicas se derivan del hecho de que el filtrado lineal se basa en operadores locales. En consecuencia, estas técnicas son sumamente sensibles al ruido, aunque no lo son a la uniformidad subyacente de la curva, que es una propiedad no local común de los objetos curvilíneos.

45

50

Como alternativa, se puede utilizar la transformada de Radon, una potente técnica no local, para la detección de líneas. Esta transformada, conocida también como "transformada de Hough" en el caso de las imágenes binarias discretas, realiza una representación del espacio de imagen en un espacio de parámetros lineales, calculando integrales de línea. Formalmente, dada una imagen f definida en un subespacio de R^2 , para cada parámetro de línea (ρ, θ) se calcula:

55

$$\varphi(\rho, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(\rho - x \cos(\theta) - y \sin(\theta)) dx dy. \tag{1}$$

60

Los picos en el espacio de los parámetros ponen de manifiesto líneas de interés potenciales. Aunque este es un procedimiento muy seguro para detectar líneas en imágenes con ruido, presenta varias limitaciones. En primer lugar, la ampliación directa del procedimiento a la detección de curvas más complejas no es factible en la práctica, porque

la complejidad se incrementa de forma exponencial al añadir una dimensión al espacio de parámetros. Además, mediante la transformada de Radon, se calculan integrales de las líneas que atraviesan todo el dominio de la imagen, pero no se aporta información sobre pequeños segmentos lineales.

5 Dada una imagen de $N \times N$ píxeles, el número de segmentos lineales posibles definidos se halla en $O(N^4)$. La evaluación directa de las integrales de línea en el conjunto entero de segmentos es prácticamente inviable debido a la carga computacional. Una de las metodologías propuestas para afrontar este problema es la transformada de haces pequeños. Esta transformada define un conjunto de segmentos lineales distribuidos diádicamente que ocupan un rango de posiciones y escalas diádicas y abarcan un rango completo de orientaciones. Los segmentos lineales
 10 de este sistema, denominados haces pequeños, tienen ambos puntos terminales dispuestos sobre unos cuadrados diádicos obtenidos dividiendo recursivamente el dominio de la imagen. El grupo de haces pequeños tiene una cardinalidad $O(N^2 \log(M))$. La idea subyacente de la transformada de haces pequeños es la de calcular integrales de línea solo en este conjunto más pequeño, que es un eficaz sustituto del conjunto entero de segmentos en la medida en que permite calcular cualquier segmento mediante una cadena finita de haces pequeños. La técnica de
 15 encadenamiento de haces pequeños también brinda una manera fácil de calcular curvas constantes a trozos.

Formalmente, dado un haz pequeño $b = (x, y, l, \theta)$ centrado en la posición (x,y) , con una longitud l y una orientación θ , el coeficiente de b calculado por la transformada de haces pequeños viene dado por

$$\Phi(f, b) = \int_{-l/2}^{l/2} f(x + \gamma \cos(\theta), y + \gamma \sin(\theta)) d\gamma. \quad (2)$$

20 La ecuación (2) está estrechamente relacionada con la ecuación (1), puesto que se puede considerar que la transformada de haces pequeños es una transformada de Radon multiescala, debido a que ambas integran la intensidad de la imagen a lo largo de segmentos lineales. Sin embargo, éstas no tienen en cuenta ningún perfil de línea. Esto implica que las transformadas de Radon y de haces pequeños no están bien adaptadas para representar
 25 objetos curvilíneos que presentan un perfil de línea específico.

En consecuencia, se proporciona una transformada de haces pequeños de características adaptadas para representar objetos curvilíneos de un perfil de línea específico.

30 **Sumario de aspectos ejemplificativos de las mejoras**

En un aspecto, se proporciona un procedimiento de detección de un objeto curvilíneo de una imagen con ruido. El procedimiento comprende filtrar la imagen con ruido conforme a un perfil de línea bidimensional. Se selecciona un
 35 perfil de línea que forma parte de una clase de filtros orientables. Se calcula un coeficiente de haces pequeños según el filtrado, siendo los coeficientes que se hallan por encima de un umbral predeterminado indicativos de una característica local.

En otro aspecto, se da a conocer un procedimiento de detección de un objeto curvilíneo de una imagen con ruido. El procedimiento comprende filtrar la imagen con ruido conforme a un perfil de línea bidimensional. Se selecciona un
 40 perfil de línea que forma parte de una clase de filtros orientables. Se calcula un coeficiente de haces pequeños según el filtrado, siendo los coeficientes que se hallan por encima de un umbral predeterminado indicativos de una característica local. La imagen con ruido se convoluciona conforme a un grupo de filtros de base.

En otro aspecto de la presente invención, se da a conocer un procedimiento para detectar un objeto curvilíneo de una imagen con ruido. El procedimiento comprende filtrar la imagen con ruido conforme a un perfil de línea
 45 bidimensional. Se selecciona un perfil de línea que forma parte de una clase de filtros orientables. Se calcula un coeficiente de haz pequeño según el filtrado, siendo los coeficientes que se hallan por encima de un umbral predeterminado indicativos de una característica local. La imagen con ruido se convoluciona conforme a un grupo de
 50 filtros de base y cada imagen se calcula mediante combinación lineal.

Debe tenerse en cuenta que tanto la anterior descripción general de la presente invención como la siguiente descripción detallada no son restrictivas, sino ejemplificativas de la presente invención.

55 **Breve descripción de los dibujos**

La memoria de la patente o solicitud contiene por lo menos un dibujo en color. La Oficina correspondiente facilitará copias de la presente publicación de patente o solicitud de patente con dibujo(s) en color previa petición y pago de las tasas necesarias.

60 Se obtendrá una comprensión más completa de la presente invención, favoreciendo de ese modo la percepción de muchas de las ventajas relacionadas con la misma, a través de la siguiente descripción detallada, considerada conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 ilustra un diagrama de bloques de alto nivel de una transformada de haces pequeños de características adaptadas según un aspecto ejemplificativo de la presente exposición;

5 la figura 2 ilustra un ejemplo de una imagen original antes de su degradación por ruido;

la figura 3 ilustra la imagen original de la figura 2 degradada por ruido;

10 la figura 4 ilustra el uso de la detección de bordes de 3^{er} orden de objetos curvilíneos aplicada a la imagen con ruido de la figura 3;

la figura 5 ilustra la detección mediante una transformada de haces pequeños de características adaptadas que comprende el mismo filtro de 3^{er} orden, aplicado a la imagen con ruido de la figura 3, según un aspecto ejemplificativo de la presente exposición;

15 la figura 6 ilustra un ejemplo de una imagen original de filamentos de ADN obtenida mediante microscopia fluorescente;

20 la figura 7 ilustra el uso de la detección de bordes de 2^o orden de objetos curvilíneos mediante una transformada de haces pequeños estándar, aplicada a la imagen original de la figura 6; y

la figura 8 ilustra la detección mediante una transformada de haces pequeños de características adaptadas que presenta el mismo filtro de 2^o orden, aplicada a la imagen original de la figura 6, según un aspecto ejemplificativo de la presente exposición.

25

Descripción detallada

Se da a conocer un aparato de transformación de haces pequeños de características adaptadas y la metodología asociada de detección de objetos curvilíneos de una imagen, con el objetivo de unificar la transformada de haces pequeños con una técnica de filtrado lineal para introducir la transformada de haces pequeños de características adaptadas, que es capaz de integrar el conocimiento de un perfil de línea deseado dispuesto a lo largo de unas curvas. Si el perfil se diseña como un filtro orientable, esta metodología da lugar a una implementación eficiente.

30 En la figura 1, se representa un diagrama de bloques de la transformada de haces pequeños de características adaptadas según un ejemplo de forma de realización. Se representa una imagen de entrada común 2 que será procesada por el sistema de transformada de haces pequeños de características adaptadas, designado de forma general por 5. La parte inicial del sistema comprende un grupo de filtros de base dedicados 4, que convolucionan la imagen de entrada. La salida de los filtros de base 4 se transforma con una transformada de haces pequeños 6. A este respecto, cabe señalar que los filtros de base 4 y la transformada de haces pequeños 6 son igualmente aplicables a los nodos distribuidos de forma remota o a los sistemas autónomos. Por ejemplo, como sabrán deducir los expertos en la materia, dicho procesamiento puede tener lugar en sistemas independientes. En dichos casos, un sistema autónomo puede emplear la transformada de haces pequeños como utilidad local para facilitar el reconocimiento de imágenes. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta que los filtros de base 4 y la transformada de haces pequeños 6 pueden corresponder a dispositivos separados o aspectos separados de un mismo dispositivo conforme a las mejoras descritas en la presente memoria. Igualmente, aunque los componentes 6 y 8 se ilustran como objetos separados, en realidad son componentes de un aparato de transformación de haces pequeños de características adaptadas en los ejemplos de formas de realización descritos en la presente memoria.

45 La salida de la transformada de haces pequeños 6 se multiplica por un conjunto de mapas de ganancia 8, que aplican las funciones de interpolación adecuadas en cada posición y momento. El nudo suma 10 genera la imagen filtrada con el filtro adaptativo y transformada 12.

50 El sistema 5 de la figura 1 puede abarcar un dispositivo informático personal, tal como un PC con un procesador Intel Pentium. El conjunto de instrucciones descrito en detalle más adelante se facilita como una aplicación de programa de utilidad que se ejecuta en conjunción con un procesador y un sistema operativo locales tales como Microsoft VISTA[®], Unix, Solaris, Linux, Apple MAC-OS y otros sistemas conocidos por los expertos en la materia. Por otro lado, los expertos en la materia reconocerán la aplicabilidad a los dispositivos móviles, tales como los PDA, los teléfonos y los dispositivos de entretenimiento portátiles, en los que se emplean los sistemas operativos Symbian, Microsoft Mobile[®] y otros similares. La memoria necesaria para admitir los registros, el núcleo y otras características similares de la figura 1 se omiten por ser bien conocidos. Asimismo, la descripción de las características generales de la figura 1, tales como la memoria local volátil y/o no volátil, las capacidades de I/O, los dispositivos periféricos comunes, así como las correspondientes funciones, se han omitido para mayor brevedad, siendo el funcionamiento y la descripción detallada bien conocidos por los expertos en la materia. La codificación y adaptación específicas de los algoritmos descritos en la presente invención entra dentro de las competencias de los expertos en la materia previa consulta de la presente memoria.

65

Debe tenerse en cuenta que, dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, la presente invención puede llevarse a la práctica de maneras distintas a las descritas en particular en la presente memoria. Por ejemplo, aunque se describe tanto desde el punto de vista de los componentes de software como de los componentes de hardware que cooperan interactivamente, está previsto que la transformada de haces pequeños de características adaptadas descrita en la presente memoria pueda llevarse a la práctica exclusivamente en software, firmware o como un circuito integrado de aplicación específica (ASIC).

Como bien saben los expertos en la materia, el software y el firmware pueden adoptar la forma de realización de unos medios de almacenamiento legibles por ordenador, tales como un disco óptico o una memoria semiconductora.

Por otra parte, la transformada de haces pequeños de características adaptadas puede implementarse como una utilidad basada en la web o un servicio basado en la web invocados de forma remota mediante un protocolo conocido, tal como el protocolo SOAP. Por ejemplo, se espera que la transformada de haces pequeños de características adaptadas pueda aprovecharse en un entorno de investigación, en el que se suministran imágenes a la utilidad, a través de una red que presta servicio a un grupo de usuarios. Del mismo modo, se pueden emplear dispositivos remotos para acceder a la transformada de haces pequeños de características adaptadas por medio de diversos protocolos inalámbricos, tales como BLUETOOTH® y los formatos inalámbricos IEEE802-11x.

Todas las etapas relativas a un único filtro de base se pueden calcular de forma simultánea en una máquina paralela, y cada una de ellas tiene una complejidad $O(N^2)$. En este sistema, la evaluación de los coeficientes de haces pequeños consume la mayor parte del tiempo dedicado al cálculo. Para incrementar la velocidad, puede emplearse una estrategia de caché para realizar previamente la mayor parte de los cálculos, mientras se utiliza una aproximación de los coeficientes de haces pequeños según la técnica de repetición a dos escalas. Mediante esta estrategia, la velocidad se incrementa a costa de un incremento de la carga de memoria. Para una imagen 1024 x 1024, una implementación de la transformada de haces pequeños estándar lleva aproximadamente 1 s en un ordenador de doble procesador.

Se considera ahora un filtro h que representa un perfil de línea bidimensional. Sea h^θ una versión girada de h en la dirección θ , entonces:

$$h^\theta(x, y) = h(R_\theta(x, y)), \quad (3)$$

siendo R_θ es la matriz de rotación bidimensional del ángulo θ . En una primera etapa, se considera el filtrado de la imagen f_2 con h^θ antes de calcular el coeficiente de haz pequeño a partir de la ecuación (2):

$$\Phi(f, b) = \int_{-1/2}^{1/2} f(x + \gamma \cos(\theta), y + \gamma \sen(\theta)) d\gamma. \quad (2)$$

Esto da por resultado:

$$\Psi(f, b) = \int_{-1/2}^{1/2} f * h^\theta(x + \gamma \cos(\theta), y + \gamma \sen(\theta)) d\gamma. \quad (4)$$

Un coeficiente alto indica que la característica local se dispone significativamente a lo largo de b . Esto corresponde a la transformada de haces pequeños de características adaptadas 6. En general, el cálculo de todos los coeficientes de haz pequeño no es posible, puesto que requiere convolucionar la imagen tantas veces como ángulos θ existan. Para el caso especial en el que el filtro h seleccionado pertenece a la clase de filtros orientables, se considera ahora la escritura de h^θ como una combinación lineal de filtros de base 4:

$$h^\theta(x, y) = \sum_{j=1}^M k_j(\theta) h^{\theta_j}(x, y), \quad (5)$$

siendo los términos k_j 8 funciones de interpolación que sólo dependen de θ . Los filtros de base h^{θ_j} 4 son independientes de θ . Una convolución de una imagen con un filtro orientable de orientación arbitraria es pues igual a la suma ponderada finita de la convolución de la misma imagen con los filtros de base. Por lo tanto, la ecuación (4) puede escribirse de la siguiente manera

$$\Psi(f, b) = \sum_{j=1}^M k_j(\theta) \int_{-1/2}^{1/2} f^{\theta_j}(x + \gamma \cos(\theta), y + \gamma \sin(\theta)) d\gamma$$

$$= \sum_{j=1}^M k_j(\theta) \Phi(f^{\theta_j}, b), \quad (6)$$

5 correspondiendo $f_j = f * h_j^{\theta}$ y $\Phi(f_j, b)$ al coeficiente de haz pequeño de b calculado con respecto a f_j mediante la ecuación (2). Como resultado, a fin de calcular la ecuación (4) para cada coeficiente de haz pequeño, se considera lo siguiente: en primer lugar, la convolución de la imagen tantas veces como filtros de base compongan el filtro h . Este número suele ser muy pequeño. En cada imagen filtrada, se calcula la transformada de haces pequeños estándar. Por último, para cada haz pequeño, se calcula su coeficiente mediante la ecuación (6).

10 Un procedimiento de detección mediante la transformada de haces pequeños de características adaptadas 10 provee una lista de los haces pequeños que representan mejor los objetos curvilíneos que presentan un perfil de línea específico en una imagen. El procedimiento se basa en una técnica de umbralización de coeficientes multiescala.

15 Una partición diádica recursiva (RDP) del dominio de la imagen es cualquier partición, comenzando por el dominio de la imagen completa, obtenida eligiendo recursivamente entre reemplazar cualquier cuadrado de la partición por su descomposición en cuatro cuadrados diádicos o dejarlo sin dividir. Este concepto es muy similar al de la técnica de descomposición de árbol cuaternario (*quadtree*). Una RDP decorada con haces pequeños (BD-RDP) es una RDP en la que los nodos terminales de la partición están asociados a lo sumo con un haz pequeño. Mediante construcción, la partición diádica recursiva decorada con haces pequeños genera una lista de haces pequeños no superpuestos. Para seleccionar la lista de haces pequeños que representan mejor los objetos curvilíneos de la imagen 2, se maximiza, en todas las particiones $P = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, la siguiente suma de cuadrados de residuos con penalización por complejidad:

$$E(P) = \sum_{S \in P} C_S^2 - \lambda^2 \#P, \quad (7)$$

25 en la que

$$C_S = \max_{b \in S} \frac{FBT(f, b)}{\sqrt{l}}$$

30 mide la energía necesaria para modelizar la zona S de la imagen f mediante el haz pequeño b , y λ es un criterio tipo MDL que controla la complejidad del modelo. Un valor alto de λ genera una representación aproximada de las estructuras curvilíneas, mientras que un valor pequeño genera un modelo bastante complejo con un número potencialmente significativo de falsas alarmas. La ecuación (7) puede resolverse de una manera muy eficaz mediante un algoritmo de poda de árbol recursivo debido a la aditividad de la función del coste.

35 Se considera ahora la comparación de esta metodología con una técnica de filtrado lineal que convolucionada la imagen con un filtro orientable y resuelve para cada punto de imagen una ecuación polinómica para encontrar la orientación óptima que maximiza la respuesta del filtro. Esta etapa va seguida de una etapa de supresión de no máximos y umbralización. Los ejemplos de filtros orientables son una combinación de filtros basados en el algoritmo de Gauss que se optimizan conforme a criterios tipo Canny, tales como un filtro de 3^{er} orden. La figura 3 representa los resultados en una imagen degradada por ruido blanco gaussiano con una desviación estándar $\sigma_{\text{ruido}} = 50$. En los procedimientos descritos en la presente memoria, se utiliza el conocido algoritmo de Bresenham para resaltar los píxeles atravesados por haces pequeños significativos. En ambos casos, se determina que el valor umbral conserva 2.000 píxeles. Como se representa en la figura 5, el número de falsos positivos se reduce en gran medida.

45 Se considerará ahora el rendimiento de la transformada de haces pequeños de características adaptadas 10 comparado con el de la transformada de haces pequeños estándar en la detección de diversos segmentos lineales en las imágenes con ruido. Se prueban dos técnicas en imágenes de filamentos de ADN obtenidas mediante microscopía fluorescente. Estos filamentos presentan un perfil tipo cadena. Para la elección de h , se elige un filtro de 2^o orden. Se utiliza el mismo algoritmo para ambas transformadas con $\lambda = 100$. La transformada de haces pequeños estándar se comporta como un filtro pasabaja y, en consecuencia, es sensible a la intensidad de fondo, a diferencia de la transformada de haces pequeños de características adaptadas 10 que puede anular un fondo constante o más complejo, dependiendo de los momentos nulos de h . En el ejemplo indicado en la presente memoria, para hacer que estas dos transformadas sean comparables entre sí, se supone que el fondo es constante y que se sustrae de la imagen antes de calcular los coeficientes de haz pequeño. Con este propósito, se calcula la intensidad media de fondo a partir de la mediana de la imagen 2. Como se representa en la esquina superior izquierda de la figura 6, las

detecciones falsas se deben al hecho de que el fondo real no es constante en todo el dominio de la imagen. Como puede observarse en la figura 7, esto no es lo que sucede en el ejemplo de transformada de haces pequeños de características adaptadas.

- 5 Así pues, debe tenerse en cuenta que la descripción anterior simplemente da a conocer e ilustra ejemplos de formas de realización de la presente invención. Como deducirán los expertos en la materia, la presente invención puede adoptar otras formas de realización específicas, sin apartarse, por ello, de las características esenciales de la misma.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de detección de un objeto curvilíneo de una imagen con ruido (f), que comprende:

5 filtrar la imagen con ruido (f) utilizando un filtro (h^θ) que representa un perfil de línea bidimensional, siendo seleccionado el filtro (h^θ) de entre una clase de filtros orientables;

10 calcular haces pequeños calculando una transformada de haces pequeños con la imagen filtrada, en el que un coeficiente de haz pequeño calculado por encima de un umbral predeterminado indica que una característica local de la imagen filtrada discurre sustancialmente a lo largo de dicho haz pequeño y

seleccionar los haces pequeños que representan mejor el objeto curvilíneo de la imagen (f), implementando una partición diádica recursiva decorada con haces pequeños del dominio de la imagen.

15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, que además comprende:

convolucionar la imagen con ruido (f) con el filtro orientable (h^θ), siendo dicho filtro (h^θ) una combinación de un cierto número de filtros de base.

20 3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que un haz pequeño ($b(x,y,l,\theta)$) está centrado en una posición (x,y) con una longitud l y una orientación θ , y el coeficiente de haz pequeño calculado mediante la transformada de haces pequeños viene dado por:

$$\alpha(f,b) = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} f(x + \gamma \cos \theta + \gamma \sin \theta) \gamma d\gamma.$$

25 4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que el filtro orientable (h^θ) se calcula mediante la combinación lineal de los filtros de base.

30 5. Medios de almacenamiento legibles por ordenador que incluyen unas instrucciones de programa informático codificadas que hacen que un ordenador detecte un objeto curvilíneo de una imagen con ruido, que comprenden:

filtrar la imagen con ruido utilizando un filtro (h^θ) que representa un perfil de línea bidimensional, siendo seleccionado el filtro (h^θ) de entre una clase de filtros orientables,

35 calcular haces pequeños calculando una transformada de haces pequeños en la imagen filtrada, en el que un coeficiente de haz pequeño calculado por encima de un umbral predeterminado indica que una característica local de la imagen filtrada discurre significativamente a lo largo de dicho haz pequeño; y

40 seleccionar los haces pequeños que representan mejor el objeto curvilíneo de la imagen (f), implementando una partición diádica recursiva decorada con haces pequeños del dominio de la imagen.

6. Medios según la reivindicación 5, que comprenden además:

45 convolucionar la imagen con ruido con el filtro orientable (h^θ), siendo dicho filtro (h^θ) una combinación de un cierto número de filtros de base.

50 7. Medios según la reivindicación 5, en los que un haz pequeño ($b(x,y,l,\theta)$) está centrado en una posición (x,y) con una longitud l y una orientación θ , y el coeficiente de haz pequeño calculado por la transformada de haces pequeños viene dado por:

$$\alpha(f,b) = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} f(x + \gamma \cos \theta + \gamma \sin \theta) \gamma d\gamma.$$

55 8. Medios según la reivindicación 5, en los que el filtro orientable (h^θ) se calcula mediante la combinación lineal de los filtros de base.

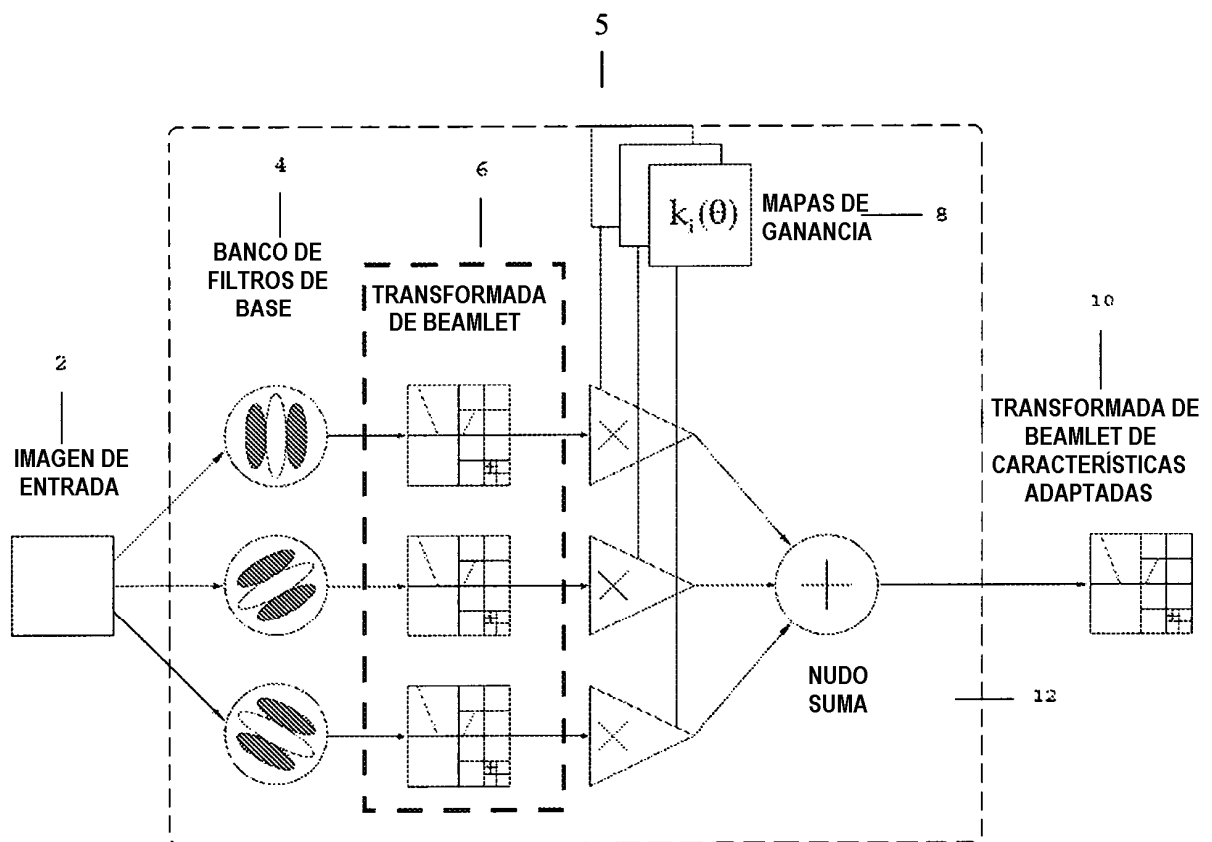


Fig.1



Fig.2



Fig.3

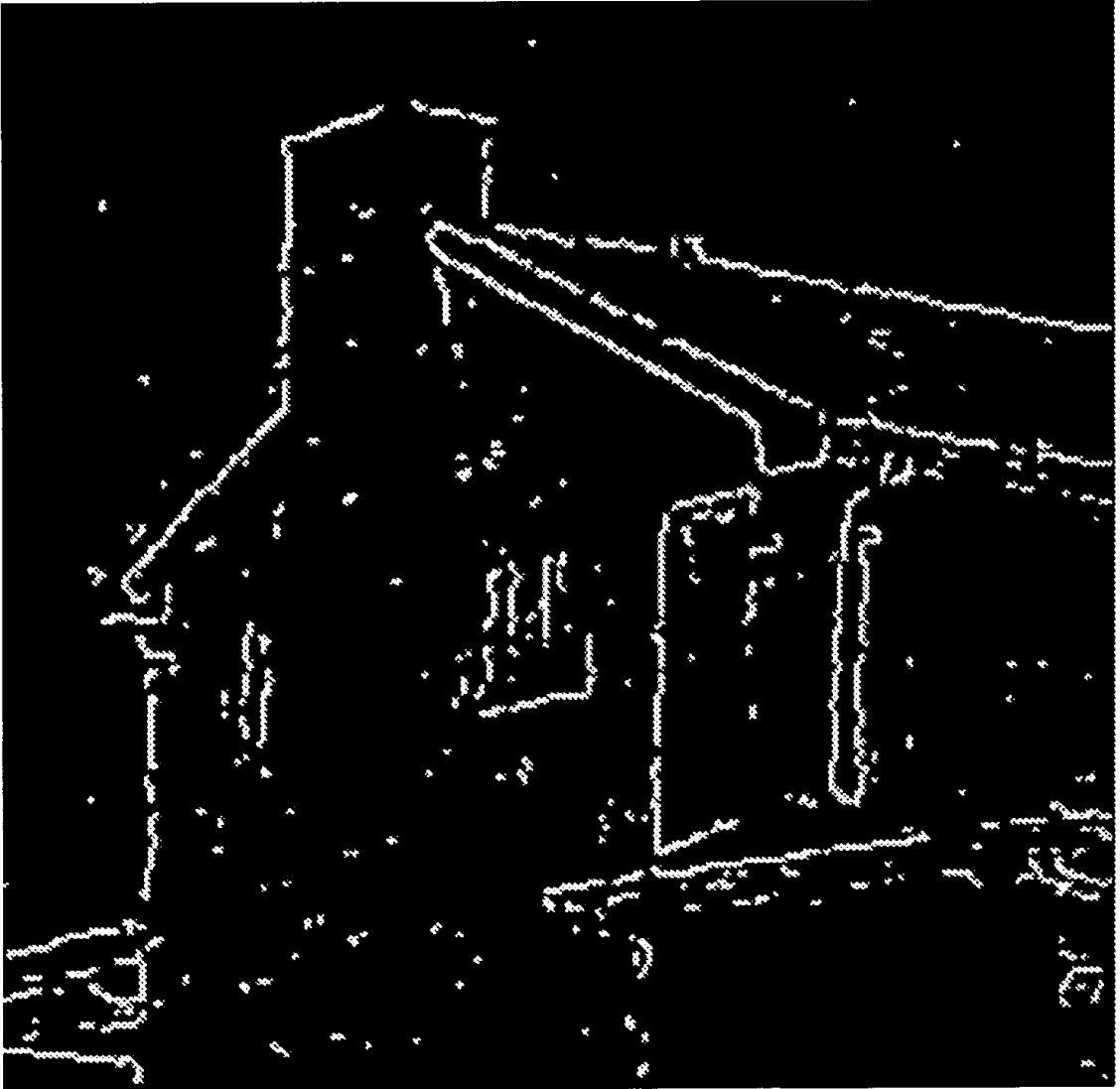


Fig.4



Fig.5

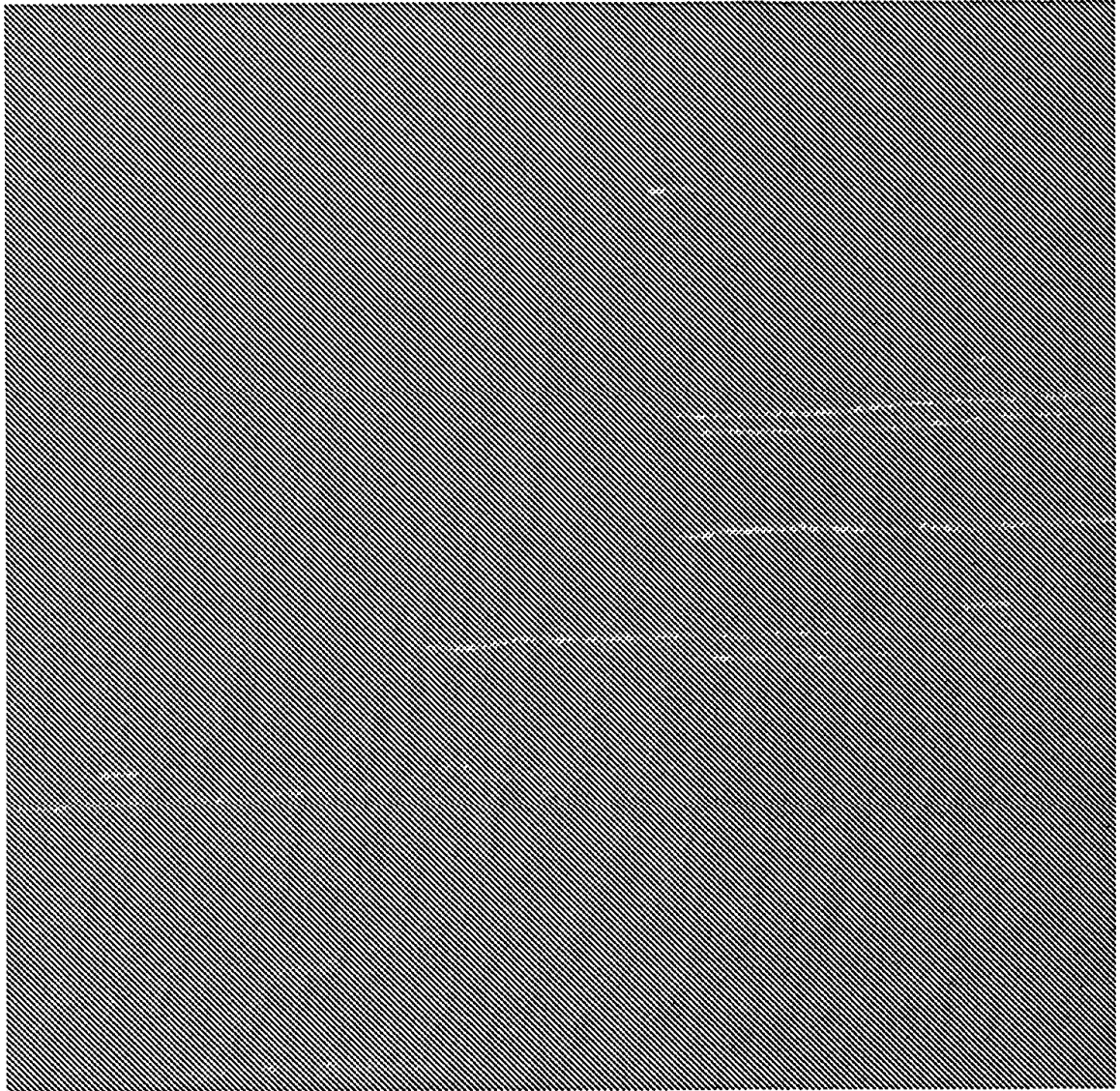


Fig.6

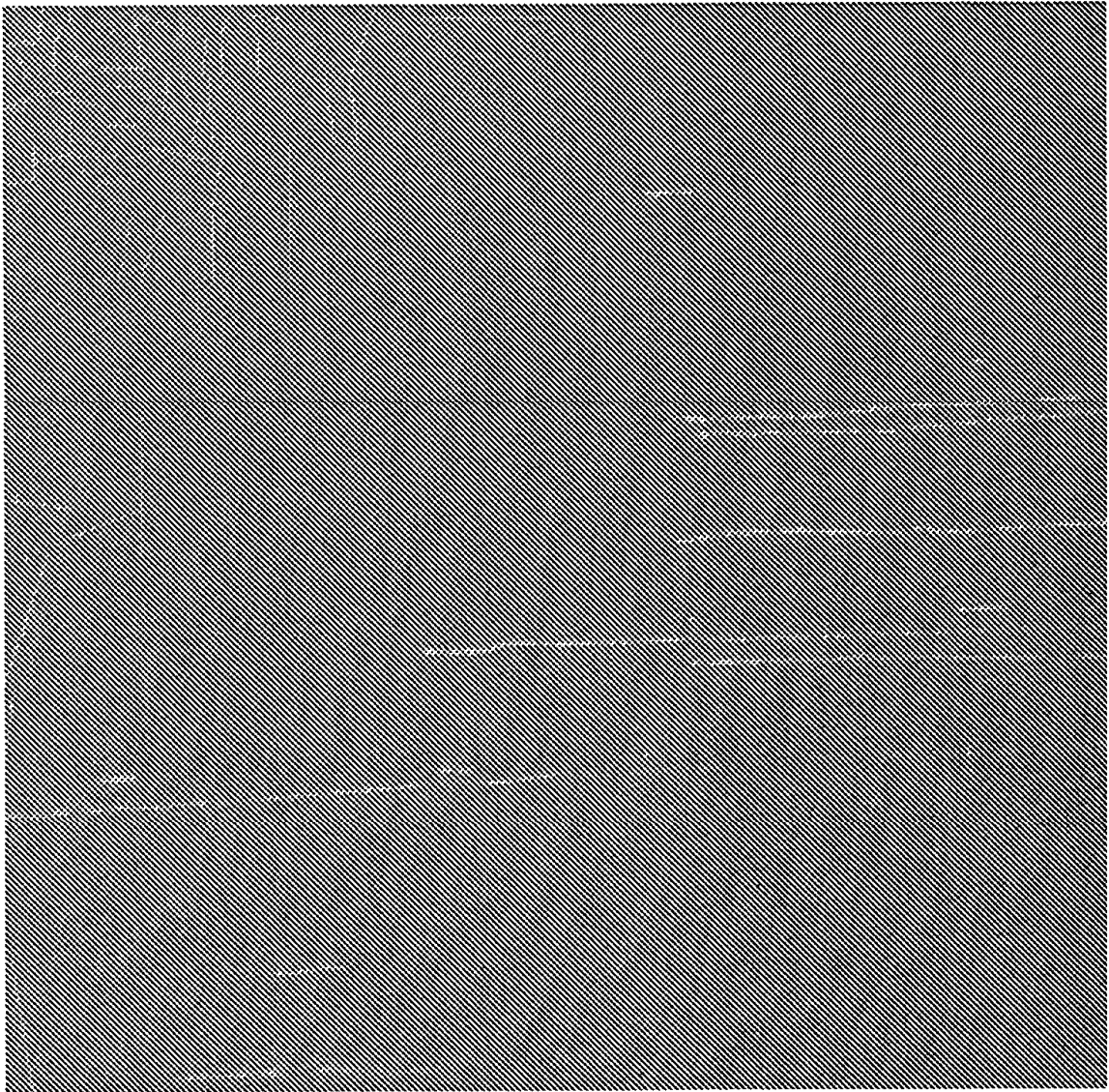


Fig.7

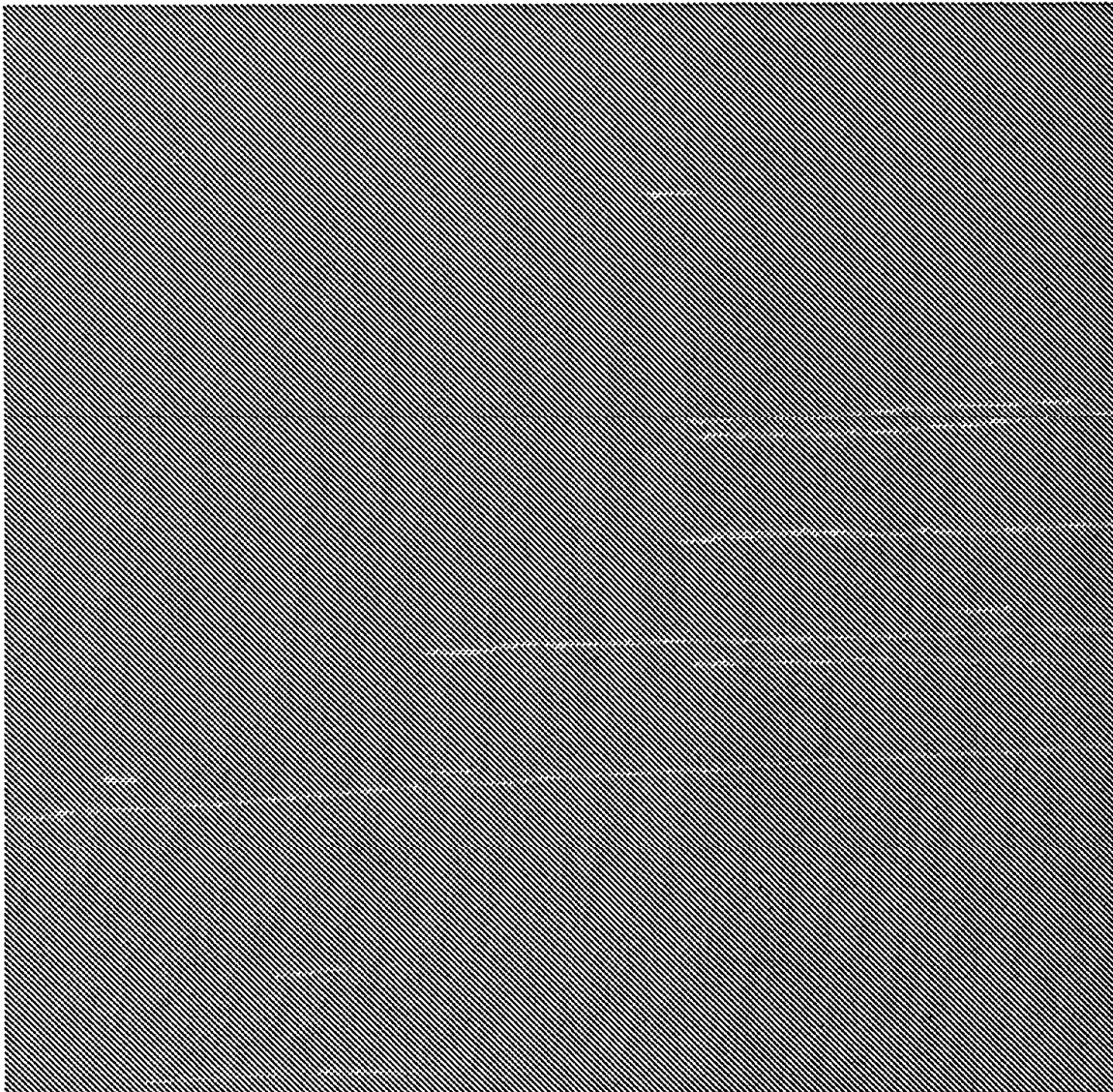


Fig.8