

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 444 643**

51 Int. Cl.:

G06T 17/00 (2006.01)

G06T 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.09.2005** **E 05256550 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2013** **EP 1640915**

54 Título: **Procedimiento y sistema para proporcionar una representación volumétrica de un objeto tridimensional**

30 Prioridad:

28.09.2004 GB 0421547

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

26.02.2014

73 Titular/es:

**BRITISH BROADCASTING CORPORATION
(100.0%)
BROADCASTING HOUSE
LONDON W1A 1AA, GB**

72 Inventor/es:

GRAU, OLIVER

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 444 643 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para proporcionar una representación volumétrica de un objeto tridimensional

5 **[0001]** La presente invención se refiere a procedimientos y sistemas para proporcionar representaciones tridimensionales y se describirá a continuación con referencia a esta aplicación. Sin embargo, se apreciará que la invención no se limita a esta aplicación particular.

10 **[0002]** Son conocidos en la técnica varios procedimientos para proporcionar representaciones volumétricas de objetos tridimensionales. Un ejemplo de un procedimiento para proporcionar representaciones volumétricas de objetos tridimensionales incluye proporcionar una reconstrucción de forma de objetos en tres dimensiones (3D) desde múltiples puntos de vista. El cálculo de la envolvente visual de siluetas de objetos es una técnica popular.

15 **[0003]** El procedimiento, también llamado de forma a partir de silueta, suministra una descripción 3D del objeto. El enfoque requiere un conjunto de imágenes de la silueta a partir de cámaras calibradas. Una imagen de silueta es una imagen binaria (o en algunos casos, en escala de grises), donde cada píxel indica si este píxel pertenece al objeto o no. La información de la silueta se puede determinar mediante cualquier proceso de segmentación adecuado. Esto se realiza de forma ventajosa usando *chroma-keying* (llave de color) o *difference-keying* tal como se describe en nuestra patente GB-0.220.972,4 y en nuestras solicitudes anteriores mencionadas en esta.

20 **[0004]** La reconstrucción de formas en 3D se puede formular como la intersección de conos generalizados de las imágenes de silueta. Un cono generalizado es la unión de los rayos visuales desde todos los puntos de la silueta de una imagen particular. Esta intersección da sólo una aproximación de la forma del objeto real y se llama la envolvente visual. En particular, las concavidades no pueden ser modelizadas con este procedimiento.

25 **[0005]** Se han publicado varios algoritmos para el cálculo de la envolvente visual, por ejemplo: W. Martin y J. K. Aggarwal, "*Volumetric descriptions of objects from multiple views*," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 5, no. 2, pp. 150-158, Marzo de 1983; M. Potmesil, "*Generating octree models of 3D objects from their silhouettes in a sequence of images*," Computer Vision, Graphics and Image Processing, vol. 40, pp. 1-29, 1987; Richard Szeliski, "*Rapid octree construction from image sequences*," CVGIP: Image Understanding, vol. 58, no. 1, pp. 23-32, July 1993; y Wolfgang Niem, "*Robust and fast modelling of 3d natural objects from multiple views*," in SPIE Proceedings, Image and Video Processing II, San Jose, Febrero de 1994, vol. 2182, pp. 388-397. Estos enfoques tratan de resolver el problema en una representación del espacio volumétrico. La más común de estas representaciones es subdividir una caja 3D de un espacio euclidiana 3D en un conjunto de vóxeles de tamaño discreto. El tamaño de la caja está predeterminado de tal manera que el objeto pueda caber dentro. Con el fin de ahorrar memoria estas pueden ser representadas como "*octrees*" o se codifican a lo largo de la ejecución.

35 **[0006]** Para el uso de la reconstrucción en 3D, por ejemplo, en una aplicación gráfica, se debe generar una descripción de la superficie, por lo general una malla poligonal. Un algoritmo utilizado a menudo es el algoritmo de *marching cubes*, descrito en las patentes. 4,710,876, 4,719,585, 4,885,688 y en <http://www.exaflop.org/docs/marchcubes/ind.html>, que crea una iso- superficie de un conjunto de datos volumétricos, estando la iso-superficie formada por triángulos contiguos que tienen vértices situados en puntos medios de los bordes de vóxel. Puesto que los procedimientos mencionados de forma a partir de silueta calculan vóxeles binarios, las superficies 3D generadas a partir de aquellos que utilizan el algoritmo *marching cube* tienen mucho ruido. Este ruido se introduce debido a la discretización espacial de las representaciones volumétricas. Es decir, que los datos reales de la forma real del objeto se pierden durante el procesamiento del algoritmo.

40 **[0007]** Una mejora sobre la técnica anterior se describe en la Patente Británica del mismo solicitante con Número de publicación 2 399 703, que da a conocer la combinación de datos vóxel con los datos obtenidos mediante la proyección de conjuntos de líneas en representaciones bidimensionales de un objeto de 3 dimensiones. Los datos combinados se utilizan a continuación en el algoritmo de *marching cubes* de tal manera que la posición de los vértices de los triángulo de la iso-superficie generados se colocan con mayor precisión sobre los respectivos bordes de vóxel. Si bien este procedimiento mejorado es útil, tiende a utilizar en gran medida la potencia de procesamiento disponible.

55 **[0008]** El artículo de M. Magnor titulado "*Spacetimecoherent geometry reconstruction from multiple video streams*" publicado el 6 de septiembre de 2004 se refiere a la modelización de objetos 3D a partir de un conjunto de imágenes 2D tomadas desde diferentes puntos de vista. La intersección entre las siluetas y el espacio 3D, dividida en vóxeles, se realiza con precisión sub-vóxel para obtener un modelo 3D. En este artículo, se le asigna a un vóxel un número de puntos muestreados uniformemente y estos puntos se proyectan sobre cada imagen 2D y se determina el porcentaje de puntos muestreados cuyas proyecciones coinciden con cada imagen 2D.

60 **[0009]** Otro problema con reconstrucciones volumétricas a partir de imágenes de la silueta es la de los vóxeles redundantes que se producen debido a los errores de aproximación en la representación volumétrica 3D reconstruida cuando se utiliza un pequeño número de cámaras. La reconstrucción es siempre más grande que el objeto real. Este error se agrava en la reconstrucción de representaciones volumétricas de objetos en movimiento.

Cuando un objeto se mueve, los bordes formados por dos vistas de cámara adyacentes se mueven relativamente sobre el objeto, lo que resulta en una reconstrucción que es visiblemente bastante molesta para el espectador. Es un objeto de al menos una de las formas de realización preferidas de la presente invención superar o mejorar al menos una de las desventajas de la técnica anterior.

5 [0010] De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento para proporcionar una representación volumétrica de un objeto de tres dimensiones según la reivindicación 1.

10 [0011] Un ejemplo que no forma parte de la invención proporciona un procedimiento para proporcionar una representación volumétrica de un objeto de tres dimensiones, en el que un espacio tridimensional está compuesto por una pluralidad de vóxeles, y en el que los vóxeles se clasifican como de primer plano o de fondo según al menos una imagen de silueta del objeto, comprendiendo el procedimiento submuestrear dicha al menos una imagen de silueta y comparar una proyección de al menos un vóxel con dicha imagen submuestreada para clasificar dicho vóxel.

15 [0012] Un ejemplo que no forma parte de la invención proporciona un procedimiento para proporcionar una representación volumétrica de un objeto de tres dimensiones como la intersección de conos generalizados de al menos una imagen de silueta de este objeto, comprendiendo el procedimiento eliminar selectivamente volumen de la representación en función de la geometría de las intersecciones de los conos generalizados.

20 [0013] Según un ejemplo que no forma parte de la invención se proporciona un procedimiento para proporcionar una representación volumétrica de un objeto de tres dimensiones, en el que un espacio tridimensional comprende una pluralidad de vóxeles, y en el que los vóxeles se clasifican como de primer plano o de fondo según al menos una imagen de silueta del objeto, comprendiendo el procedimiento representar el objeto durante un período de tiempo como un modelo 4D que define una hipersuperficie. Se puede aplicar entonces un operador de suavizado a dicha hipersuperficie 4D.

25 [0014] Como se apreciará por la persona experta en la técnica, un vóxel se define generalmente a lo largo de ejes ortogonales, típicamente de un cubo, sin embargo, se apreciará que para diferentes aplicaciones de la invención, los vóxeles utilizados pueden ser de una o más formas diferentes, tales como prisma rectangular, tetraedro, romboidal o de otro poliedro tridimensional que sea capaz de formar parte de una matriz en la que las formas adyacentes comparten bordes adyacentes. Para los propósitos de la descripción, a menos que se defina lo contrario, el término vóxel, por lo tanto, no ha de limitarse a ninguna forma en particular.

30 [0015] A continuación se describirán realizaciones preferidas de la invención, a modo de ejemplos solamente y donde los números de referencia similares denotan partes similares, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

35 La figura 1 es una vista en perspectiva de una persona que posa para un proceso de la técnica anterior de imagen *chroma-key* que se utiliza con las realizaciones de la presente invención;

40 La figura 2 es la imagen *chroma-key* que resulta de los procesos involucrados en la figura 1;

La figura 3 es una vista en perspectiva que representa una disposición típica de estudio;

La figura 4 es una matriz de elementos de imagen volumétrica (vóxeles);

45 La figuras 5 y 6 ilustran etapas de formas de realización preferidas de la presente invención, donde un solo vóxel dividido en octantes, que ilustra la huella de un octante que se proyecta en una representación 2D;

La figura 7 es una pirámide de resolución de imagen de acuerdo con una realización alternativa de la presente invención;

La figuras 8 y 9 ilustran un procedimiento de aproximación de acuerdo con otra forma de realización alternativa de la presente invención; y

50 La figuras 10 y 11 ilustran un procedimiento de aproximación de una polilínea a una representación volumétrica 3D.

[0016] Una forma de realización preferida de la presente invención comprende un procedimiento para proporcionar una representación volumétrica de un objeto de tres dimensiones. Haciendo referencia a las figuras 1 y 2, el objeto tiene la forma de una persona 10. Por supuesto, el objeto no se limita a las personas, sino que puede ser cualquier objeto dentro de lo razonable. El procedimiento comprende varias etapas. La primera etapa incluye la obtención de dos representaciones bidimensionales (2D) binarias o imágenes de la silueta 12, del objeto 10, utilizando una cámara y técnicas de *chroma key* convencionales. En una forma de realización, esto se consigue usando un sistema de estudio multi-cámara con parámetros de cámara conocidos, tal como se describe en nuestra solicitud GB 0220972.4. Por ejemplo, la figura 2 ilustra una representación *chromakey* de una vista del objeto 10 en frente de un fondo retro-reflectante 14 que se ilustra en la figura 1. En la forma de realización de la invención que se describe a continuación, dos representaciones 2D del objeto se obtienen a partir de *chroma-keying*, que representan diferentes vistas laterales del objeto. Sin embargo, en realizaciones alternativas, el procedimiento puede basarse en más de dos imágenes, tales como diez o más. Cuando se pueden emplear condicionantes alternativos, puede ser posible utilizar una única imagen.

65

[0017] Una técnica tal como forma a partir de silueta, tal como se describe en "W. Niem, 'Robust and fast modelling of 3D natural objects from multiple views', SPIE Proceedings, Image and Video Processing II, Vol 2182, pp 88-397, San José, Febrero 1994" es particularmente adecuada para la reconstrucción 3D en esta aplicación. También se pueden utilizar técnicas alternativas. Por ejemplo, para aplicaciones tales como la fotografía 3D con objetos estáticos, se puede utilizar un menor número de cámaras (o sólo una cámara) tomando varias fotografías del objeto ya sea fijando la cámara y girando el objeto sobre una mesa giratoria o moviendo la cámara alrededor del objeto. En este último caso, se necesita un sistema de seguimiento que da los parámetros de la cámara. Un sistema adecuado para esto se describe en el documento GB-A-2325807.

[0018] Haciendo referencia en particular a la figura 3, se ilustra un ejemplo de un sistema de estudio multi-cámara con parámetros conocidos. Los detalles de estos componentes se describen en los documentos GB 2325807, GB 2321814 y la solicitud de patente UK número 0.206.214,9, cuyas descripciones se incorporan aquí como referencia.

[0019] El sistema representado en la figura 3 utiliza múltiples cámaras y técnicas de *chroma-key* para calcular un modelo 3D de un actor 10. Unas cámaras de estudio 16 están dispuestas para tomar imágenes de la escena, que incluyen: al menos una cámara fija modificada 16a con un iluminador que comprende un anillo de LEDs azules para iluminar el objeto a partir de la dirección de la cámara para que el fondo retro-reflectante 14 refleje la luz de nuevo hacia la cámara, y una cámara 16b modificada de manera similar con un sistema de seguimiento.

[0020] Una realización de la invención emplea el algoritmo de *marching cubes* antes mencionado, para determinar una representación volumétrica del objeto. Para utilizar el algoritmo de *marching cubes*, se requiere un *octree* correspondiente al objeto. Un *octree* es una estructura jerárquica de datos que divide un volumen, tal como un voxel, en ocho octantes, y así sucesivamente. La resolución de la representación volumétrica determinada depende de la resolución de los datos *octree*.

[0021] El algoritmo de *marching cubes* utiliza una matriz de vóxeles en un espacio definido que está predeterminado para ajustar el objeto en su interior. Un ejemplo de una matriz de voxel 18 se ilustra en la figura 4, donde ocho vértices 20 definen cada voxel 22. A su vez, cada par de vértices adyacente 20 define un borde de voxel 24 entre estos. Entonces se determina en cuál de los vóxeles 22 está presente el objeto 10, y a través de que vóxeles pasa un borde del objeto 10. Para el propósito de la descripción, estos últimos vóxeles se denominan "vóxeles intersecados".

[0022] Entonces se compila una lista de los vóxeles intersecados y sus bordes intersecados (en términos de los vértices de voxel 20 que definen el borde de voxel respectivo 24). Estos datos se ejecutan mediante el resto del algoritmo de *marching cubes*, que asume en primer lugar que el borde del objeto pasa a través de un punto medio 26 del borde del voxel 24, y luego busca en una tabla de consulta de quince variaciones de los triángulos que tienen sus vértices en los puntos medios del borde del voxel 26 entre los vértices de voxel adyacentes y asigna uno o dos triángulos adecuados al voxel intersecado dado. Aunque el borde del objeto pueda tener bordes intersecados en cualquier punto a lo largo de los bordes, el algoritmo de *marching cubes* estándar asigna a este voxel un triángulo (no mostrado) con vértices en los puntos medios de borde 26.

[0023] A continuación se describe un procedimiento iterativo conocido para la obtención de datos *octree* de resolución mayor. En primer lugar, un conjunto de vóxeles se proyecta en las imágenes de la silueta. Cada voxel no intersecado se ignora en relación con el espacio de fondo, y se establece como "falso". Cada voxel intersecado se considera parte del primer plano, establecido como "verdadero", y se subdivide en ocho subvóxeles u octantes. Cada octante no intersecado se establece entonces como "falso", mientras que cada octante intersecado se establece como "verdadero" y luego se subdivide a su vez y así sucesivamente hasta un número predeterminado de iteraciones, o nivel máximo L_{max} que en general se predeterminará para obtener una resolución de la imagen resultante deseada, o por lo menos limitada por la cantidad de datos adquiridos que se pueden procesar adecuadamente. En esta reconstrucción basada en *octree* convencional, el valor de un voxel puede ser "verdadero" o "falso", lo que da el error de cuantificación conocido en la descripción de la superficie a partir del algoritmo de *marching cubes*.

[0024] En una realización de la presente invención, una vez que se ha alcanzado L_{max} , los octantes restantes se subdividen en ocho partes iguales hasta un número predeterminado L_{ss} de niveles, y la suma de la cantidad de porciones voxel subdivididas "verdaderas" se asignan a los octantes restantes. Esto está representado por la siguiente ecuación:

$$V_{o_i} = \sum_{j=1}^{L_{ss}} \sum_{k=0}^7 V_{o_i}(j,k)$$

Entonces V_{o_i} se normaliza en el rango de 0 a 1, para su uso con el algoritmo de *marching cubes*:

$$V'_{o_i} = V_{o_i} / (8^{L_{max}})$$

[0025] Esta parte fraccionaria, es por lo tanto más representativa de la cantidad del octante en L_{max} a través del cual pasa la imagen, que un valor verdadero o falso (1 o 0, respectivamente). Esta información adicional puede ser utilizada en el algoritmo de *marching cubes* para producir una estimación más precisa de la superficie de un objeto.

[0026] Hay un límite para el número de niveles útiles, que se pueden utilizar en un *octree*, ya que no hay más información disponible si la huella de la porción subdividida proyectada sobre la imagen de entrada es menor que un píxel en esta imagen. Por lo tanto, el algoritmo de la invención se puede implementar de manera adaptativa. En una realización, si se alcanza el límite útil descrito anteriormente antes de que se hayan dividido todos los niveles L_{SS} , el algoritmo no intenta dividir más este octeto. En la práctica, para reducir la cantidad de cálculo requerido, L_{SS} es normalmente igual a 1.

[0027] A continuación se puede utilizar un algoritmo de *marching cubes* para calcular la representación volumétrica o iso-superficie del objeto. Puesto que la estructura está representada por un rango continuo de valores (en contraposición a una representación binaria) se puede emplear un algoritmo de *marching cubes* donde la superficie está definida por un umbral $V_{threshold}$. El umbral $V_{threshold}$ es por lo general la mitad el número de porciones divididas, es decir, $V_{threshold} = 0,5$. Este procedimiento modificado proporciona una representación más precisa del objeto que el procedimiento de *marching cubes* estándar.

[0028] A continuación se describirá un ejemplo de realización con referencia a las figuras 4 a 6. La figura 4 ilustra una matriz 18 de vóxeles 22 en forma de cubo. En la figura 5, se ilustra un vóxel 22a a través del cual pasa una superficie de una imagen 12'. Por lo tanto, se subdivide el vóxel 22a en octantes 28, de los cuales uno 28a se proyecta a continuación en la imagen 12'. La forma, o "huella", de octante 28a tal como se proyecta en la imagen 12' está indicado como 30. Si en este punto no se ha alcanzado L_{max} , ya que la imagen pasa a través del octante 28a, el octante 28a se subdivide a su vez tal como se ha explicado anteriormente. Por supuesto, al mismo tiempo, se consideraría en cuál de los octantes pasa una segunda imagen de silueta (no mostrada). Sólo aquellos octantes para los que todas las imágenes pasan se consideran verdaderos.

[0029] A continuación se describirá un ejemplo de realización con referencia a las figuras 4 a 6. La figura 4 ilustra una matriz 18 de vóxeles 22 en forma de cubo. En la figura 5, se ilustra un vóxel 22a a través del cual pasa una superficie de una imagen 12'. Por lo tanto, se subdivide el vóxel 22a en octantes 28, de los cuales uno 28a se proyecta a continuación en la imagen 12'. La forma, o "huella", de octante 28a tal como se proyecta en la imagen 12' está indicado como 30. Si en este punto no se ha alcanzado L_{max} , ya que la imagen pasa a través del octante 28a, el octante 28a se subdivide a su vez tal como se ha explicado anteriormente. Por supuesto, al mismo tiempo, se consideraría en cuál de los octantes pasa una segunda imagen de silueta (no mostrada). Sólo aquellos octantes para los que todas las imágenes pasan se consideran como verdaderos.

[0030] La presente forma de realización permite una representación volumétrica más precisa de un objeto, sin la necesidad de aumentar $L_{máx}$. El uso del valor de V_{O_i} en el algoritmo de *marching cubes* en lugar de aumentar L_{max} requiere relativamente menos tiempo de procesamiento.

[0031] En una realización alternativa de la presente invención, las huellas de cada vóxel verdadero u octante proyectado en las imágenes de la silueta se considerados una vez que se ha alcanzado L_{max} . En la realización que se ha explicado anteriormente, los octantes verdaderos en el nivel L_{max} se subdividen en niveles L_{SS} , y se calcula un valor fraccionario para los verdaderos octantes. En esta forma de realización, se calcula un valor fraccionario para un octante "verdadero" contando el número de píxeles de la imagen que están delimitados por una huella de este octante como una fracción del número total posible de píxeles delimitados por la huella. Por ejemplo, en la figura 5, la porción sombreada 32 representa el número de píxeles delimitados por la huella 30 que corresponde a un vóxel 28a. Se calcula la fracción decimal del número de píxeles en la parte 32 dividido por el número total posible de píxeles delimitados por la huella 30 y luego se asigna a ese vóxel. No es necesario calcular la huella exacta, y en su lugar podría utilizarse una aproximación, tal como un cuadro delimitador para reducir la complejidad computacional a expensas de la precisión. Estos datos se emplean entonces en el algoritmo de *marching cubes* tal como se describió anteriormente con referencia a la realización anterior.

[0032] Un ejemplo que no forma parte de la invención también emplea un algoritmo para proporcionar una representación volumétrica de un objeto, siendo el algoritmo preferentemente el algoritmo de *marching cubes*. En esta forma de realización, antes de la proyección de vóxeles en las imágenes, o viceversa, se reduce la resolución de la imagen en una cantidad predeterminada, por ejemplo, mediante submuestreo. Un ejemplo de esta forma de realización se ilustra en la figura 7. Para este ejemplo, el factor de reducción es 16 y se consigue en dos etapas. Esto se consigue realizando primero el submuestreo de la imagen 12a por un factor de dos en ambas direcciones x e y. Por lo tanto, cada píxel en la imagen reducida 12a' contiene una suma de los píxeles de la región 2x2 asociada de la imagen original 12a. La imagen reducida 12a' se submuestra entonces además por un factor de dos en ambas direcciones x e y. Cada píxel de la imagen aún más reducida 12a'' contiene la suma de los píxeles de la

región 2x2 asociada de la imagen reducida 12a '. Las técnicas para la realización de estos submuestreos son bien conocidas, y se puede emplear cualquier técnica apropiada.

5 **[0033]** La información que describe las tres imágenes 12a, 12a 'y 12a "y su relación entre sí se mantiene en una tabla de búsqueda de una "pirámide "de las imágenes. Entonces se pueden proyectar los Vóxeles y octantes en la imagen de una resolución seleccionada con el fin de verificar los octantes "verdaderos". Al evaluar una huella para determinar la presencia de píxeles de la imagen, es conveniente utilizar una imagen con una resolución menor ya que esto requiere acceder a menos píxeles. Adecuadamente, para un octante de un cierto tamaño, o en un cierto nivel se selecciona una imagen que tiene un nivel correspondiente, es decir que se pueden proyectar vóxeles "gruesos" en imágenes de menor resolución y sin una reducción sustancial en la precisión. Se puede acceder a imágenes de mayor resolución a medida que un algoritmo pasa a través de los subsiguientes niveles de octeto. Como será evidente para el experto en la materia, el tiempo necesario para reunir datos de píxeles verdaderos puede disminuirse usando este procedimiento.

15 **[0034]** En disposiciones alternativas de esta forma de realización, la pirámide puede incluir niveles adicionales de imágenes aún más reducidos, o niveles en los que las imágenes se reducen en diferentes cantidades, tales como 0,5 o 3, por ejemplo. Por otra parte, si la resolución deseada de la representación volumétrica reconstruida es menor que la que se obtendría utilizando píxeles de la imagen original, el algoritmo se podría ajustar para acceder a datos de imagen reducida desde dentro de la pirámide.

20 **[0035]** Un ejemplo que no forma parte de la invención considera el problema de vóxeles redundantes, que pueden ocurrir debido a errores de aproximación en la representación volumétrica 3D reconstruida. Estos errores son típicamente mayores cuando se utiliza un número reducido de cámaras. Por ejemplo, las zonas rayadas 34 ilustradas en la figura 8 indican el error de aproximación de un objeto reconstruido a partir de sólo dos cámaras 36 y 38. Una reconstrucción teóricamente exacta del objeto se indica en 40. Sin embargo, en combinación con las zonas rayadas 34, el algoritmo de *marching cubes* devuelve una aproximación limitada por las líneas 42 a 45. Estas líneas representan superficies en el modelo 3D y se hará referencia a unas líneas de corte o superficies de corte, según proceda.

30 **[0036]** Tal como se ha mencionado anteriormente en relación con la técnica anterior, se agrava este error al reconstruir representaciones volumétricas de objetos en movimiento, tal como se indica por líneas de puntos 46 en la figura 8. Aunque no es posible reconstruir la forma exacta del objeto con técnicas de forma a partir de silueta, esta realización emplea un algoritmo basado en el modelo de que es posible eliminar los vóxeles en las zonas rayadas 34 sobre una base heurística.

35 **[0037]** En este aspecto de la invención, los vóxeles que se consideran como redundantes se eliminan de un objeto reconstruido, a partir de un número de parámetros relacionados con las líneas o superficies de corte. Haciendo referencia a la figura 9, los vóxeles se eliminan adecuadamente preferentemente en las intersecciones de la línea de corte 48, 50, 52 y 54, y adyacentes a las líneas de corte.

40 **[0038]** Un primer parámetro es la longitud de la línea de corte. Cuanto más larga sea la línea de corte, mayor será el volumen que se elimina (o el número de vóxeles que se eliminan). Un segundo parámetro relacionado es la distancia de un vóxel desde la intersección de la línea de corte o las superficies de corte. Se eliminan preferentemente las regiones que están más cerca de las intersecciones. Un tercer parámetro es el ángulo de intersección de dos superficies de corte. Se elimina un mayor volumen en las intersecciones que tienen ángulos más agudos.

45 **[0039]** Por lo tanto, el número de vóxeles eliminados en puntos de intersección o adyacentes a estos tenderá a aumentar proporcionalmente con el aumento de la longitud del borde. El número de vóxeles eliminados en puntos de intersección o adyacentes a estos tenderá a aumentar proporcionalmente con el ángulo decreciente entre bordes adyacentes, y, en la región adyacente al punto de intersección, se tenderá a eliminar más vóxeles más cerca del borde que lejos del borde. Estas consideraciones reflejan la suposición en este modelo de que los objetos más naturales tienen bordes mas redondeado que cuadrados.

50 **[0040]** Algunas realizaciones de la invención utilizan combinaciones de funciones de dichos parámetros para definir algoritmos para la eliminación de los vóxeles. Además de los datos de vóxel, se almacenan de manera deseable otros datos relativos a las superficies de corte. Esta información puede incluir qué cámaras se asocian con determinadas superficies cortadas.

55 **[0041]** En el ejemplo ilustrado en la figura 9, 56 indica la reconstrucción aproximada del objeto. Como se ilustra, el ángulo de intersección 52 es menor que el ángulo de intersección 48, y los bordes 43 y 44 son más largos que las porciones delimitantes de los bordes 42 y 45. Por lo tanto, se establecieron más vóxeles como verdaderos en intersección o adyacente a esta 52 en comparación con la intersección 48, lo cual se indica por el hecho de que el área sombreada (eliminada) 34 ' ses mayor que el área sombreada (eliminada) 34 ". Por lo tanto, la reconstrucción resultante 56 del objeto es más precisa que la reconstrucción obtenida por procedimientos conocidos, y delimitada por las líneas 42 a 45.

[0042] Un ejemplo adicional se ilustra en las Figuras 10 y 11. Haciendo referencia a la figura 10, se muestra parte de una superficie de un objeto reconstruido que comprende superficies de corte 702, 704, 706 y 708. Estas superficies de corte formarán un ángulo entre sí, y definen bordes de la superficie, o intersecciones, por ejemplo, el borde 710. Se calcula la distancia de cada elemento en una superficie de corte hasta el borde más cercano con otra superficie de corte. Por lo tanto, se crea una función de la distancia a través de la superficie, y esta función de la distancia presentará máximos locales o puntos de inflexión, como en 712 y 714. Haciendo referencia ahora a la figura 11, se muestra una vista en 2D de una "cadena" de superficies de corte. Los máximos locales o discontinuidades de la función de distancia descrita anteriormente se indican en los puntos 802, 804 y 806. Se crea una función *spline* 810 en estos puntos, y se eliminan los vóxeles que están fuera de la función *spline*.

[0043] Además, se pueden aplicar mapas de textura a los resultados de las formas de realización anteriormente descritas de la presente invención para hacer una representación más realista de un objeto.

[0044] Un ejemplo que no forma parte de la invención se refiere al uso de la información temporal para mejorar la reconstrucción de formas. Se ha reconocido que en muchas aplicaciones hay propiedades del objeto 3D que no varían sustancialmente con el tiempo. En particular, el volumen de la mayoría de los objetos permanece aproximadamente constante. Algunas realizaciones de este aspecto de la invención hacen uso de estas propiedades mediante la producción de una reconstrucción durante un período de tiempo, reconstrucción que puede ser limitada u optimizada para que sea temporalmente coherente, en lugar de computar de forma independiente una reconstrucción en cada instante de tiempo. De este modo se tiene en cuenta la superficie del objeto con el tiempo, es decir, en el espacio 4D. Una superficie en 4D es una hiper-superficie.

[0045] El problema de reconstrucción se puede formular como una optimización de la hiper superficie. En "M. Magnor y B. Goldluecke, *Spacetime-coherent Geometry Reconstruction from Multiple Video Streams, in Proc. 3D Data Processing, Visualización, y Transmisión (3DPVT'04), Thessaloniki, Greece*" se describe un enfoque que calcula una hiper superficie consistente con las foto utilizando una evolución de conjunto de niveles.

[0046] En algunas realizaciones de la presente invención se aplica un operador de suavizado a esta hiper-superficie, que puede ser implementado de manera más eficiente que una evolución de conjunto de niveles. El suavizado es capaz de eliminar artefactos y en algunos casos vóxeles redundantes. El operador de suavizado puede tener en cuenta el hecho de que el objeto no varía (mucho) en volumen.

[0047] Es deseable usar un árbol 16 para almacenar los datos. Un árbol 16-se define en 4D y es la generalización de un *octree*, que se define en 3D. La cantidad de memoria necesaria para esta representación es proporcional a la superficie y el movimiento del objeto.

[0048] Muchas de las formas de realización anteriormente descritas emplean el algoritmo de *marching cubes*. Como se apreciará por las personas expertas en la técnica, pueden ser utilizados otros algoritmos, o procedimientos para obtener la representación volumétrica aproximada del objeto en realizaciones alternativas. Por ejemplo, se puede utilizar un procedimiento de *marching triangles* ("*Marching Triangles: Range Image Fusion for Complex Object Modelling*" Hilton, 1., Stoddart, A.J., Ilingworth, J. y Windeatt, T. IEEE 1996 International Conference on Image Processing').

[0049] Aunque la presente invención se ha descrito en sus realizaciones preferidas, ha de entenderse que las palabras que se han utilizado son palabras de descripción en lugar de limitación y que se pueden hacer cambios a la invención sin apartarse de su alcance tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

[0050] Cada característica descrita en esta descripción (término que incluye las reivindicaciones) y / o mostrada en los dibujos puede ser incorporada en la invención independientemente de otras características descritas y / o ilustradas.

[0051] El texto del resumen presentado conjuntamente se repite aquí como parte de la descripción.

[0052] La invención proporciona un procedimiento para proporcionar una representación volumétrica de un objeto de tres dimensiones. En primer lugar, se obtienen al menos dos representaciones bidimensionales (2D) del objeto, preferiblemente por un proceso *chroma key*. Se proyecta entonces un conjunto de vóxeles en las representaciones en 2D y se determina con cuál de los vóxeles o partes de ellos se cruzan las representaciones en 2D. Para cada vóxel o porciones de estos con los que se cruzan las representaciones 2D, se determinan unos datos que representan una proporción, o fracción, de cada vóxel o porción del mismo que se cruza con cada representación 2D. Estos datos se aplican a un algoritmo *marching cubes* para proporcionar la representación volumétrica. Se dan varios ejemplos para determinar la proporción, o fracción, de cada vóxel o porción del mismo que se cruza con cada representación 2D. Los ejemplos se basan en cualquiera de las fracciones volumétricas, o fracciones de píxel.

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Procedimiento para proporcionar una representación volumétrica de un objeto de tres dimensiones, en el que una pluralidad de vóxeles se definen en un espacio tridimensional, y en el que los vóxeles se clasifican como de primer plano o de fondo según al menos una imagen de silueta del objeto, estando asignados los vóxeles de primer plano a un primer valor binario, y estando asignados los vóxeles de fondo a un segundo valor binario, comprendiendo el procedimiento asignar a al menos algunos vóxeles un valor intermedio entre dichos valor binarios primero y segundo, en el que el valor intermedio está basado en una estimación del ratio entre el primer plano y el fondo contenidos dentro de dicho vóxel; y **caracterizado por el hecho de que** dicha estimación se deriva proyectando dicho vóxel sobre dicha imagen de silueta, asignando zonas de dicha proyección como de primer plano o de fondo, y tomando una ratio de zonas.
- 10
- 2.** Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los vóxeles se definen mediante un algoritmo de división recurrente.
- 15
- 3.** Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos valores intermedios se utilizan mediante un algoritmo “*marching cubes*” para producir una superficie 3D.
- 4.** Sistema para proporcionar una representación volumétrica de un objeto de tres dimensiones adaptado para realizar el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 20
- 5.** Un programa de ordenador o producto de programa de ordenador para proporcionar una representación volumétrica de un objeto tridimensional que comprende medios para realizar el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3.
- 25

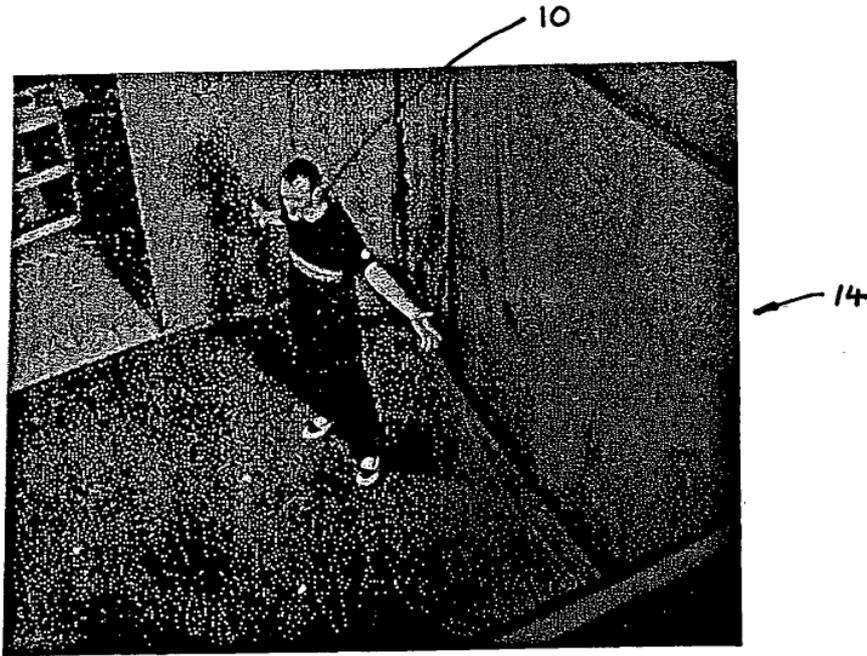


Figura 1

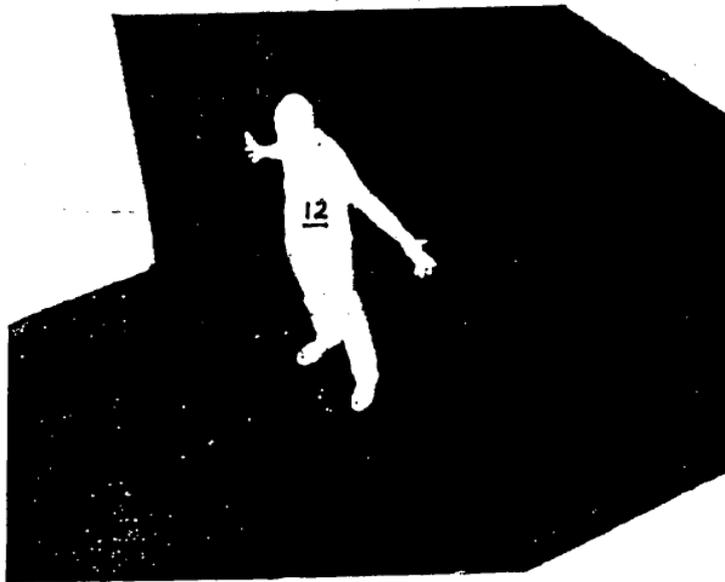


Figura 2

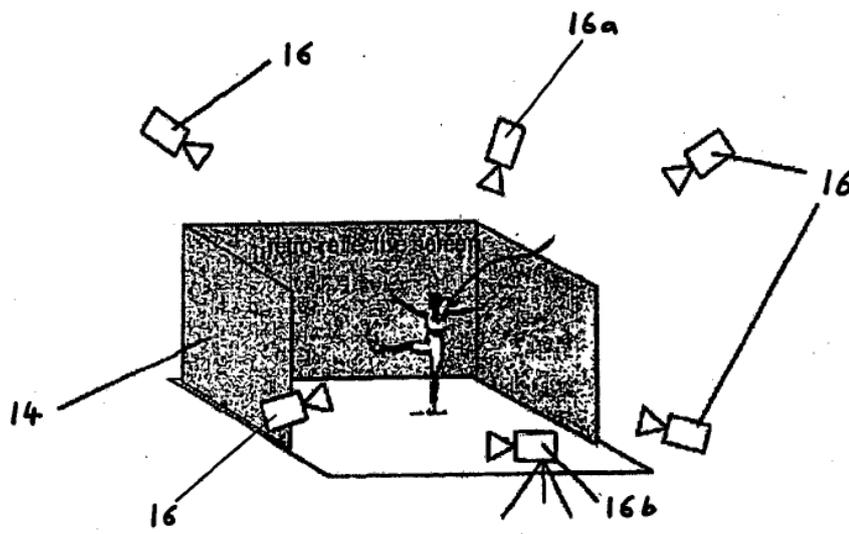


Figura 3

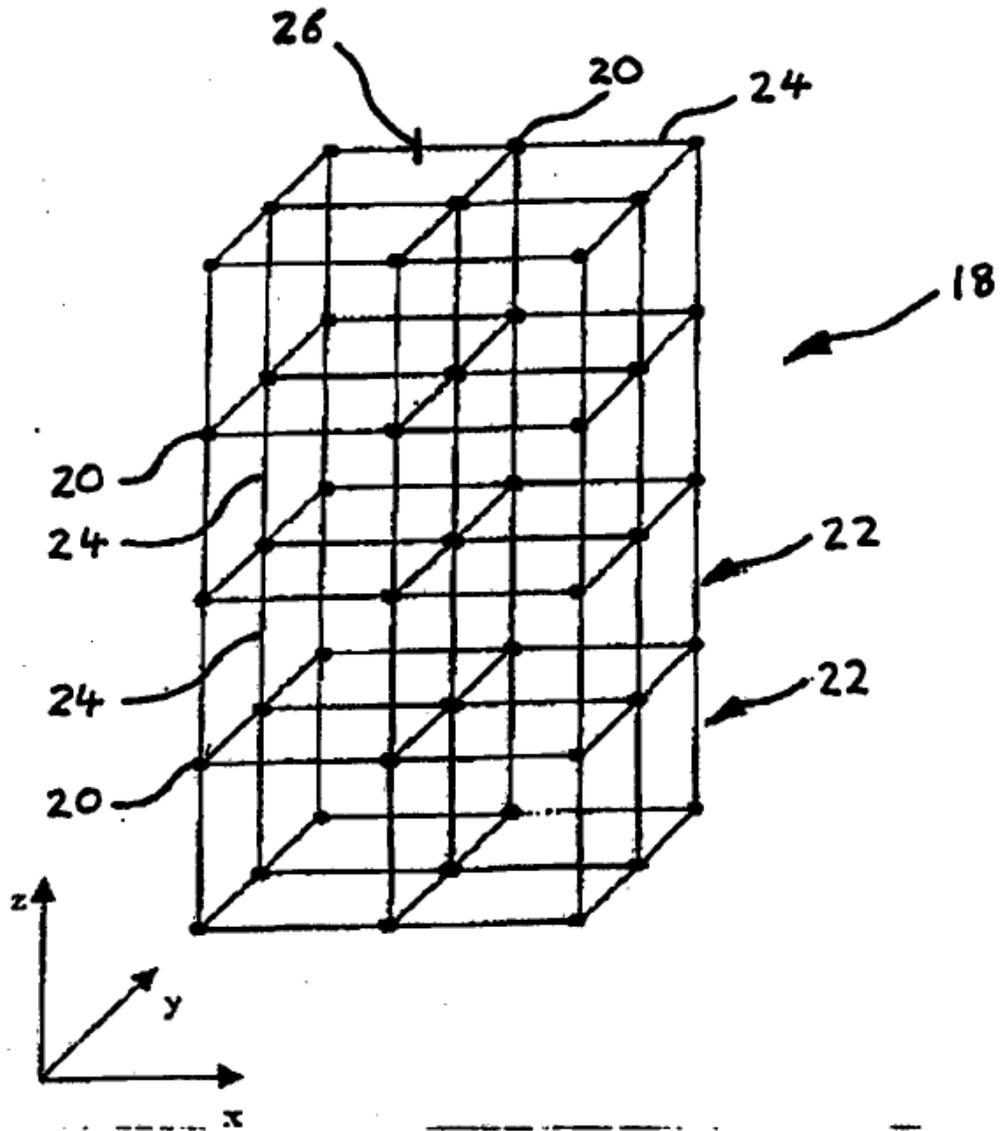


Figura 4

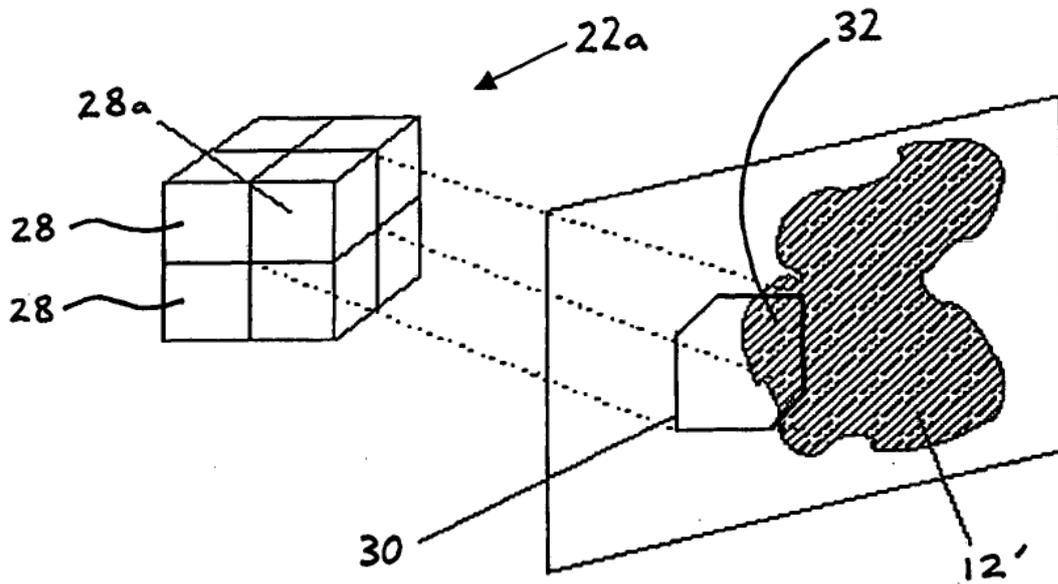


Figura 5

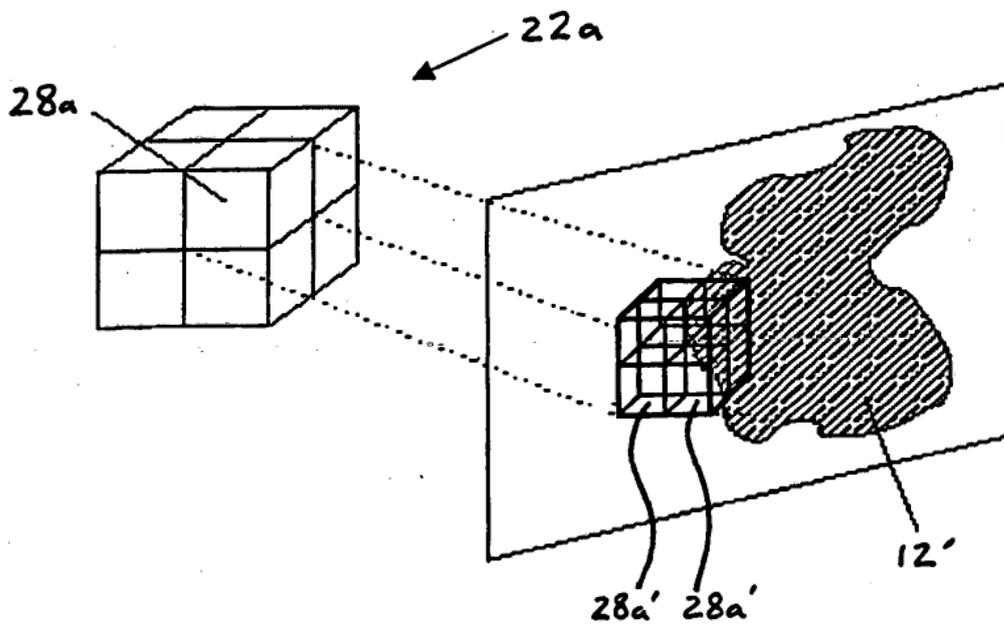


Figura 6

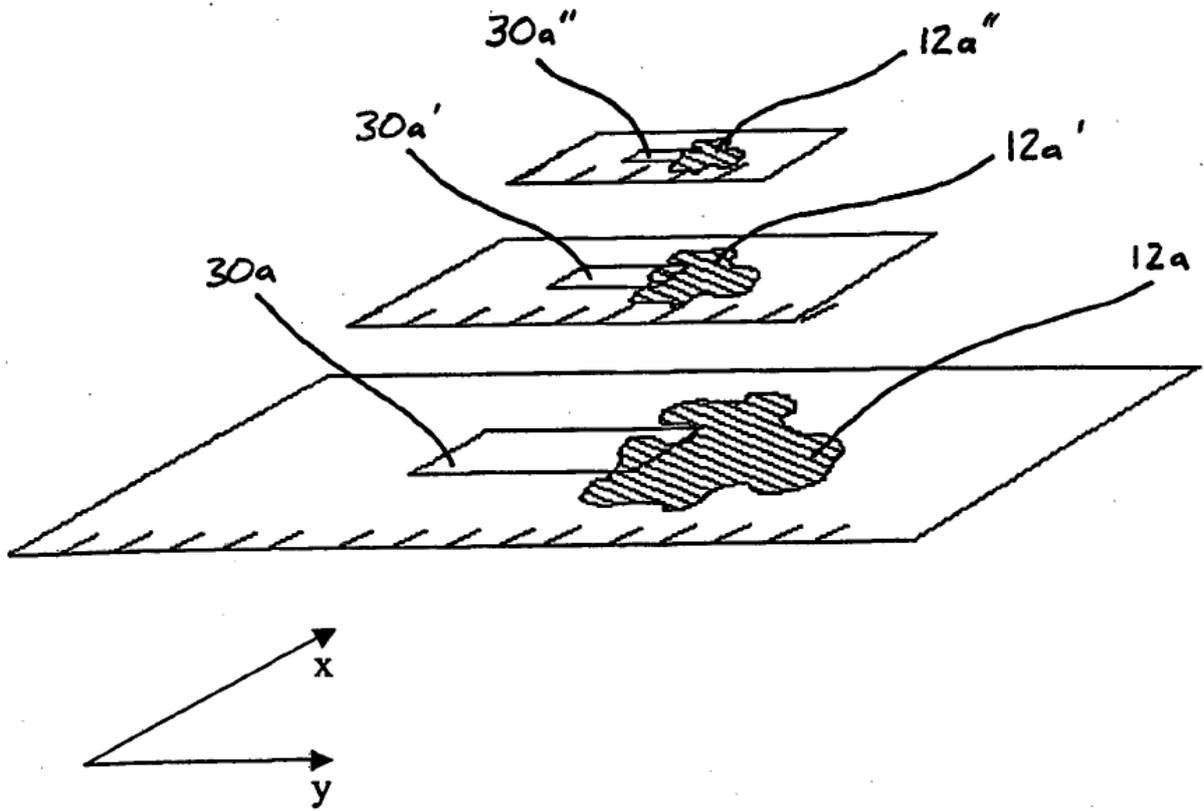


Figura 7

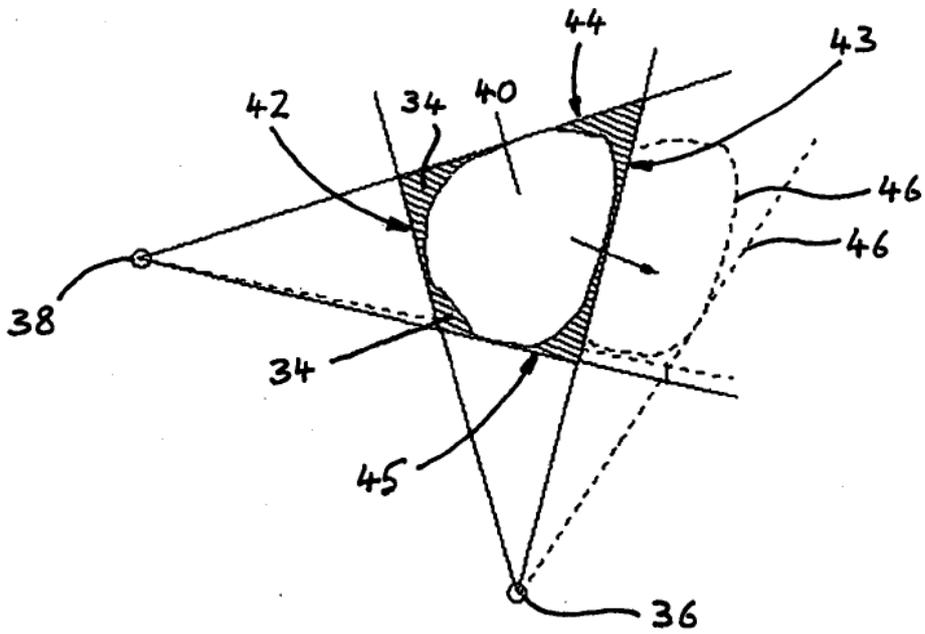


Figura 8

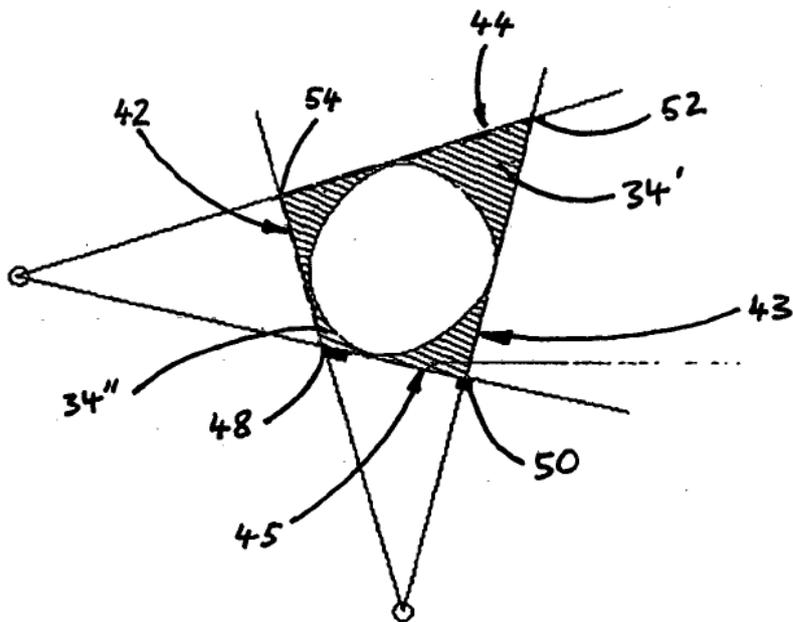


Figura 9

