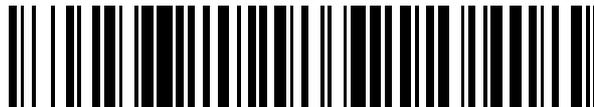


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 622 406**

51 Int. Cl.:

G09G 5/00 (2006.01)

G06T 15/50 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.11.2006 PCT/US2006/045389**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.05.2007 WO07062209**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.11.2006 E 06838384 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.01.2017 EP 1958185**

54 Título: **Métodos y aparatos para determinar datos de muestreo de alta calidad a partir de datos de muestreo de baja calidad**

30 Prioridad:

23.11.2005 US 739276 P
25.01.2006 US 762285 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.07.2017

73 Titular/es:

PIXAR (100.0%)
1200 PARK AVENUE
EMERYVILLE, CA 94608, US

72 Inventor/es:

ANDERSON, JOHN y
MEYER, MARK

74 Agente/Representante:

RIZZO, Sergio

ES 2 622 406 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

Métodos y aparatos para determinar datos de muestreo de alta calidad a partir de datos de muestreo de baja calidad

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

5 **[0001]** La presente invención se refiere a animación por ordenador. Más concretamente, la presente invención se refiere a métodos y aparatos para la filtración de efectos de iluminación para animación por ordenador.

10 **[0002]** A lo largo de los años, los productores cinematográficos han tratado de contar historias que contenían criaturas de fantasía, lugares muy lejanos y elementos fantásticos. Para ello, normalmente se han apoyado en técnicas de animación para convertir la fantasía en "vida". Dos de las vías principales en animación incluyen tradicionalmente técnicas de animación basadas en dibujos y técnicas de animación *stop motion*.

15 **[0003]** En el siglo XX, productores cinematográficos como Walt Disney mejoraron las técnicas de animación basadas en dibujos y éstas se utilizaron en películas como *Blancanieves y los siete enanitos* (1937) y *Fantasia* (1940). Esta técnica de animación normalmente requería que los artistas dibujaran (o pintaran) imágenes animadas sobre soportes transparentes o papeles de calcar. Después de pintar, cada papel de calcar se solía capturar o grabar sobre película como uno o más fotogramas en una película.

20 **[0004]** Las técnicas de animación basadas en *stop motion* normalmente requerían la construcción de sets, decorados y personajes en miniatura. Los productores cinematográficos solían construir los sets, añadir decorados y ubicar los personajes en miniatura en una pose. Después de que el animador estuviera conforme con la forma en que todo estaba dispuesto, se tomaban uno o más fotogramas de película de dicha disposición específica. Cineastas como Willis O'Brien desarrollaron técnicas de animación *stop motion* para películas como *King Kong* (1933). Posteriormente, animadores como Ray Harryhausen mejoraron estas técnicas para películas que incluyen *El gran gorila* (1948) y *Furia de titanes* (1981).

25 **[0005]** Con la amplia disponibilidad de ordenadores en la última parte del siglo XX, los animadores empezaron a apoyarse en los ordenadores para asistir en el proceso de animación. Esto incluyó la utilización de ordenadores para facilitar la animación basada en dibujos, por ejemplo, mediante la pintura de imágenes, mediante la generación de imágenes intermedias ("*tweening*") y similares. Esto también incluyó la utilización de ordenadores para incrementar las técnicas de animación *stop motion*. Por ejemplo, los modelos físicos podrían estar representados mediante modelos virtuales en memoria de ordenador y manipulados.

30 **[0006]** Una de las empresas pioneras en el sector de la animación asistida por ordenador (CA, por sus siglas en inglés) fue Pixar. Se conoce mejor a Pixar como Pixar Animation Studios, los creadores de películas de animación como *Toy Story* (1995) y *Toy Story 2* (1999), *Bichos, una aventura en miniatura* (1998), *Monstruos, S.A.* (2001), *Buscando a Nemo* (2003), *Los increíbles* (2004) y otras. Además de crear películas de animación, Pixar desarrolló plataformas informáticas diseñadas especialmente para CA y *software* CA, ahora conocido como RenderMan®. RenderMan® se acogió especialmente bien en el sector de la animación y fue reconocido con dos premios de la Academia (Academy Awards®). El *software* RenderMan® incluyó un "motor de renderizado" que "renderizaba" o convertía descripciones geométricas y/o matemáticas de objetos en datos de renderizado intermedios y/o en representaciones de imagen bidimensionales.

40 **[0007]** Uno de los enfoques más precisos y claros para determinar la iluminación global (incluidas la iluminación directa e indirecta) para el renderizado de escenas en gráficos por ordenador es con la técnica de trazado de rayos. En este método, un motor de renderizado proyecta un gran número de rayos desde fuentes de luz o puntos de superficie, o ambos, con el objetivo de calcular vías de transporte de luz y conectividad, incluidos los rebotes difusos entre los puntos de superficie y las luces.

45 **[0008]** Un inconveniente con las técnicas de trazado de rayos actuales es que es necesario proyectar un gran número de rayos con el fin de producir un valor exacto para la integral de caminos. Para las películas de animación, esto constituye una limitación especialmente grave debido a la lentitud de la técnica de trazado de rayos. Con el gran número de imágenes que se renderizan en una película de animación, el número total de operaciones de trazado de rayos es prohibitivamente alto.

50 **[0009]** Un inconveniente que detectaron los inventores es que la proyección de rayos es diferente para distintas imágenes renderizadas. En consecuencia, para las imágenes renderizadas que se reproducen a un usuario, pueden aparecer defectos de parpadeo o de zumbido inaceptables debido a los distintos puntos de muestreo

entre fotogramas. Dichos defectos pueden hacer que las superficies aparezcan como centelleantes, parpadeantes o animadas cuando dichas superficies deberían ser uniformes en apariencia.

5 **[0010]** Una técnica que puede utilizarse para abordar estos inconvenientes es incrementar en gran medida el número de rayos estocásticos proyectados para que se renderice cada imagen. En algunos ejemplos conocidos, el número de rayos proyectados por píxel puede ser del orden de 500 a 1000. Esta solución, sin embargo, requiere mucho tiempo e incrementa radicalmente el tiempo total de renderizado.

10 **[0011]** Las figuras 2A-E ilustran una serie de secuencias de pantallas en las que la iluminación indirecta cambia en función del tiempo. Más concretamente, las figuras 2A-E ilustran imágenes renderizadas trazadas con rayos de baja resolución de muestreo de una escena tridimensional que tiene elementos geométricos fijos donde una fuente de iluminación se mueve de forma circular con respecto al tiempo. En este ejemplo, el número de rayos proyectados por píxel es relativamente bajo, por ejemplo, 16 rayos/píxel, por lo tanto, como puede observarse en las figuras 2A-E, las imágenes resultantes 200-240 tienen considerables defectos de ruido y relacionados con el ruido. Por ejemplo, como se observa en las imágenes 200-220, las partes 310, 320, 325 que representan el suelo de la caja parecen muy granuladas o texturizadas, aunque el suelo de la caja debería ser liso o no texturizado.

15 De forma adicional, comparando detenidamente las imágenes 200-220, la textura aparente del suelo no es la misma entre las imágenes. Para un usuario que vea las imágenes 200-220 sucesivamente, como en una animación, el suelo parecerá "centellear" o "sisear".

20 **[0012]** Otro tipo de defecto relacionado con el ruido se observa en las imágenes 230 y 240. En la imagen 230, la parte 330 que representa la pared trasera tiene un patrón perceptible 340; y en la imagen 240, la parte 345 que representa la pared trasera también tiene un patrón perceptible 350. Estos patrones son normalmente diferentes. Los patrones perceptibles 330 y 340 son defectos de distracción en las imágenes 230 y 240. De forma adicional, como se ha analizado anteriormente, cuando las imágenes 230 y 240 se le muestran sucesivamente a un usuario, por ejemplo en forma de una animación, los patrones perceptibles 330 y 340 hacen que la pared trasera parezca "deslizarse" o fluctuar, aunque la pared trasera debería ser inmóvil. Dichos patrones suelen ser un resultado de las suposiciones hechas durante una operación de renderizado y suelen depender del motor de renderizado utilizado.

25

30 **[0013]** Otra técnica utilizada para abordar estos inconvenientes es mediante posprocesamiento de la imagen renderizada con un filtro de paso bajo. Un inconveniente para dichos procedimientos es que las características geométricas finas de un objeto, tales como las esquinas, los pliegues, el cabello, etc., se desdibujarán en la imagen renderizada. Como resultado, la imagen renderizada desdibujada parecerá apagada y no parecerá tan nítida o definida al público.

[0014] En consecuencia, se desean métodos mejorados y aparatos para imágenes renderizadas mejoradas sin los inconvenientes analizados anteriormente.

BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

35 **[0015]** La presente invención se refiere a animación por ordenador. Más concretamente, la presente invención se refiere a métodos y aparatos para incrementar la calidad de iluminación de imágenes generadas por ordenador.

40 **[0016]** La iluminación global proporciona pistas visuales importantes para una animación; sin embargo, su coste computacional limita su utilización en la práctica. En la exposición de la presente patente, se describen técnicas de fácil puesta en práctica para acelerar el cálculo de la iluminación indirecta para una secuencia animada mediante la utilización de técnica de trazado de rayos estocásticos. En diversos modos de realización, se calculan soluciones de iluminación global rápidas pero ruidosas mediante la utilización de un pequeño número de rayos de muestreo en cada ubicación de la muestra. Además, en diversos modos de realización, la variación de estas soluciones ruidosas a lo largo del tiempo se utiliza para crear una base suave. Finalmente, en diversos modos de realización, las soluciones ruidosas se proyectan en la base suave para producir una solución final. El fotograma de animación resultante ha reducido en gran medida el ruido espacial y temporal. Otro beneficio para diversos modos de realización incluye que estas técnicas no requieren cálculos intensivos y tienden a costar aproximadamente lo mismo que los cálculos de muestreo bajos y ruidosos.

45

50 **[0017]** Los modos de realización de la presente invención descritos en el presente documento representan técnicas novedosas para filtrar contribuciones de iluminación indirecta para imágenes generadas por ordenador. Las contribuciones indirectas se combinan con contribuciones de iluminación directa durante el proceso de renderizado para determinar las contribuciones de iluminación global. Con los modos de realización del presente modo de realización, la calidad de la iluminación global (y la iluminación indirecta) para imágenes renderizadas es mucho mayor que la que podía obtenerse anteriormente para el mismo número de proyección de rayos por

píxel. En otros modos de realización de la presente invención, la calidad de la iluminación de las imágenes renderizadas es la misma que la que se podía obtener anteriormente; no obstante, el número de proyección de rayos por píxel es menor. En consecuencia, el tiempo para renderizar y formar dichas imágenes se reduce en hasta diversos órdenes de magnitud para escenas de longitud razonable.

5 **[0018]** En modos de realización de la presente invención, se utilizan descriptores de escena para más de una escena para determinar datos de renderizado para una única escena. Matemáticamente, la relación puede representarse como: $R_i=f(r_1, r_2, r_3, \dots r_M)$, donde r_i representa un conjunto de datos de renderizado intermedios asociados al descriptor de escena $i = \{1 \dots M\}$, y R_i es un conjunto de datos de renderizado intermedios adicionales asociados al descriptor de escena $i = \{1 \dots M\}$. Como puede observarse, R_i es una función de los datos de renderizado intermedios asociados a más de una escena. En los ejemplos específicos, como se describirá y se ilustrará, en las figuras 2A-2E, $r_1, r_2, r_3, \dots r_M$ representan datos de renderizado intermedios ilustrados como imágenes de baja resolución de muestreo respectivamente determinadas a partir de descriptores de escena 1..M. Asimismo, la función f es la determinación de los modos de datos de renderizado intermedios "N" más fundamentales, por ejemplo, modos de iluminación, funciones base (p. ej., las figuras 5A-5E) a partir de datos renderizados intermedios: $r_1, r_2, r_3, \dots r_M$ y las ponderaciones de modo de iluminación específicas "N" para los respectivos descriptores de escena 1..M. Como se ilustra en las figuras 6A-6E, $R_1, R_2, R_3, \dots R_M$, representan datos renderizados intermedios adicionales ilustrados como imágenes de alta resolución de muestreo.

20 **[0019]** Diversos modos de realización de la presente invención incluyen métodos para determinar modos de datos de renderizado intermedios a partir de un número de renderizados iniciales de objetos tridimensionales. Los objetos tridimensionales se describen en una serie de descriptores de escena relacionados (descripciones). En un ejemplo, los datos de renderizado intermedios pueden ser una serie de imágenes renderizadas iniciales a partir de descriptores de escena que constituyen una toma, donde cada imagen renderizada inicial por sí sola puede contener niveles de ruido inaceptables (p. ej., imágenes en las que los píxeles tienen un número bajo de rayos proyectados por píxel). En diversos modos de realización, el método incluye la utilización de datos extraídos a partir de las imágenes renderizadas iniciales para determinar datos de renderizado intermedios adicionales o secundarios. Los datos de renderizado secundarios pueden ser datos de renderizado intermedios adicionales y/o una serie de imágenes renderizadas. En el ejemplo anterior, los datos de renderizado intermedios adicionales pueden ser una serie de imágenes renderizadas que tienen niveles de ruido aceptables (p. ej., imágenes en las que los píxeles tienen un número elevado de rayos proyectados por píxel).

30 **[0020]** En los modos de realización de la presente invención, descritos a continuación, el nivel de ruido de una serie de imágenes renderizadas secundarias puede ser aproximadamente equivalente al que se habría obtenido si el número de rayos proyectados de muestreo por píxel "M" se multiplicara por el número de descriptores de escena relacionados para renderizar "N" (p. ej., imágenes renderizadas N que se han de formar) en la serie de descriptores de escena relacionados (esto es, $M \times N$). Por ejemplo, en un caso en el que haya 100 descriptores de escena relacionados y el número de rayos proyectados por píxel sea 16, cada imagen renderizada secundaria parecerá tener aproximadamente la misma suavidad de iluminación como si se proyectaran 1600 rayos por píxel en la imagen renderizada inicial. Como resultado, un beneficio de la técnica de ejemplo anterior incluye que el ruido residual tiene relación desde fotograma de imagen renderizada hasta fotograma de imagen renderizada, es decir, los defectos de centelleo o de explosión entre distintas imágenes renderizadas se reducen en gran medida.

40 **[0021]** En diversos modos de realización, el conjunto de descriptores de escena relacionados puede incluir cualquier secuencia de descriptores de escena en la que la geometría de la escena no haya cambiado de forma perceptible. La secuencia de descriptores de escena puede incluir escenas en las que las cámaras estén ubicadas en distintas posiciones, en las que se muevan los objetos en una escena y similares.

45 **[0022]** Otro beneficio con modos de realización de la presente invención es que los defectos de parpadeo, esto es, los defectos que parecen tener movimiento sobre superficies estáticas, se reducen en gran medida. Otro beneficio adicional de los modos de realización es que las características nítidas o finas se conservan en una imagen renderizada. En consecuencia, la imagen renderizada aparece nítida y definida al público.

50 **[0023]** Según un aspecto de la invención, se describe método para un sistema informático. Una técnica incluye realizar una operación de renderizado para una pluralidad de escenas en una pluralidad de ubicaciones de muestreo para formar una primera pluralidad de resultados de renderizado muestreados asociados a la pluralidad de escenas, en respuesta a una pluralidad de datos de descriptor de escena asociados a la pluralidad de escenas, y determinar una pluralidad de modos de resultado de renderizado muestreados y una pluralidad de ponderaciones asociadas a cada una de la pluralidad de escenas en respuesta a la primera pluralidad de resultados de renderizado muestreados. Un proceso incluye determinar una segunda pluralidad de resultados de renderizado muestreados asociados a la pluralidad de escenas en respuesta a la pluralidad de modos de resultado de renderizado muestreados y en respuesta a la pluralidad de ponderaciones asociadas a cada una de la pluralidad de escenas.

[0024] Según otro aspecto de la invención, se expone un producto de programa informático en un soporte legible por ordenador para un sistema informático que incluye un procesador. Producto de programa informático puede incluir código que ordena a un procesador realizar una operación de renderizado para una pluralidad de escenas en una pluralidad de ubicaciones de muestreo para formar una primera pluralidad de resultados de renderizado muestreados asociados a la pluralidad de escenas, en respuesta a una pluralidad de datos de descriptor de escena asociados a la pluralidad de escenas, y código que ordena a un procesador determinar una pluralidad de modos de resultado de renderizado muestreados y una pluralidad de ponderaciones asociadas a cada una de la pluralidad de escenas en respuesta a la primera pluralidad de resultados de renderizado muestreados. Un producto de programa informático puede incluir código que ordena a un procesador determinar una segunda pluralidad de resultados de renderizado muestreados asociados a la pluralidad de escenas en respuesta a la pluralidad de modos de resultado de renderizado muestreados y en respuesta a la pluralidad de ponderaciones asociadas a cada una de la pluralidad de escenas. Los códigos pueden residir en un soporte tangible legible por ordenador como soportes ópticos (DVD, HD DVD, DVD Blu Ray, soportes holográficos y similares), soportes magnéticos (disco duro, unidad de disquete y similares), soportes semiconductores (memoria *flash*, RAM, ROM y similares).

[0025] Según otro aspecto adicional de la invención, se describe un sistema informático. Un aparato incluye una memoria configurada para almacenar una pluralidad de datos de descriptor de escena asociados a una pluralidad de escenas. Un sistema incluye un procesador acoplado a la memoria, donde el procesador está configurado para realizar operaciones de renderizado para la pluralidad de escenas en una pluralidad de ubicaciones de muestreo para formar una primera pluralidad de resultados de renderizado muestreados asociados a la pluralidad de escenas, en respuesta a la pluralidad de datos de descriptor de escena, donde el procesador está configurado para determinar una pluralidad de modos de resultado de renderizado muestreados y una pluralidad de ponderaciones asociadas a cada una de la pluralidad de escenas en respuesta a la primera pluralidad de resultados de renderizado muestreados, y donde el procesador está configurado para determinar una segunda pluralidad de resultados de renderizado muestreados asociados a la pluralidad de escenas en respuesta a la pluralidad de modos de resultado de renderizado muestreados y en respuesta a la pluralidad de ponderaciones asociadas a cada una de la pluralidad de escenas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0026] Con el fin de comprender con mayor detalle la presente invención, se hace referencia a los dibujos adjuntos. Siendo conscientes de que estos dibujos no deben considerarse como limitaciones en el alcance de la invención, los modos de realización descritos a continuación y el mejor modo de la invención que se comprenderá a continuación, se describen con mayor detalle por medio de los dibujos adjuntos.

- La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema informático típico según un modo de realización de la presente invención;
- Las figuras 2A-E ilustran una serie de capturas de pantalla en las que la iluminación indirecta cambia en función del tiempo;
- Las figuras 3A-B ilustran un diagrama de bloques de un proceso según un modo de realización de la presente invención;
- La figura 4 ilustra un ejemplo según un modo de realización de la presente invención;
- Las figuras 5A-J ilustran capturas de pantalla de ejemplos de modos de realización de la presente invención;
- Las figuras 6A-E ilustran una serie de capturas de pantalla en las que la iluminación indirecta cambia en función del tiempo según modos de realización de la presente invención;
- Las figuras 7A-F ilustran otro ejemplo según modos de realización de la presente invención;
- Las figuras 8A-C ilustran ejemplos adicionales según modos de realización de la presente invención; y
- Las figuras 9A-C ilustran ejemplos adicionales según modos de realización de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0027] La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema informático 100 típico según un modo de realización de la presente invención.

[0028] En el presente modo de realización, el sistema informático 100 normalmente incluye un monitor 110, un ordenador 120, un teclado 130, un dispositivo de entrada de usuario 140, interfaces informáticas 150 y similares.

5 **[0029]** En el presente modo de realización, el dispositivo de entrada de usuario 140 se plasma normalmente en un ratón de ordenador, una bola de desplazamiento, una almohadilla táctil, un *joystick*, un control remoto inalámbrico, una tableta gráfica, un sistema de comando de voz, un sistema de seguimiento de ojos y similares. El dispositivo de entrada de usuario 140 normalmente permite al usuario seleccionar objetos, iconos, texto y similares que aparecen en el monitor 110 a través de un comando como un *click* de un botón o similares.

10 **[0030]** Modos de realización de interfaces informáticas 150 normalmente incluyen una tarjeta Ethernet, un módem (teléfono, satélite, cable, RDSI), unidad de línea de abonado digital (DSL) (asíncronica), interfaz FireWire, interfaz USB y similares. Por ejemplo, las interfaces informáticas 150 pueden estar acopladas a una red de ordenadores, a un bus FireWire o similares. En otros modos de realización, las interfaces informáticas 150 pueden estar integradas físicamente en la placa base del ordenador 120, pueden ser un programa de *software*, tal como *soft* DSL o similares.

[0031] En diversos modos de realización, el ordenador 120 normalmente incluye componentes de ordenador familiares como un procesador 160, y dispositivos de almacenamiento de memoria, tales como una memoria de acceso aleatorio (RAM) 170, unidades de disco 180 y bus de sistema 190 interconectando los componentes anteriores.

20 **[0032]** En un modo de realización, el ordenador 120 incluye uno o más microprocesadores Xeon de Intel. Además, en el presente modo de realización, el ordenador 120 normalmente incluye un sistema operativo basado en UNIX.

25 **[0033]** RAM 170 y unidad de disco 180 son ejemplos de soportes tangibles configurados para almacenar datos tales como archivos de imágenes, descripciones geométricas de objetos, archivos de descriptor de escena, especificaciones de fuentes de iluminación, un motor de renderizado, modos de realización de la presente invención, incluyendo código informático ejecutable, código legible por humanos o similares. Otros tipos de soportes tangibles incluyen disquetes, discos duros extraíbles, soportes de almacenamiento óptico como CD-ROM, DVD y códigos de barras, memorias semiconductoras como memorias *flash*, memorias de sólo lectura (ROM), memorias volátiles respaldadas por batería, dispositivos de almacenamiento en red y similares.

30 **[0034]** En el presente modo de realización, el sistema informático 100 puede incluir también *software* que permita comunicaciones en una red como los protocolos HTTP, TCP/IP, RTP/RTSP y similares. En modos de realización alternativos de la presente invención, pueden utilizarse otros *software* de comunicaciones y protocolos de transferencia, por ejemplo IPX, UPD o similares.

35 **[0035]** La figura 1 representa un sistema informático capaz de poner en práctica la presente invención. A un experto en la materia le resultará fácilmente evidente que muchas otras configuraciones de *software* y de *hardware* son adecuadas para su utilización en la presente invención. Por ejemplo, el ordenador puede ser una configuración de ordenador de mesa, portátil, montado en bastidor o tableta. De forma adicional, el ordenador puede ser una serie de ordenadores conectados en red. Asimismo, se contempla la utilización de otros microprocesadores, tales como los microprocesadores Core™ o Pentium™ de Intel; los microprocesadores Opteron™ o AthlonXP™ de Advanced Micro Devices, Inc; y similares. Además, se contemplan otros tipos de sistemas operativos, tales como Windows® Vista, WindowsXP®, WindowsNT®, o similares de Microsoft Corporation, Solaris de Sun Microsystems, LINUX, UNIX, y similares. En todavía otros modos de realización adicionales, las técnicas descritas anteriormente pueden implementarse sobre un chip o una placa de procesamiento auxiliar (p. ej., unidad de procesamiento gráfico).

45 **[0036]** Las figuras 3A-B ilustran un diagrama de bloques de un proceso según un modo de realización de la presente invención. Más concretamente, las figuras 3A-B proporcionan una ilustración de mayor nivel de un modo de realización.

50 **[0037]** En diversos modos de realización de la presente invención, inicialmente, se determina y especifica un conjunto de descriptores de escena relacionados que han de renderizarse ("una secuencia"), etapa 400. En diversos modos de realización, un descriptor de escena incluye una descripción geométrica de objetos, fuentes de iluminación y posiciones de cámara especificadas por uno o más usuarios, tales como un animador, un decorador de interiores, un técnico de iluminación, un director y similares. En diversos modos de realización, la

definición de cada descriptor de escena puede realizarse mediante la utilización de herramientas de animación por ordenador convencionales, la descripción de las cuales se encuentra más allá del alcance de la exposición de la presente patente.

5 **[0038]** En diversos modos de realización, en primer lugar, se desea calcular una secuencia animada de imágenes de iluminación indirecta rápidamente. Una manera simple de hacer esto es mediante la reducción del número de muestras de rayos. Sin embargo, como se ha mencionado previamente, esto puede producir imágenes ruidosas que parpadean cuando se reproducen en una animación. Una observación clave de los inventores es que, aunque los píxeles individuales son ruidosos, la correlación en el dominio temporal todavía proporciona información de iluminación importante. Por ejemplo, si la iluminación fuera estática sobre la animación, el promedio de los valores de píxeles a lo largo del tiempo da lugar a un valor más preciso para el píxel. Los inventores se han dado cuenta de que estas técnicas son similares a una técnica de apilamiento negativo utilizada por astrónomos. Por ejemplo, tomando 2 o más negativos originales del mismo objeto y apilándolos, la señal en la imagen resultante incrementa mientras que el ruido, siendo independiente, en realidad se neutraliza y se reduce.

15 **[0039]** Un modo de realización ligeramente más complejo es cuando la iluminación se escala de forma lineal a lo largo del tiempo. En dichos modos de realización, se puede determinar la animación de iluminación lineal que mejor quede en las imágenes ruidosas y se puede utilizar esto como la animación final. Por lo tanto, los inventores proponen un enfoque más general. Si pueden determinarse las bases o modos para la iluminación en la animación, en diversos modos de realización, la animación ruidosa puede proyectarse sobre estas bases para producir imágenes de animación finales con ruido reducido.

[0040] Como se ilustra en las figuras 3A-B, la siguiente etapa consiste en realizar un renderizado de baja resolución de muestreo de los descriptores de escena en la secuencia, etapa 410. En diversos modos de realización, se realizan operaciones de renderizado tales como operaciones de trazado de rayos, operaciones de sombreado de superficies y similares sobre los objetos descritos en los descriptores de escena.

25 **[0041]** En algunos modos de realización de la presente invención, la baja resolución de muestreo puede producir ruido debido a la textura de una superficie. Por ejemplo, una superficie de una duna de arena puede tener textura de muy alta frecuencia y, por lo tanto, con baja resolución de muestreo la textura puede no muestrearse lo suficiente. En dichos modos de realización, un filtro de paso bajo puede aplicarse previamente a la textura de superficie y, a continuación, puede realizarse el renderizado de baja resolución de muestreo. En diversos modos de realización en los que se asocia un mapa de textura a una superficie, puede utilizarse una versión de frecuencia inferior del mapa de textura para estos renderizados iniciales de baja resolución de muestreo para reducir el ruido de muestreo de alta frecuencia.

35 **[0042]** En respuesta a las etapas de renderizado, se determinan datos de renderizado "intermedios" o "iniciales", etapa 420. En diversos modos de realización, pueden visualizarse datos de renderizado intermedios como imágenes renderizadas de baja resolución de muestreo basándose en respectivos datos de escena, uno o más mapas de textura, datos en un conjunto de vóxeles o similares. En diversos modos de realización, "baja resolución de muestreo" se refiere a una resolución de trazado de rayos cuya calidad normalmente no es aceptable para las imágenes finales. Por ejemplo, las imágenes de las figuras 2A-2E pueden considerarse renderizado "de baja resolución de muestreo". En diversos modos de realización, "baja resolución de muestreo" se refiere a los casos en los que se proyectan menos de aproximadamente 5 a 10, 10 a 15, 16-24 rayos por píxel, por ejemplo.

45 **[0043]** En diversos ejemplos, el número de imágenes de "entrenamiento" de baja resolución de muestreo puede ser el mismo que el número de descriptores de escena en la secuencia. En otros modos de realización, el número de imágenes de baja resolución de muestreo puede ser menor que el número de descriptores de escena en la secuencia. Por ejemplo, el número de imágenes de baja resolución de muestreo puede ser 50 %, 66 %, 75 %, 80 %, 90 % o similares.

50 **[0044]** En siguiente lugar, en diversos modos de realización, en base a los datos de renderizado intermedios, se determina una serie de modos de datos de renderizado intermedios, etapa 430. En modos de realización específicos, los modos de datos de renderizado intermedios son una serie de funciones de estructura espacial, tales como modos de iluminación.

[0045] Como se describirá en el ejemplo a continuación, más adelante, las funciones de estructura espacial representan iluminación característica determinada a partir de la serie de iluminación de baja resolución de muestreo. En algunos modos de realización, las funciones de estructura espacial pueden visualizarse como imágenes bidimensionales que tienen valores de píxel correspondientes a los valores de iluminación en un punto

de la imagen. En otros modos de realización de la presente invención, las funciones de estructura espacial pueden estar asociadas a las superficies específicas del objeto visualizadas en la escena. Por ejemplo, en algunos modos de realización, las funciones de estructura espacial pueden almacenarse en mapas de textura, mapas de vóxeles o similares asociados a los objetos.

5 **[0046]** En diversos ejemplos, matemáticamente se utiliza la siguiente relación de aproximación:

$$P(x,y,t) \sim \text{Sum}(j = 1, N) [ps(x,y,j) * pt(t,j)]$$

[0047] En esta relación, $P(x,y,t)$ es la iluminación indirecta y N es el número de funciones de estructura espacial. El número N es normalmente considerablemente menor que el número de descriptores de escena M en la secuencia para reducir el tiempo de renderizado posterior. Dicho de otro modo, $N < M$. Por ejemplo, N puede ser desde 3 o mayor, 5 o mayor, o 10 hasta 15 funciones de estructura espacial, y M puede ser aproximadamente 100 descriptores de escena o mayor. Asimismo, $ps(x,y,j)$ representa la función de estructura espacial y $pt(t,j)$ representa los valores de amplitud de excitación de iluminación (excitaciones), analizados a continuación. Más generalmente, la relación puede representarse como $P(X,t)$, donde X se refiere a un sistema de coordenadas generalizado, tal como x,y ; x,y,z ; bidimensional; tridimensional o similares.

10

15

[0048] Los inventores de la presente invención han determinado que pueden utilizarse técnicas tales como descomposición en valores singulares para determinar las funciones de estructura espacial (y los valores de amplitud de excitación de iluminación correspondientes) a partir de las imágenes de baja resolución de muestreo. La utilización de este enfoque proporciona aproximadamente una solución con un error cuadrático mínimo al problema. A la luz de la presente exposición, un experto en la materia reconocerá que pueden utilizarse otras técnicas para determinar los modos de datos de renderizado intermedios, por ejemplo, funciones de estructura espacial.

20

[0049] En diversos modos de realización, se puede utilizar una función no lineal escalar con el fin de que el error cuadrático mínimo se aproxime al nivel de ruido subjetivo mínimo deseado y una función no lineal inversa se utiliza a continuación para determinar las funciones de estructura espacial. Por ejemplo, en una escena con muchas zonas oscuras, el ruido de zumbido se puede percibir mucho más que en zonas más claras; en consecuencia, las imágenes de baja resolución de muestreo pueden multiplicarse con una función no lineal para producir una imagen similar a una función de corrección gamma de >1 . A continuación, se determinan las funciones de estructura espacial, como se describe anteriormente. A continuación, estas funciones de estructura espacial se multiplican por una inversa de la función no lineal para restablecer aproximadamente las intensidades, por ejemplo con una función de corrección gamma de <1 .

25

30

[0050] En el modo de realización ilustrado en las figuras 3A-B, para reducir la cantidad de ruido en el ruido de modos de datos de renderizado intermedios, por ejemplo, el ruido de iluminación presente en la secuencia de descriptor de escena, se determina un número de más modos de datos de renderizado intermedios fundamentales, por ejemplo, funciones de estructura espacial, etapa 440. En diversos modos de realización, el número de modos de orden inferior que puede utilizarse se sitúa entre tres y cinco modos (es decir, $N=\{3,4,5\}$). En otros modos de realización, el número de modos puede situarse entre 2 y 8. En todavía otros modos de realización, el número de modos N puede determinarse o establecerse según la preferencia del usuario y la afinación. El número de modos N que se han de seleccionar puede depender de que el usuario vea los modos y determine si modos concretos introducen ruido no deseado o no. En algunos modos de realización de la presente invención, los modos de datos de renderizado intermedios N , por ejemplo, las funciones de estructura espacial determinadas en la etapa 430 son las mismas que los modos de datos de renderizado intermedios N , por ejemplo, las funciones de estructura espacial en la etapa 440.

35

40

[0051] Escoger un valor de N que sea demasiado pequeño puede conducir a la pérdida de algunos de los efectos de iluminación indirectos, mientras que escoger un valor que sea demasiado grande puede dar lugar a estructura con ruido añadido en la solución. Puesto que la reconstrucción es extremadamente rápida una vez que las secuencias de imagen ruidosas iniciales se hayan generado, M puede seleccionarse interactivamente permitiendo a un usuario ver la secuencia reconstruida y haciendo que el usuario ajuste un deslizador.

45

[0052] En otros modos de realización, para reducir aún más la cantidad de ruido especificado en cada función de estructura espacial, un filtro espacial lineal, tal como un filtro de paso bajo, un filtro espacial no lineal, tal como un filtro desparasitar o similares pueden operar en cada modo de datos de renderizado intermedios, por ejemplo, función de estructura espacial.

50

[0053] En otros modos de realización de la presente invención, el número de modos de datos de renderizado intermedios, por ejemplo, funciones de estructura espacial N , también pueden determinarse automáticamente

seleccionado mediante la observación del error de aproximación y el truncamiento de la serie en N. En algunos modos de realización, el sistema automático se basa en la varianza no explicada por la reconstrucción del análisis de componentes principales (ACP) truncados. Saber el porcentaje de la varianza no explicada cuando se utilizan las funciones base de x (p. ej., modos de iluminación) (porcentajeVar(x)), N se selecciona como el valor mínimo de x de modo que: (porcentajeVar(x) ≥ ε) y (porcentajeVar(x)-porcentajeVar(x+1)) ≥ ε_{cambio} para un usuario definido ε y ε_{cambio}. De forma intuitiva, estos criterios se dirigen hacia el deseo de dejar de añadir funciones base (modos de iluminación de orden superior) cuando la adición de la siguiente no proporciona mucho beneficio. Por ejemplo, N puede ser el número de modos en los que la reducción en el error es compatible con lo que se podría esperar del ruido sin correlación. En diversos modos de realización de la presente invención, pueden utilizarse algoritmos conocidos. Como se ha analizado anteriormente, los valores de N tienden a ser pequeños, del orden de 3 a 5 modos, por ejemplo, funciones de estructura espacial para la mayoría de escenas animadas.

[0054] En diversos modos de realización de la presente invención, para cada descriptor de escena en la secuencia, a continuación, se determina un conjunto de valores de amplitud de excitación relativo a los modos, por ejemplo, las funciones de estructura espacial determinadas en la etapa 440 anterior, etapa 450. En diversos modos de realización, los valores de amplitud de excitación pueden limitarse a valores no negativos, valores positivos o similares; los valores de amplitud de excitación pueden ser positivos, negativos o valores cero y similares. En algunos modos de realización, los valores de amplitud de excitación son los valores de amplitud de excitación determinados en la etapa 430, citada anteriormente. En otros modos de realización, los valores de amplitud de excitación pueden determinarse específicamente en esta etapa para cada descriptor de escena individual. Los modos de orden inferior y los valores de amplitud de excitación correspondientes para cada descriptor de escena que se determinan pueden, a continuación, almacenarse para su utilización posterior, etapa 460.

[0055] En algunos modos de realización de la presente invención, un segundo proceso de renderizado puede realizarse a continuación en base a los datos de descriptor de escena para cada descriptor de escena en la secuencia, los modos de datos de renderizado intermedios, por ejemplo, la contribución de la iluminación indirecta de cada imagen respectiva y los valores de amplitud de excitación correspondientes, para formar datos de renderizado intermedios adicionales, etapa 470. Los datos de renderizado intermedios adicionales pueden utilizarse como entrada para cálculos de renderizado adicionales o pueden ser imágenes. Por ejemplo, en diversos modos de realización, los datos de renderizado intermedios adicionales pueden visualizarse como imágenes renderizadas de alta resolución de muestreo.

[0056] En modos de realización específicos, los datos de renderizado intermedios adicionales, por ejemplo, las contribuciones de iluminación para un descriptor de escena se determinan de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$P(x,y,t) = \text{Sum}(j = 1, N) [ps(x,y,j) * pt(t,j)]$$

[0057] Los parámetros son los mismos que los analizados en la ecuación anterior.

[0058] En diversos modos de realización de la presente invención, este enfoque es aproximadamente equivalente a la filtración temporal de los datos de renderizado intermedios, por ejemplo, las contribuciones de iluminación indirecta, sin atenuar los componentes geométricos espaciales. En modos de realización, los modos de datos de renderizado intermedios pueden suavizarse espacialmente de forma adicional con un filtro.

[0059] En diversos modos de realización, el conjunto de modos, por ejemplo, las funciones de estructura espacial y el conjunto de valores de amplitud de excitación se describieron para determinar datos de renderizado intermedios adicionales. Por ejemplo, los datos de renderizado intermedios adicionales pueden utilizarse para formar un conjunto de imágenes en las que el valor de cada píxel representa la contribución de iluminación indirecta para cada imagen relativa a una escena. De forma adicional, en diversos modos de realización, estos datos de renderizado intermedios adicionales pueden utilizarse para representar un valor o relación de "confianza" o "error" de contribución para cada píxel. A modo de ejemplo, el valor puede ser similar a: 35 +/-5; 20 +/- 1; 50 +/- 40; o similares.

[0060] En diversos modos de realización de la presente invención, los valores de amplitud de excitación asociados a un modo concreto, por ejemplo, la función de estructura espacial normalmente se espera que varíe suavemente con el tiempo, es decir, los valores de amplitud de excitación en el conjunto varían suavemente. Véase la figura 4 para un ejemplo de un modo de realización. En otros modos de realización, pueden aplicarse funciones de suavizado temporal adicionales al conjunto de valores de amplitud de excitación.

[0061] De manera interesante, en diversos modos de realización, los modos de datos de renderizado intermedios, por ejemplo las funciones de estructura espacial no se determinan en base a modos de datos de

renderizado teóricos o previstos; en su lugar, los modos de datos de renderizado intermedios se basan en el renderizado real de descriptores de escena en la misma secuencia. Como se ha analizado anteriormente en un ejemplo, el "conjunto de entrenamiento" (modos de datos de renderizado intermedios) para determinar las funciones de estructura espacial se basan en un renderizado inicial de los datos de escena. En consecuencia, se espera que las funciones de estructura espacial de los modos determinados se ajusten y se afinen únicamente para renderizar la secuencia de descriptores de escena.

[0062] Como resultado de lo anterior, los datos de renderizado, por ejemplo, las contribuciones de iluminación se suavizan o atenúan a tiempo en el renderizado final de los datos de descriptor de escena. Sin embargo, la geometría espacial (p. ej., los bordes) puede conservarse y puede no atenuarse de forma significativa mediante modos de realización de la presente invención. En diversos modos de realización, por lo tanto, se cree que las imágenes renderizadas resultantes son detalladas geoméricamente y suavizadas temporalmente (sin chisporroteo ni zumbido) mientras que las contribuciones de iluminación se distribuyen más uniformemente. Por consiguiente, se cree que dichas imágenes renderizadas son mucho más atractivas visualmente para los espectadores que las que podían obtenerse previamente.

[0063] En la etapa 480, las representaciones de los datos de renderizado intermedios adicionales, por ejemplo, las imágenes renderizadas se almacenan normalmente en la memoria. En diversos modos de realización, los datos de renderizado intermedios adicionales pueden ser entrada para cálculos de renderizado adicionales. En otros modos de realización, se almacenan representaciones con pérdidas o sin pérdidas de imágenes renderizadas, tales como .jpg o .tif, o similares. Asimismo, en diversos modos de realización, los datos de renderizado intermedios adicionales, por ejemplo las representaciones de imagen renderizada pueden almacenarse en memoria magnética (p. ej., discos duros, unidades de disquete); soportes ópticos (p. ej., DVD, CD, HD DVD, DVD Blu-ray, holográfico); memoria semiconductor (p. ej., RAM, ROM, memoria *flash*); soportes de película (p. ej., película fotográfica).

[0064] Posteriormente, pueden recuperarse representaciones de las imágenes renderizadas a partir de los mismos soportes de memoria o de distintos soportes de almacenamiento y mostrarse a un usuario, etapa 490. A modo de ejemplo, las imágenes renderizadas de una secuencia pueden generarse a un usuario a partir de un sistema de cine en casa, pueden generarse a usuarios (p. ej., público) en un cine comercial, pueden generarse a un usuario en un ordenador u otro dispositivo informático (p. ej., PDA, iPod, PSP, teléfono móvil).

[0065] Las figuras 2A-E ilustran una serie de capturas de pantalla en las que la iluminación cambia en función del tiempo. Más concretamente, las figuras 2A-E ilustran ejemplos de datos de renderizado intermedios, por ejemplo, imágenes renderizadas trazadas con rayos de baja resolución de muestreo de una escena tridimensional que tiene elementos geoméricos fijos donde una fuente de iluminación se mueve de forma circular en el espacio con respecto al tiempo.

[0066] En la figura 2A, una fuente de luz blanca indirecta se ubica en la esquina trasera derecha de la escena tridimensional, y la imagen 200 se renderiza. En la figura 2B, la fuente de luz blanca se ubica en la parte central trasera de la escena tridimensional, y la imagen 210 se renderiza. En la figura 2C, la fuente de luz blanca se ubica en la esquina trasera izquierda de la escena tridimensional, y la imagen 220 se renderiza. En la figura 2D, la fuente de luz blanca se ubica en la pared izquierda de la escena tridimensional, y la imagen 230 se renderiza. En la figura 2E, la fuente de luz blanca se ubica en la esquina delantera derecha de la escena tridimensional, y la imagen 240 se renderiza.

[0067] Como se ha descrito anteriormente, en la figura 2A, la parte 250 de la imagen 200 que representa una pared trasera de color neutro incluye un resaltado azul 260 y un resaltado rojo 270. A modo de ejemplo adicional, en la figura 2D, la parte 280 de la imagen 230 que representa la esfera delantera incluye un resaltado azul 290 y un resaltado rojo 300.

[0068] Como se ha analizado anteriormente, en diversos modos de realización de la presente invención, las funciones de estructura espacial pueden determinarse a partir de imágenes de baja resolución de muestreo, como se ilustra en las figuras 2A-2E.

[0069] Las figuras 5A-J ilustran diversos modos de realización de la presente invención. Más concretamente, las figuras 5A-J ilustran modos de datos de renderizado intermedios, por ejemplo, modos de iluminación determinados mediante la utilización de diversos modos de realización de la presente invención. Según el proceso descrito en las figuras 3A-B, en este ejemplo, las imágenes de baja resolución de muestreo en la figura 2A-E podrían utilizarse para determinar las funciones de estructura espacial ilustradas en las figuras 5A-J.

5 **[0070]** La figura 5A ilustra una imagen bidimensional 500 cuyos valores de píxel representan una contribución de modo de iluminación primaria en las ubicaciones proporcionadas en la imagen 500. Por ejemplo, la parte 510 de la imagen 500 que representa una pared trasera se ilustra como principalmente de color blanco; la parte 515 de la imagen 500 que representa el techo es principalmente de color blanco; la parte 520 de la imagen 500 que representa la pared izquierda es principalmente de color azul; la parte 530 de la imagen 500 que representa la pared izquierda es principalmente de color rojo; y similares.

10 **[0071]** La figura 5B ilustra una imagen bidimensional 540 cuyos valores de píxel representan una segunda contribución de modo de iluminación en las ubicaciones proporcionadas. Por ejemplo, las partes 550 y 560 de la imagen 540 que representan la pared trasera y el techo se ilustran como principalmente de color azul; la parte 570 de la imagen 500 que representa la pared izquierda es principalmente de color negro (es decir, no iluminada); y similares. En diversos modos de realización, puesto que se utiliza un modelo de color añadido, las ubicaciones que tienen valores negros ($r,g,b=0,0,0$) no contribuyen de forma perceptible a los valores de iluminación finales.

15 **[0072]** La figura 5C ilustra una imagen bidimensional 580 cuyos valores de píxel representan una tercera contribución de modo de iluminación en las ubicaciones proporcionadas. Por ejemplo, las partes 590 y 600 de la imagen 580 que representa la pared trasera y el techo se ilustran respectivamente como parcialmente rojas, blancas y negras; y similares.

20 **[0073]** Como se ilustra en las figuras 5A-5J, con los modos de iluminación sucesivamente superiores, la cantidad de ruido de iluminación normalmente aumenta de forma visual y los elementos geométricos importantes en la imagen disminuyen de forma visual. Por ejemplo, como se ilustra en las figuras 5D-5H, la geometría de la caja y los objetos es un tanto visible; sin embargo, en las figuras 5I-5J, la geometría de la caja Cornell y de las esferas es más difícil de distinguir. Asimismo, como también se ilustra en las figuras 5I y 5J, el ruido presente en las partes 620 y 630 de las imágenes 640 y 650 que representan la pared trasera es alto en comparación, por ejemplo, con la parte 510 de la figura 5A.

25 **[0074]** Los modos de iluminación de las figuras 5A-J son simplemente ilustrativos de un ejemplo de modos de iluminación (10 modos) determinados a partir de las imágenes de baja resolución de muestreo determinadas en la etapa 420. Como se ha analizado anteriormente, en algunos modos de realización puede determinarse un gran número de modos de iluminación en la etapa 430 más arriba, y los modos de iluminación de orden superior se eliminan a continuación en la etapa 440. Por ejemplo, en la etapa 430, pueden determinarse los 10 modos de las figuras 5A-J y en la etapa 440 sólo se utilizan posteriormente los 6 modos más importantes de las figuras 5A-J. En otros modos de realización, sólo se determinan los modos N más importantes en la etapa 430, en base a una determinación de error. A modo de ejemplo, sólo los modos de iluminación de las figuras 5A-5F pueden determinarse y utilizarse en la etapa 450.

35 **[0075]** Las figuras 6A-J ilustran capturas de pantalla de ejemplos de modos de realización de la presente invención. Más concretamente, las imágenes de las figuras 6A-E ilustran datos de renderizado intermedios adicionales, por ejemplo, imágenes renderizadas formadas mediante la utilización de modos de datos de renderizado intermedios, por ejemplo, funciones de estructura espacial de la etapa 440 y valores de amplitud de excitación de la etapa 450.

40 **[0076]** En este ejemplo, las imágenes de las figuras 6A-E tienen los mismos descriptores de escena para las escenas de las figuras 2A-E. Como puede determinarse mediante la comparación de las imágenes de las figuras 6A-6E con las imágenes respectivas de las figuras 2A-E, la cantidad de ruido de iluminación se reduce considerablemente. Por ejemplo, en las figuras 6A-C las partes 700, 720 y 740 de las imágenes 710, 730 y 745, respectivamente, que representan el suelo parecen lisas y son mucho menos granuladas que las partes 310, 320 y 325 de las figuras 2A-C. A modo de ejemplo adicional, en la figura 6E, una parte 740 de la imagen 750 que representa la pared trasera parece lisa y es mucho menos granulada que la parte 350 de la figura 2E. De forma adicional, la parte 770 de la imagen 760 y la parte 780 de la imagen 750 parecen relativamente similares. En consecuencia, cuando se animan, se atenúa en gran medida cualquier parpadeo o centelleo.

50 **[0077]** Por lo tanto, como puede verse en las figuras 6A-E, la cantidad de ruido y de defectos de ruido que se atribuyen al trazado de rayos de baja resolución de muestreo de las fuentes de iluminación indirecta disminuye en gran medida mediante la utilización de modos de realización de la presente invención. Asimismo, cuando se animan, la cantidad de centelleo o de zumbido se reduce también en gran medida.

[0078] Diversos modos de realización descritos anteriormente son concretamente útiles para secuencias de descriptores de escena en las que los objetos en la escena son inmóviles y las cámaras están bloqueadas, pero

el alumbrado o la iluminación puede variar. Estos modos de realización se describieron para facilitar su comprensión y dichas limitaciones no se requieren para otros modos de realización de la presente invención.

[0079] En diversos modos de realización de la presente invención, las cámaras y los objetos pueden moverse en las imágenes. Una dificultad en lo que se refiere al almacenamiento de la iluminación en ubicaciones de píxel cuando se utiliza una cámara que se mueve es que los cambios temporales en un píxel codificarían tanto los cambios en la iluminación como los cambios debido al movimiento de la cámara (como los cambios de visibilidad). En diversos modos de realización, la iluminación indirecta se calcula en el mismo conjunto de posiciones espaciales de objeto para cada fotograma; no obstante, los resultados se almacenan en una nube de puntos o en un mapa de textura. Puesto que los puntos espaciales de objeto están fijos, la variación temporal de cada valor se debe normalmente sólo a los cambios en la iluminación (además del ruido). Por consiguiente, las nubes de puntos o texturas pueden dejarse sin ruidos mediante la utilización de la misma técnica de proyección de base utilizada para las imágenes de la sección previa. Por ejemplo, cuando se necesita la iluminación indirecta para el renderizado final, puede accederse a la misma a través de una búsqueda en estas nubes de puntos o texturas suavizadas. De forma adicional, en diversos modos de realización, los objetos que se mueven de forma rígida pueden manejarse de la misma manera que una cámara móvil, mediante el almacenamiento de los resultados en una nube de puntos, mapas de vóxeles, mapa de textura o estructura similar espacial de objeto.

[0080] En todavía otros modos de realización, la deformación de los objetos requiere la utilización de un objeto quieto o de referencia con un conjunto estático de puntos de muestreo. La iluminación indirecta debería calcularse para cada fotograma en puntos y aplicarse hacia y desde el objeto de referencia sobre el objeto deformado que corresponda a los puntos sobre el objeto de referencia/quieto. Mediante el almacenamiento de estos valores de iluminación en las posiciones de muestreo de referencia (mediante la utilización de una nube de puntos o un mapa de textura), estos objetos deformados pueden dejarse sin ruido de la misma manera que los objetos rígidos.

[0081] Las figuras 7A-F ilustran otro ejemplo según modos de realización de la presente invención. Las figuras 7A-C ilustran las imágenes de ejemplo 800, 810 y 825. Inicialmente, la cámara se alinea con la pared derecha de la caja en la figura 7A, la cámara se mueve hacia el centro de la caja en la figura 7B y, a continuación, se alinea con la pared izquierda de la caja en la figura 7C. Mediante la utilización de los principios anteriores, se determinan una serie de funciones de estructura espacial. Como se ha comentado anteriormente, en algunos modos de realización en los que una cámara o unos objetos se desplazan en una escena, las funciones de estructura espacial pueden aplicarse a mapas de textura de superficies de objeto en la escena, mapas de vóxeles de objetos en la escena o similares. Las figuras 7D-F ilustran, cada una, ejemplos de funciones de estructura espacial: La figura 7D ilustra una función de estructura espacial de método de optimización no basado en el cálculo diferencial o primario; la figura 7E ilustra una función de estructura espacial de primer orden y la figura 7F ilustra una función de estructura espacial de segundo orden. Como puede observarse, por ejemplo en la figura 7D las funciones pueden visualizarse como imágenes "desenvueltas" o una serie de imágenes separadas. Las imágenes "desenvueltas" pueden ser simples o complejas, o una o más imágenes de textura, en función de la complejidad de los objetos representados. En este ejemplo, las funciones de estructura espacial se muestran para la pared derecha 840 y la pared izquierda 830. En modos de realización en los que los objetos están presentes o en los que los objetos se mueven en una escena, las funciones de estructura espacial también se determinan para cada objeto y se almacenan en mapas de textura separados asociados a las superficies de los objetos, en mapas de vóxeles separados asociados a los objetos o similares.

[0082] Se pueden concebir fácilmente muchos cambios o modificaciones. A la luz de la anterior exposición, un experto en la materia reconocería que pueden utilizarse muchas técnicas distintas para las diversas etapas. Por ejemplo, en algunos modos de realización de la presente invención, las etapas 400-460 pueden llevarse a cabo fuera de línea y antes del tiempo de renderizado. En consecuencia, el tiempo de renderizado requerido para renderizar las imágenes en la secuencia de imágenes debería ser aproximadamente el mismo, se utilicen o no los modos de realización de suavizado de iluminación descritos anteriormente. Sin embargo, como se ha analizado anteriormente, la suavidad de la iluminación todavía será mucho más alta mediante la utilización de las técnicas anteriores. En otros modos de realización, algunas de las etapas descritas anteriormente pueden ser parte de la tubería de renderizado y pueden llevarse a cabo en tiempo de renderizado.

[0083] A modo de ejemplo, sin utilizar modos de realización de la presente invención, un motor de renderizado 100 renderiza imágenes separadas con contribuciones de iluminación indirecta calculadas a 50 rayos por píxel. En contraposición, mediante la utilización de modos de realización de la presente invención, el motor de renderizado 100 renderiza imágenes de baja resolución de muestreo con contribuciones de iluminación calculadas a 5 rayos por píxel. Sin embargo, mediante la utilización de modos de realización descritos anteriormente, las contribuciones de iluminación indirecta se calculan eficazmente a 500 rayos por píxel (100 x 5). En este modo de realización, la cantidad de tiempo para el cálculo disminuye desde 50 rayos por píxel hasta

5 rayos por píxel, diez veces menos. En consecuencia, el tiempo para llevar a cabo dicho renderizado es aproximadamente 10 veces menor. Asimismo, en este modo de realización, la resolución incrementa desde 50 rayos por píxel hasta 500 rayos por píxel. En consecuencia, la reducción del ruido y el zumbido de las imágenes disminuyen en gran medida.

5 **[0084]** De forma alternativa, el tiempo de renderizado requerido para renderizar las imágenes en la secuencia de imágenes hasta el mismo nivel de suavidad de iluminación disminuye radicalmente. Por ejemplo, mediante la utilización de modos de realización de la presente invención, un motor de renderizado 100 renderiza imágenes con contribuciones de iluminación calculadas a 10 rayos por píxel para 10 000 píxeles a un índice de 1000 rayos/segundo. Por consiguiente, este renderizado tardaría aproximadamente 10 000 segundos. La utilización de los modos de realización de la presente invención descritos anteriormente, el número eficaz aproximado de rayos proyectados por píxel es 1000 (10 x 100). En contraposición, sin la utilización de modos de realización de la presente invención, un motor de renderizado 100 renderiza imágenes con contribuciones de iluminación calculadas a 1000 rayos por píxel para 10 000 píxeles a un índice de 1000 rayos/segundo. Por consiguiente, este renderizado tardaría aproximadamente 1 000 000 segundos. En consecuencia, en este ejemplo se obtiene una disminución de cien veces en el tiempo mientras que se mantiene el mismo número de rayos proyectados por píxel. Las imágenes generadas por estos modos de realización de la presente son todavía más suaves que fotograma a fotograma porque se ignoran las funciones de estructura espacial de orden superior. En todavía otros modos de realización, puede obtenerse una disminución del ruido y tiempos de renderizado incrementados.

20 **[0085]** Los siguientes resultados experimentales dan a conocer un ejemplo de la cantidad de aceleración proporcionada por modos de realización de la presente invención:

Escena	# fotogramas	Tiempo de renderizado ruidoso	Eliminación del ruido	Tiempo de renderizado de muestreo elevado	Factor de aceleración
Objeto estático / iluminación	100	1174 s	56 s	9948 s	8,09 x
Objeto en movimiento simple	150	1802 s	68 s	21960 s	11,8 x
Objeto en movimiento complejo (Fig. 9C)	126	15125 s	522 s	345870 s	22,1 x

25 **[0086]** Las figuras 9A-C ilustran ejemplos adicionales según modos de realización de la presente invención. La figura 9C ilustra un fotograma de animación 1000 renderizado según diversos modos de realización de la presente invención. La figura 9B ilustra una parte 1020 de la parte 1010 renderizada según una técnica de renderizado típica. En contraposición, la figura 9C ilustra una parte 1030 de la parte 1010 renderizada según modos de realización de la presente invención. Como puede observarse mediante comparación casual, el ruido es radicalmente menor con la utilización de los modos de realización de la presente invención.

30 **[0087]** En función de la iluminación en la secuencia, los cálculos de contribución de iluminación indirecta descritos pueden ser relevantes para todas las imágenes en una secuencia o sólo algunas imágenes en la secuencia. Por ejemplo, en la primera mitad de una secuencia, una fuente de iluminación elevada ilumina la escena y en la segunda mitad de una secuencia, una pequeña fuente de iluminación sobre el suelo (p. ej., que represente una vela o lamparilla) puede iluminar la escena. En consecuencia, en un modo de realización, la secuencia puede partirse en dos secuencias más pequeñas, cada una de las cuales tiene contribuciones de iluminación indirecta determinadas como se describe anteriormente sobre todas las imágenes en las secuencias más pequeñas (subsecuencias), respectivamente. En otro modo de realización, las contribuciones de iluminación indirecta pueden calcularse por separado para la primera mitad de las imágenes en la secuencia a partir de las contribuciones de iluminación indirecta para la segunda mitad de las imágenes en la secuencia. Por ejemplo, las imágenes 1-60 tendrán un conjunto de funciones de estructura espacial y las imágenes 61-130 tendrán un conjunto distinto de funciones de estructura espacial para determinar las contribuciones de iluminación indirecta para las respectivas imágenes.

40 **[0088]** En otros modos de realización de la presente invención, la técnica de función de estructura espacial para determinar efectos de iluminación indirecta para cada imagen no necesita utilizarse para la imagen entera. Por ejemplo, en algunos modos de realización, las funciones de estructura espacial basadas en muestreo de baja resolución se utilizan para determinar de forma rápida la iluminación indirecta en las partes más luminosas de la imagen. Por ejemplo, pueden utilizarse 5 rayos por píxel para determinar las funciones de estructura espacial para todas las imágenes en la secuencia. Estas funciones de estructura espacial se utilizan para determinar la

iluminación indirecta para todas las regiones de las imágenes en la secuencia incluyendo (o excluyendo) las regiones de las imágenes que tienen errores mayores en la secuencia, como se describe a continuación.

5 **[0089]** En diversos modos de realización, para implementar el muestreo de importancia para las imágenes que tienen píxeles asociados a confianza baja, el motor de renderizado puede proyectar rayos de muestreo adicionales en estos píxeles, normalmente sobre una base píxel por píxel. Por ejemplo, para cada píxel, puede proyectarse un número de rayos adicionales, tal como 20, 50, 100, 500 o un número mayor. A continuación, los resultados de este muestreo de alta resolución normalmente se filtran y se combinan con las contribuciones de iluminación indirecta determinadas anteriormente. En otros modos de realización, los valores de alta resolución sobrescriben los valores de baja resolución con un suavizado espacial en los límites.

10 **[0090]** En otros modos de realización, para implementar el muestreo de importancia para las imágenes que tienen píxeles asociados a confianza baja, el número de modos de iluminación (funciones base) puede variar sobre una base píxel por píxel. Por ejemplo, un píxel puede ser una combinación de 4 modos de iluminación, un segundo píxel puede requerir una combinación de 5 modos de iluminación, etc. Para reducir el ruido, puede llevarse a cabo una operación de filtrado de modo que el primer píxel sea una combinación de 4,3 modos de
15 iluminación y el segundo píxel sea una combinación de los 4,7 modos de iluminación de orden inferior. En todavía otros modos de realización, pueden utilizarse otros planes para implementar soluciones de muestreo de importancia.

20 **[0091]** Las figuras 8A-C ilustran ejemplos según un modo de realización de la presente invención. Más concretamente, la figura 8A ilustra una imagen 900 similar al ejemplo mostrado anteriormente, que incluye un objeto 910 y una zona 920. En este ejemplo, la zona 920 representa una zona que está aproximadamente ensombrecida por el objeto 910 en tiempos distintos durante la secuencia. La zona 930 representa las regiones excluyendo la zona 920. En diversos modos de realización, los píxeles en la zona 920 pueden determinarse dinámicamente mediante análisis de los valores de error o factores de confianza, analizados anteriormente. Un usuario también puede determinar los píxeles manualmente. En este ejemplo, la zona 920 incluye regiones que
25 están sombreadas solamente para las partes de la secuencia debido al movimiento de la fuente de iluminación a través de la secuencia. En consecuencia, el "error" de píxeles en esta región es normalmente mayor que en regiones iluminadas de manera más uniforme en la imagen.

30 **[0092]** En diversos modos de realización, una zona 920 puede ser relevante para todas las imágenes en una secuencia o sólo algunas imágenes en la secuencia. Por ejemplo, la zona 920 puede asociarse a una fuente luminosa específica que se enciende a mitad de la secuencia. En dicho caso, pueden determinarse contribuciones de iluminación indirecta para la zona 920 y ser solamente relevantes para las imágenes en la segunda mitad de la secuencia.

35 **[0093]** A modo de ejemplo, en un primer pase, se genera una serie de imágenes de baja resolución de muestreo para cada imagen en una secuencia, tal como 4 rayos/píxel. A continuación, se determinan las funciones de estructura espacial, amplitudes de excitación y valores de confianza para la secuencia de imágenes. Después, en base a las funciones de estructura espacial y a los valores de amplitud de excitación, se determinan las contribuciones de iluminación indirecta para cada imagen en la secuencia en toda la imagen 900 o solamente en la zona 930. De forma adicional, en este modo de realización, para cada imagen en la secuencia donde la zona 920 es relevante, en un segundo pase, se determinan contribuciones de resolución de muestreo superior para
40 cada píxel en la zona 920, tal como 50 rayos/píxel, 500 rayos/píxel o similares. Los píxeles de la zona 920 pueden determinarse de forma automática en el motor de renderizado, en base a los valores de error o de confianza.

45 **[0094]** Las figuras 8B-C ilustran ejemplos adicionales según modos de realización de la presente invención. En la figura 8B, se ilustra una imagen 950 que incluye una región de sombra 960 y en la figura 8c, se muestra una imagen 970 que incluye una región de sombra 980.

50 **[0095]** En diversos modos de realización, mediante la utilización de la técnica descrita anteriormente, se lleva a cabo un muestreo de baja resolución (p. ej., 10 rayos/píxel) para un primer pase para las imágenes 950 y 970. En base a las técnicas descritas anteriormente, las imágenes se forman con ruido reducido. Asimismo, en base a los factores de error determinados a partir del muestreo de baja resolución, en este modo de realización la tubería de renderizado identifica automáticamente los píxeles en la región 960 en la imagen 950 y en la región 980 en la imagen 970 como regiones que tienen mayor error. Lógicamente, esto tiene sentido en este ejemplo cuando la región de sombra 960 o 980 aparece solamente en unas pocas imágenes en la secuencia de imágenes. En consecuencia, el motor de renderizado lleva a cabo un muestreo de resolución superior (p. ej., 200 rayos/píxel) para los píxeles en la región de sombra 960 para la imagen representada por la imagen 950 y para
55 los píxeles en la región de sombra 980 para la imagen representada por la imagen 970. A continuación, los

resultados de muestreo de mayor resolución para las zonas 960 y 980 se combinan con imágenes de ruido reducido.

5 **[0096]** En diversos modos de realización de la presente invención, la resolución de muestreo puede ser distinta para distintas secuencias. Por ejemplo, en una secuencia, la resolución de muestreo puede ser 3 rayos/píxel y en la siguiente secuencia la resolución de muestreo puede ser 5 rayos/píxel o similares. De forma similar, en referencia al ejemplo anterior en el que una secuencia puede dividirse en agrupaciones distintas de imágenes, la resolución de muestreo puede ser distinta entre las imágenes en la primera mitad y la segunda mitad de la secuencia. Por ejemplo, para las imágenes 1-60, la resolución de muestreo puede ser 5 rayos/píxel y para las imágenes 61-130 la resolución de muestreo puede ser 8 rayos/píxel o similares.

10 **[0097]** A la luz de la exposición anterior, un experto en la materia entenderá que el renderizado de escenas puede incluir el renderizado de objetos, con o sin un fondo, decorados o similares. Por ejemplo, un objeto puede, primero, sombrarse mediante la utilización de suavizado por iluminación indirecta, como se describe anteriormente y, a continuación, el objeto puede renderizarse completamente y componerse en un fondo de acción en vivo, una imagen mate o similares. Por ejemplo, las técnicas de suavizado por iluminación indirecta
15 pueden aplicarse a una secuencia de imágenes que solamente incluye un objeto tridimensional, tal como un gorila gigante. Mediante la utilización de modos de realización de la presente invención, la iluminación del personaje tridimensional puede, a continuación, suavizarse en la secuencia, como se ha analizado anteriormente. Posteriormente, el gorila gigante renderizado, con iluminación indirecta suavizada, puede componerse sobre un mate de una ciudad con edificios altos, imagen de acción en vivo y similares. En
20 consecuencia, se contempla que las técnicas no se limiten a imágenes formadas por completo mediante animación por ordenador.

[0098] La exposición anterior se ha ilustrado con contribuciones de iluminación indirecta a imágenes renderizadas que corresponden a una pluralidad de escenas. Sin embargo, como se ha expuesto, los datos de renderizado intermedios, los modos de datos de renderizado intermedios y datos de renderizado intermedios
25 adicionales no necesitan representarse específicamente mediante imágenes renderizadas. En su lugar, puesto que los diversos datos de renderizado pueden ser resultado de cálculos de renderizado que se utilizan para cálculos de renderizado posteriores, en consecuencia no son identificables específicamente como una imagen renderizada.

[0099] Pueden aplicarse otros modos de realización de la presente invención a otros tipos de datos de renderizado intermedios o iniciales. Específicamente, la determinación de modos de datos de renderizado y de ponderaciones específicas fundamentales para cada descriptor de escena para determinar datos de renderizado intermedios adicionales puede aplicarse prácticamente a cualquier tipo de datos de renderizado determinados durante el proceso de renderizado. Por ejemplo, los modos de realización de la presente invención pueden utilizarse para reducir el ruido de muestreo resultante de: cálculos de iluminación global (descritos
30 anteriormente), cualquier proceso de muestreo estocástico o no estocástico tal como trazado de rayos de reflejos o similares, muestreo de normales de superficie, muestreo de geometría fina o detalle, muestreo de objetos que se mueven (p. ej., rotativos), muestreo con respecto a la profundidad de determinación de campo (p. ej., zonas enfocadas y desenfocadas), muestreo con respecto a objetos transparentes/translúcidos (p. ej., nubes, humo), muestreo de texturas por procedimiento y otras texturas finas (p. ej., cabello, pelo), cálculos de oclusión
35 ambiental y similares.

[0100] A modo de ejemplo, modos de realización de la presente invención pueden incorporar técnicas descritas en la patente estadounidense con n.º4,897,806, cedida al mismo cesionario. Por ejemplo, pueden utilizarse técnicas de muestreo estocásticas para determinar contribuciones de iluminación global y similares, como se ilustra anteriormente, para cada escena en una secuencia. A continuación, pueden determinarse modos de
40 iluminación global más fundamentales en base a las contribuciones de iluminación global para cada imagen. Como se ilustra anteriormente, en base a los modos de iluminación global más fundamentales y un conjunto de ponderaciones específico, la contribución de iluminación global para cada escena se determina con ruido reducido y/o tiempo de renderizado disminuido. Más generalmente, los datos en muestreo estocásticos para una primera imagen pueden combinarse con datos muestreados estocásticos de otras imágenes para reducir la cantidad de ruido en la primera imagen, y las demás imágenes mediante la utilización de las técnicas descritas
45 anteriormente. En diversos modos de realización, los datos muestreados estocásticos pueden incluir datos de iluminación, datos de reflejo, datos geométricos y similares.

[0101] Un experto en la materia puede concebir modos de realización adicionales tras la lectura de la presente exposición. En otros modos de realización, pueden realizarse de forma ventajosa combinaciones o subcombinaciones de los modos de realización descritos anteriormente. Los diagramas de bloque de la arquitectura y los flujogramas están agrupados para facilitar la comprensión. Sin embargo, debería observarse
50

que se contemplan combinaciones de bloques, adiciones de nuevos bloques, reorganización de bloques y similares en modos de realización alternativos de la presente invención.

[0102] En consecuencia, tanto la memoria descriptiva como los dibujos deberían contemplarse en un sentido ilustrativo en lugar de restrictivo. Sin embargo, resultará evidente que pueden realizarse diversas modificaciones y cambios en los mismos sin desviarse del alcance de la invención establecido en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para un sistema informático que comprende:
 - 5 la determinación de una pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior de una secuencia de escenas, donde una resolución de muestreo de las imágenes de resolución de muestreo inferior corresponde a un número de rayos de muestreo proyectados por píxel, donde la secuencia de escenas incluye una primera escena y una segunda escena, donde la primera escena se asocia a un primer descriptor de escena y donde la segunda escena se asocia a un segundo descriptor de escena;
 - 10 la determinación, mediante la utilización de las imágenes de resolución de muestreo inferior, de una pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas;
 - 15 la determinación de una primera imagen de resolución de muestreo superior de la primera escena mediante la utilización del primer descriptor de escena, la pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas y la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior, teniendo la primera imagen de resolución de muestreo superior una resolución superior que la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior; y
 - 20 la determinación de una segunda imagen de resolución de muestreo superior de la segunda escena mediante la utilización del segundo descriptor de escena, la pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas, y la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior.

2. El método de la reivindicación 1 donde la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior incluye tres o más imágenes de resolución de muestreo inferior; y donde cada ponderación asociada es un valor no negativo.

- 25 3. El método de la reivindicación 1 o 2, donde un número de descriptores de escena en la pluralidad de descriptores de escena es M; donde un número de imágenes de resolución de muestreo inferior en la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior es N; y donde $N < M$.

4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 donde la determinación de la primera imagen de resolución de muestreo superior de la primera escena comprende:
 - 30 1) la determinación de una contribución de iluminación indirecta asociada a cada ubicación en las imágenes de resolución de muestreo inferior mediante la utilización de contribuciones de iluminación indirecta asociadas al primer descriptor de escena;
 - 2) la determinación de un indicio de confianza asociado a cada ubicación en los modos de datos de renderizado intermedios primarios;
 - 35 3) la determinación de una pluralidad de ubicaciones en los modos de datos de renderizado intermedios primarios asociados a un indicio de confianza débil;
 - 4) la determinación de contribuciones de iluminación indirecta intermedias adicionales para cada ubicación asociada a un indicio de confianza débil; y
 - 40 5) la determinación de la primera imagen de resolución de muestreo superior mediante la utilización de al menos algunas de las contribuciones de iluminación indirecta y las contribuciones de iluminación indirecta intermedias adicionales.

5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde M indica el número de rayos de muestreo proyectados por píxel para determinar la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior;
 - 45 donde N indica un número de escenas en la pluralidad de escenas; el nivel de ruido de la primera imagen muestreada de resolución superior es equivalente al que se habría conseguido mediante un renderizado de la primera escena en la que el número de rayos de muestreo proyectados por píxel era M multiplicado por N.

6. Un producto de programa informático en un soporte legible por ordenador para un sistema informático que incluye un procesador incluye:
 - 50 código que ordena al procesador determinar una pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior de una secuencia de escenas, donde la secuencia de escenas incluye una primera escena y una segunda escena, donde la primera escena se asocia a un primer descriptor

de escena, y donde la segunda escena se asocia a un segundo descriptor de escena y donde una resolución de muestreo de las imágenes de resolución de muestreo inferior corresponde a un número de rayos de muestreo proyectados por píxel;

5 código que ordena al procesador determinar, mediante la utilización de las imágenes de resolución de muestreo inferior, una pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas;

10 código que ordena al procesador determinar una primera imagen de resolución de muestreo superior mediante la utilización del primer descriptor de escena, la pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas y las imágenes de resolución de muestreo inferior; y

código que ordena al procesador determinar una segunda imagen de resolución de muestreo superior mediante la utilización del segundo descriptor de escena, la pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas y las imágenes de resolución de muestreo inferior.

15 7. El producto de programa informático de la reivindicación 6 que comprende además:

código que ordena al procesador determinar primeros valores de sombreado para ubicaciones asociadas a la primera escena mediante la utilización de la pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas y la primera pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior;

20 código que ordena al procesador determinar segundos valores de sombreado para ubicaciones asociadas a la segunda escena mediante la utilización de la pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas y la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior; y

25 código que ordena al procesador almacenar los primeros valores de sombreado en al menos una primera imagen y los segundos valores de sombreado en al menos una segunda imagen.

8. El producto de programa informático de la reivindicación 7, que también comprende código que ordena al procesador determinar valores de confianza de los primeros valores de sombreado para las ubicaciones asociadas con la primera escena en base al número de rayos de muestreo proyectados por píxel y los modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas; y

30 que también comprende código que ordena al procesador determinar valores de sombreado adicionales mediante la proyección de un segundo número de rayos de muestreo en ubicaciones asociadas a la primera escena que tienen valores de confianza débiles; y donde el segundo número es mayor que el número de rayos de muestreo proyectados por píxel para determinar la imagen de resolución de muestreo inferior de la primera escena.

35 9. El producto de programa informático de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8 donde M indica un número de rayos de muestreo proyectados por píxel para determinar la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior; donde N indica un número de escenas en la pluralidad de escenas; el nivel de ruido de la primera imagen muestreada de resolución superior es equivalente al que se habría conseguido mediante un renderizado de la primera escena en la que el número de rayos de muestreo proyectados por píxel era M multiplicado por N.

40 10. Un sistema informático que comprende:

45 una memoria configurada para almacenar una pluralidad de descriptores de escena asociados a una secuencia de escenas que incluye una primera escena y una segunda escena, donde la primera escena se asocia a un primer descriptor de escena y la segunda escena se asocia a un segundo descriptor de escena; y un procesador acoplado a la memoria, donde el procesador está configurado para ejecutar código que implementa un método que comprende:

50 la determinación de una pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior de la secuencia de escenas, donde una resolución de muestreo de las imágenes de resolución de muestreo inferior corresponde a un número de rayos de muestreo proyectados por píxel, la determinación, mediante la utilización de las imágenes de resolución de muestreo inferior, de una pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas;

5 la determinación de una primera imagen de resolución de muestreo superior de la primera escena mediante la utilización del primer descriptor de escena, la primera pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas y la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior, teniendo la primera imagen de resolución de muestreo superior una resolución superior que la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior; y

10 la determinación de una segunda imagen de resolución de muestreo superior de la segunda escena mediante la utilización del segundo descriptor de escena, la pluralidad de modos de datos de renderizado intermedios primarios y ponderaciones asociadas, y la pluralidad de imágenes de resolución de muestreo inferior.

11. El sistema informático de la reivindicación 10 donde la determinación de la imagen de resolución de muestreo superior utiliza una contribución de iluminación seleccionada a partir de un grupo que consiste en; una única imagen bidimensional, múltiples imágenes bidimensionales, múltiples mapas de textura, un mapa de vóxeles.

15 12. El sistema informático de la reivindicación 10 u 11, donde

la primera imagen de resolución de muestreo superior y la segunda imagen de resolución de muestreo superior están temporalmente suavizadas sin estar suavizadas espacialmente.

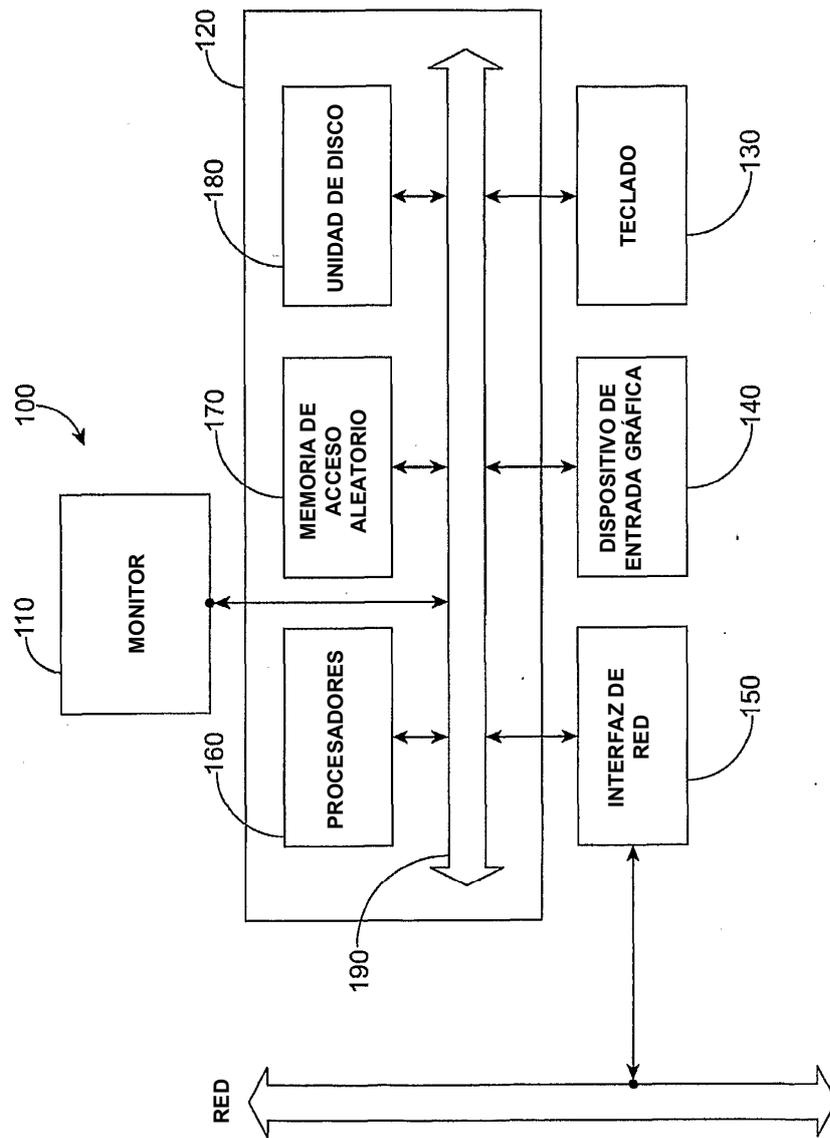


FIG.1

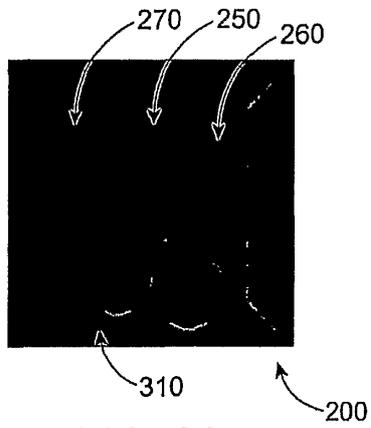


FIG. 2A

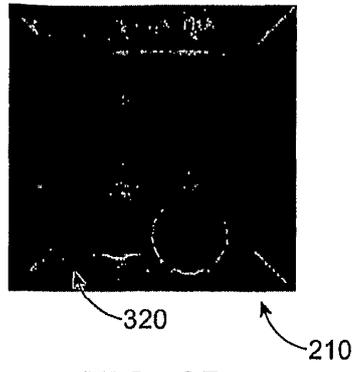


FIG. 2B

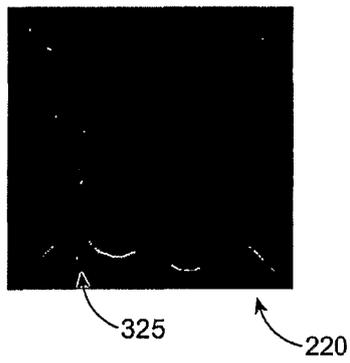


FIG. 2C

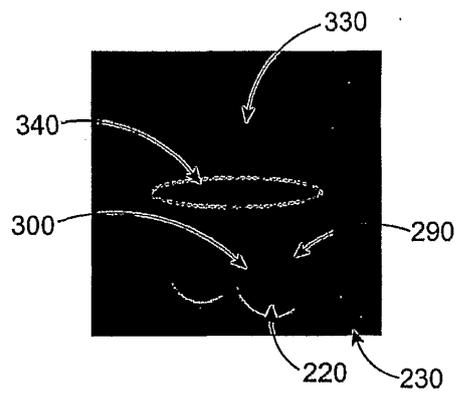


FIG. 2D

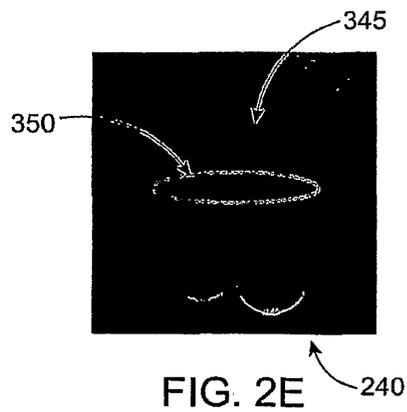


FIG. 2E

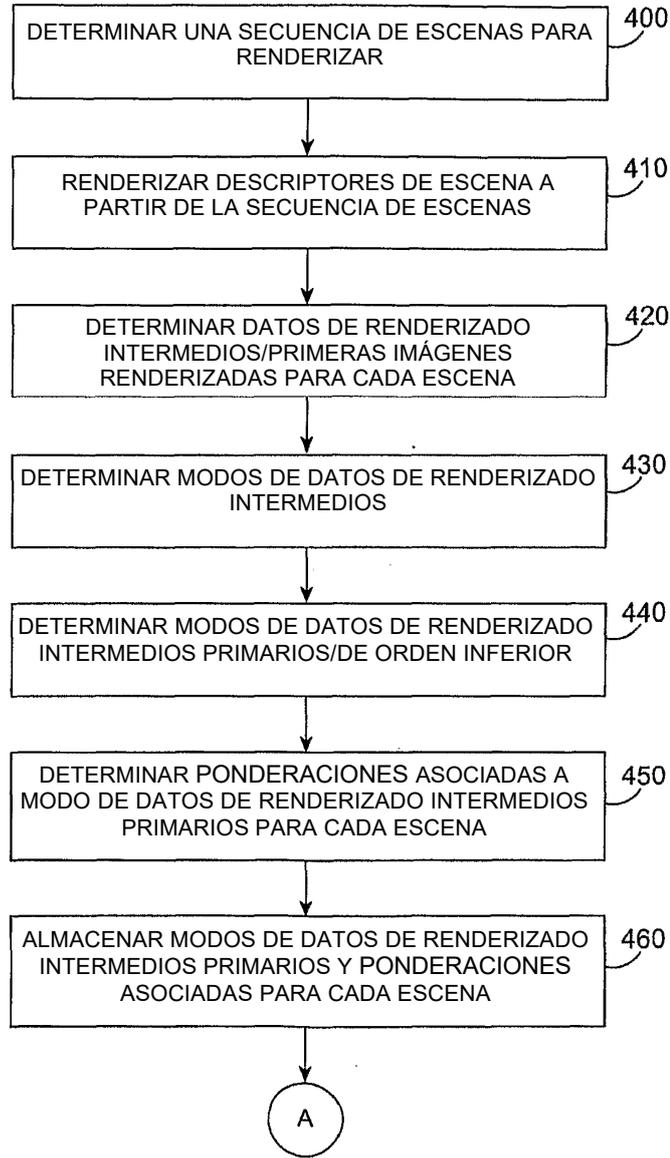


FIG. 3A

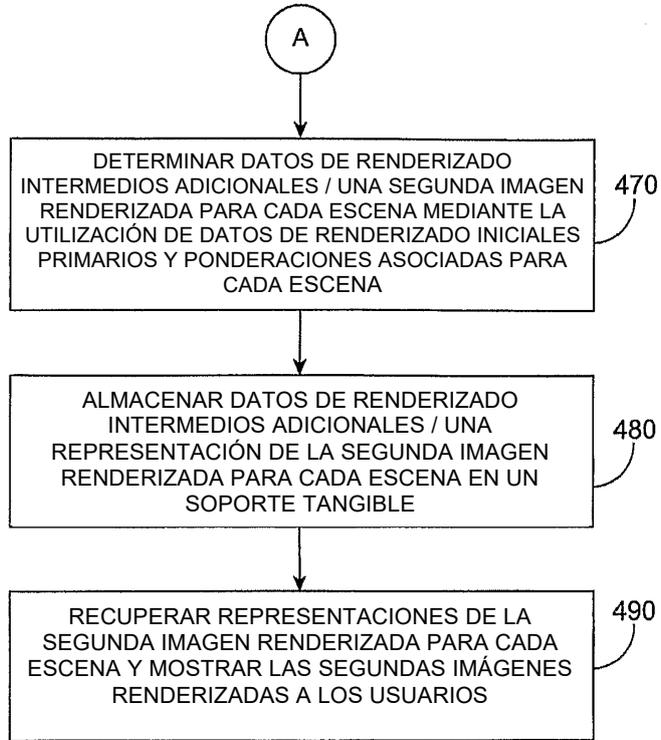


FIG. 3B

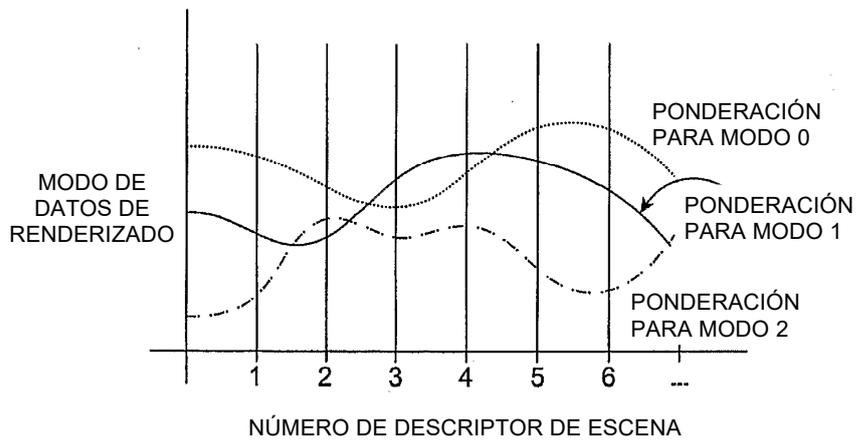


FIG. 4

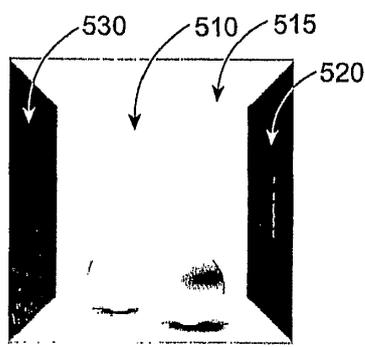


FIG. 5A

500

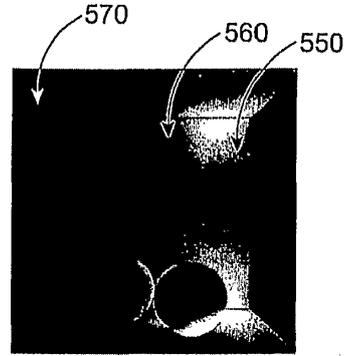


FIG. 5B

540

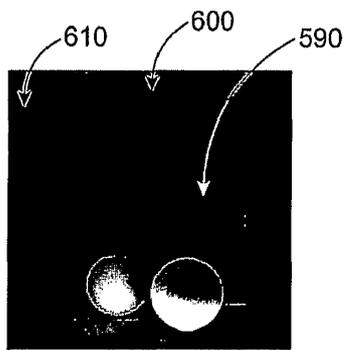


FIG. 5C

580

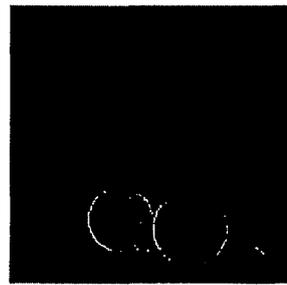


FIG. 5D



FIG. 5E

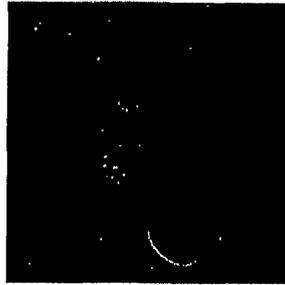


FIG. 5F

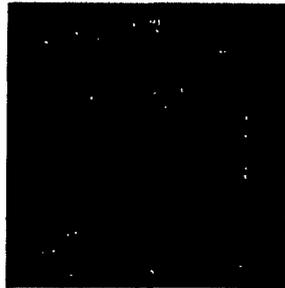


FIG. 5G

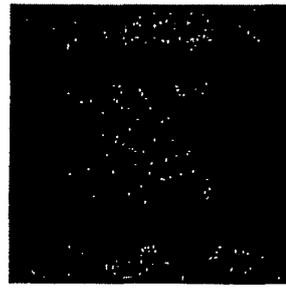


FIG. 5H

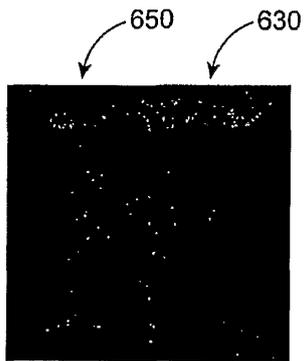


FIG. 5I

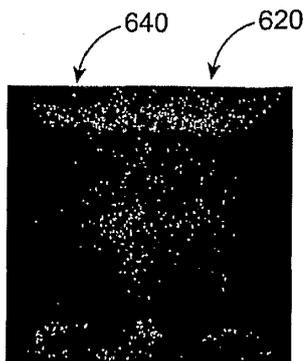


FIG. 5J

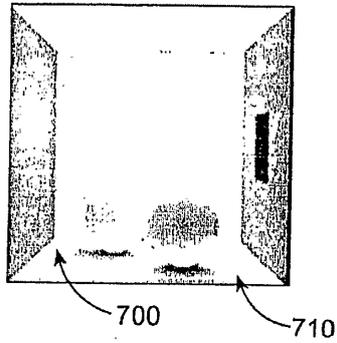


FIG. 6A

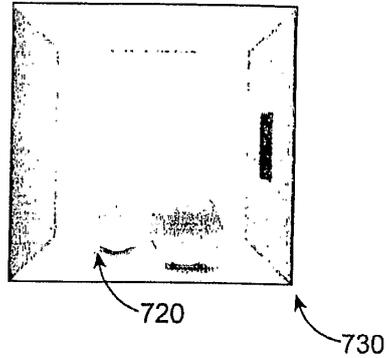


FIG. 6B

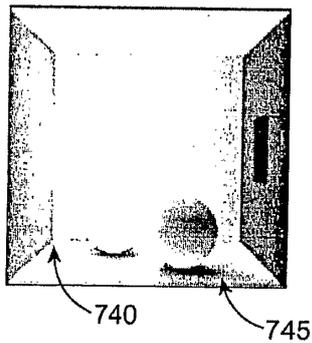


FIG. 6C

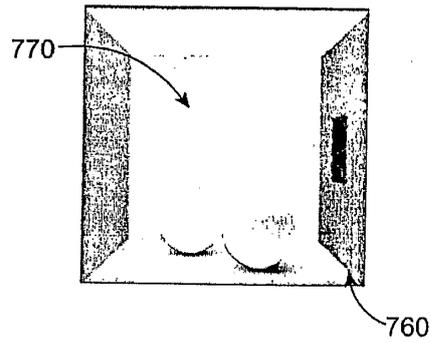


FIG. 6D

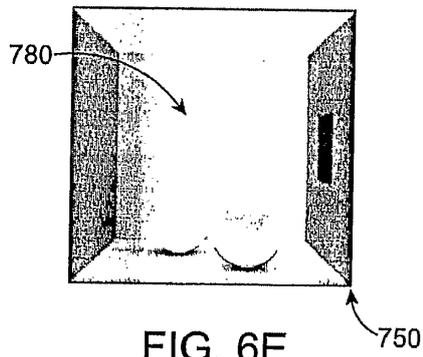


FIG. 6E

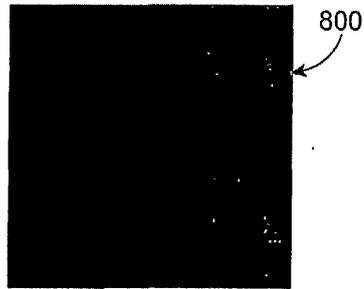


FIG. 7A

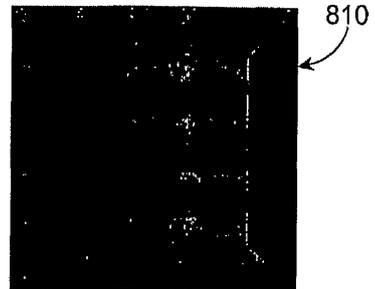


FIG. 7B

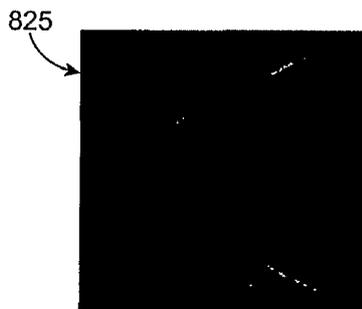


FIG. 7C



FIG. 7D

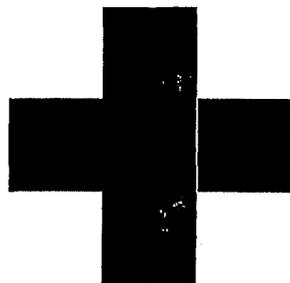


FIG. 7E



FIG. 7F

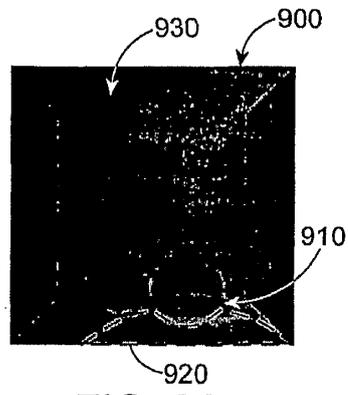


FIG. 8A



FIG. 8B

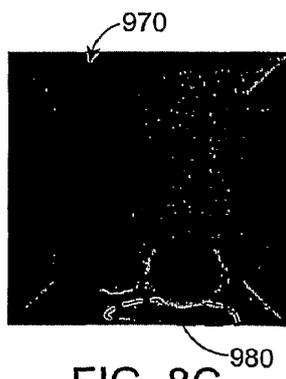


FIG. 8C

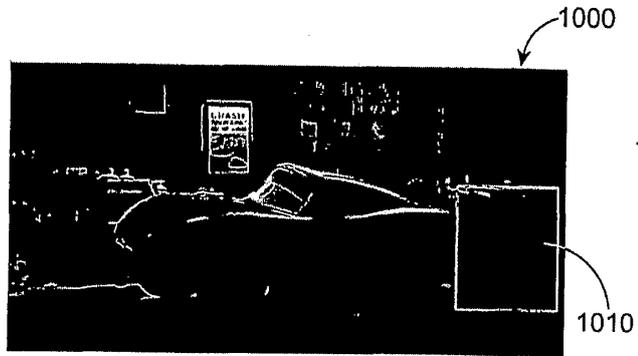


FIG. 9A

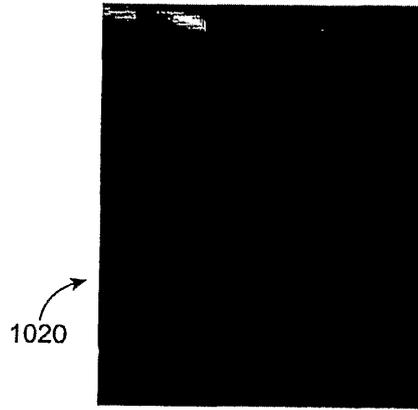


FIG. 9B

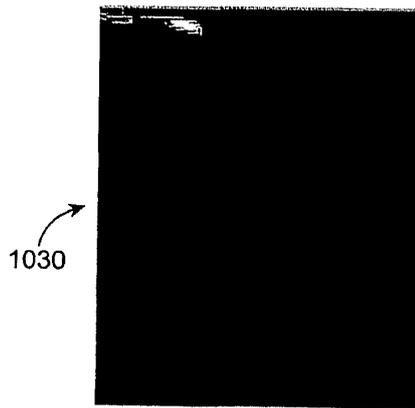


FIG. 9C