



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 311 067**

(51) Int. Cl.:
G06T 15/50 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **02778898 .3**

(96) Fecha de presentación : **07.06.2002**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1405271**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **07.04.2004**

(54) Título: **Restitución de imágenes usando la metodología de la ruleta rusa para evaluar la iluminación global.**

(30) Prioridad: **07.06.2001 US 297139 P**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.02.2009

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.02.2009

(73) Titular/es: **Mental Images GmbH**
Fasanenstrasse 81
10623 Berlin, DE

(72) Inventor/es: **Abramov, Juri y**
Jonsson, Kristjan, Valur

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 311 067 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

Restitución de imágenes usando la metodología de la ruleta rusa para evaluar la iluminación global.

5 La solicitud de patente internacional N° WO 98/59322 a nombre de Martin Grabenstein y otros, titulada “Sistema y Método para generar valores de píxeles” (a la que en lo sucesivo se denomina la solicitud de Grabenstein) cedida al cesionario de la presente solicitud es un documento de la técnica anterior.

Campo de la invención

10 La invención se refiere generalmente al campo de los gráficos de ordenador, y más particularmente a los sistemas y métodos para generar valores de píxeles para los píxeles de una imagen que se restituyen usando secuencias de baja discrepancia estrictamente determinísticas para proporcionar puntos de muestra a fin de generar estimaciones de los valores de las integrales que representan los valores de los píxeles.

Antecedentes de la invención

15 En los gráficos de ordenador, se usa un ordenador para generar datos digitales que representan la proyección de las superficies de los objetos, por ejemplo en una escena tridimensional, iluminada por una o varias fuentes de luz, sobre una imagen plana bidimensional, a fin de simular el registro de la escena, por ejemplo mediante una cámara. La cámara puede incluir una lente para proyectar la imagen de la escena sobre el plano de la imagen, o puede comprender una cámara de microorificio, en cuyo caso no se usa lente alguna. La imagen bidimensional tiene la forma de un conjunto de elementos de imagen (los cuales son denominados indistintamente “píxeles” o “Pels”), y los datos generados para cada píxel representan el color y la luminancia de la escena tal como se proyecta sobre el plano de la imagen en el punto del píxel respectivo en el plano de la imagen. Las superficies de los objetos pueden tener cualquier número de tipos de características, incluyendo forma, color, especularidad, textura, etc., que son restituidos en la imagen lo más próximamente posible, para proporcionar una imagen de aspecto realista.

20 Por lo general, las contribuciones de la luz reflejada en los diversos puntos de la escena al valor del píxel que representa el color y la intensidad de un píxel concreto se expresan en forma de una o varias integrales de funciones relativamente complicadas. Una metodología de restitución la “iluminación global”, incluye una clase de efectos ópticos tales como la iluminación indirecta, las reflexiones desde las superficies de diversos tipos de características, tales como superficies difusas, brillantes y especulares, cáusticas y con sangría de color, las cuales son simuladas al generar una imagen. En la iluminación global, una ecuación de restitución se resuelve una “ecuación de restitución” la cual tiene la forma general

$$40 \quad f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x, y) f(y) dy \quad (1)$$

45 donde “g” y “K” son funciones conocidas (a veces se denomina a “K” el cubo unidad de la ecuación integral, y “f” es una función desconocida. Por lo general, “f(x)” representa la luminancia de un punto concreto en la imagen de una dirección determinada y “g(x)” representa la iluminación de ambiente. La función “K” es típicamente una función compleja que incluye habitualmente factores tales como las características de las superficies de los objetos cada una respecto a las otras, si una superficie es visible desde otra, etc. En relación con un aspecto de la simulación que usa el trazado de rayos, en la cual una imagen tal como es vista por un observador es simulada trazando rayos, que representan fotones, entre una fuente de luz y el ojo del observador, se puede obtener la función desconocida “f” como

$$55 \quad f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x, x_1) g(x_1) dx_1 \\ 60 \quad + \int_0^1 \int_0^1 K(x, x_1) K(x_1, x_2) g(x_2) dx_1 dx_2 \\ + \int_0^1 \int_0^1 \int_0^1 K(x, x_1) K(x_1, x_2) K(x_2, x_3) g(x_3) dx_1 dx_2 dx_3 \dots \quad (2)$$

65 Si la serie converge. La serie se garantiza como convergente si $\limsup_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\|K^n\|} < 1$.

Como se describe en la solicitud de Grabenstein, se puede obtener una aproximación de la función desconocida “f” de la forma siguiente. Definiendo la función $\Theta(x)$ de Heaviside como

$$\Theta(x) = \begin{cases} 1, & \text{for } x > 0 \\ 0, & \text{for } x \leq 0 \end{cases} \quad (3),$$

a la cual se denominará un “operador de Ruleta Rusa”, la estimación n-ésima de la ecuación (2) viene dada por

$$\begin{aligned} f_{ids,RR}^{(n)} = & g(x) + \Theta\left(K(x, \xi_1^{(n)}) - \xi_1^{(n)}\right) g(\xi_1^{(n)}) \\ & + \Theta\left(K(x, \xi_1^{(n)}) - \xi_1^{(n)}\right) \Theta\left(K(\xi_1^{(n)}, \xi_2^{(n)}) - \xi_2^{(n)}\right) g(\xi_2^{(n)}) \\ & + \Theta\left(K(x, \xi_1^{(n)}) - \xi_1^{(n)}\right) \Theta\left(K(\xi_1^{(n)}, \xi_2^{(n)}) - \xi_2^{(n)}\right) \Theta\left(K(\xi_2^{(n)}, \xi_3^{(n)}) - \xi_3^{(n)}\right) g(\xi_3^{(n)}) \\ & + \dots \end{aligned} \quad (4),$$

donde $\xi_1^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}$ y $\xi_1^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}$ comprenden secuencias “s”-dimensionales de baja discrepancia, tales como las secuencias de Halton. Las cuales proporcionan unos puntos de muestra en el cubo unidad $(1,0)^s$ para la ecuación respectiva. Las secuencias de Halton están descritas en la solicitud de Grabenstein. La serie de la ecuación (4), que corresponde a la ecuación (27) de la solicitud de Grabenstein, se usa en relación con el trazado de rayos en la dirección de la imagen hacia la(s) fuente(s) de luz, la cual se denomina a veces Trazado de rayos de fuente “ojo a luz”, en el cual la imagen a restituir simula la imagen de una escena tal como la vería el ojo de una persona que estuviera observando la escena. En la ecuación (4), el primer sumando de la serie del miembro de la derecha (es decir, el término “g(x)”) representa la iluminación de ambiente, el siguiente sumando (es decir el primer término Θ) representa la iluminación directa, el siguiente sumando representa la reflexión o refracción de profundidad uno en la dirección del ojo hacia la fuente de luz, el siguiente sumando representa la reflexión o refracción de profundidad dos en la dirección del ojo hacia la fuente de luz, y así sucesivamente. El operador de Ruleta Rusa opera esencialmente como una verificación de Ruleta Rusa, y garantizará que la serie de la ecuación (4) terminará esencialmente en algún sumando, puesto que eventualmente el valor de uno de los operadores Θ de Ruleta Rusa se encontrará también en todos los términos sucesivos de la serie. Se observa que, en la ecuación (4)

(i) cada verificación de Ruleta Rusa requiere la evaluación del cubo unidad “K” y “x” y respectivamente

$$\xi_1^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}, \text{ y}$$

(ii) para los sumandos respectivos de la ecuación (18), el valor de la función “g” que multiplica Θ en los diferentes puntos de muestra $\xi_1^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}$.

Como alternativa, si en vez de usar el trazado de rayos de imagen a fuente de luz, se realiza el trazado de rayos desde la fuente de luz hacia la imagen (lo cual se denomina a veces trazado de rayos de luz a ojo) se puede realizar la estimación “n-ésima” de tal manera que el valor de la función “g” que multiplica al operador Θ de Ruleta Rusa en los sumandos se evalúa en un punto, es decir, en el punto $\xi_1^{(n)}$. En el trazado de rayos de fuente a ojo, en lugar de la ecuación (2), se puede obtener la función desconocida “f” como

$$\begin{aligned} f(x) = & g(x) + \int_0^1 K(x, x_1) g(x_1) dx_1 \\ & + \int_0^1 \int_0^1 K(x, x_2) K(x_2, x_1) g(x_1) dx_1 dx_2 \\ & + \int_0^1 \int_0^1 \int_0^1 K(x, x_3) K(x_3, x_2) K(x_2, x_1) g(x_1) dx_1 dx_2 dx_3 \dots \end{aligned} \quad (5).$$

que a su vez, pueden estimarse usando

$$\begin{aligned} f_{lds,RR}^{(n)}(x) = & g(x) + K(x, \xi_1^{(n)}) g(\xi_1^{(n)}) \\ & + K(x, \xi_2^{(n)}) \Theta(K(\xi_2^{(n)}, \xi_1^{(n)}) - \xi_1^{(n)}) g(\xi_1^{(n)}) \\ & + K(x, \xi_3^{(n)}) \Theta(K(\xi_3^{(n)}, \xi_2^{(n)}) - \xi_2^{(n)}) \Theta(K(\xi_2^{(n)}, \xi_1^{(n)}) - \xi_1^{(n)}) g(\xi_1^{(n)}) \\ & + \dots \end{aligned} \quad (6)$$

Al igual que con la ecuación (4), el primer sumando de la serie del miembro de la derecha (es decir, el término “ $g(x)$ ”) representa la iluminación de ambiente, el siguiente sumando (es decir, el término primer Θ) representa la iluminación directa. En contraste con la ecuación (4), el siguiente sumando representa la reflexión o refracción de profundidad uno en la dirección de la fuente de luz hacia el ojo, el siguiente sumando representa la reflexión o refracción de profundidad dos en la dirección de la fuente de luz hacia el ojo, y así sucesivamente. Al igual que con la ecuación (4), la serie de la ecuación (6) se truncará eventualmente desde el momento en el que el valor de uno de los operadores Θ de Ruleta Rusa sea igual a cero, y el operador de Ruleta Rusa Θ aparecerá también en todos los términos de la serie. Una comparación entre la ecuación (6) y la ecuación (4) revela que:

(i) puesto que la línea superior de la ecuación (6) no implica una verificación de Ruleta Rusa, se requerirá típicamente una verificación menos de Ruleta Rusa que en la ecuación (4); y

(ii) la función “ g ” sólo necesita evaluar un punto de muestra, concretamente $\xi_1^{(n)}$, reduciendo el valor del tiempo de procesamiento requerido para generar cada sumando.

La metodología anteriormente descrita en relación con las ecuaciones (1) a (6) supone generalmente que el color es monocromático. La invención dispone una metodología de Ruleta Rusa mejorada que permite su uso en relación con una variedad de colores y características de las superficies de los objetos en la escena.

Resumen de la invención

La invención proporciona un sistema y un método para generar valores de píxeles para los píxeles de una imagen que están siendo reemplazados usando unas secuencias estrictamente determinísticas de baja discrepancia para proporcionar unos puntos de muestra para generar estimaciones de los valores de las integrales que representan los valores de los píxeles.

Haciendo un breve resumen, la invención proporciona un sistema de gráficos de ordenador para generar un valor de píxel correspondiente a un píxel de una imagen, siendo el píxel representativo de un punto $\vec{x}$ de una escena. El sistema de gráficos de ordenador genera el valor del píxel para simular la iluminación global correspondiente a una pluralidad de colores, estando representada la iluminación global por una función $f(x)$ y teniendo la función $f(x)$ la

forma $f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x, y) f(y) dy$, donde $f(x)$ y de forma similar $f(y)$ es una función desconocida, y $g(x)$ y $K(x, y)$ son funciones conocidas, sirviendo $K(x, y)$ como “cubo unidad” de la integral, incluyendo el cubo unidad $K(x, y)$ una función asociada con al menos dos colores. El sistema de gráficos de ordenador comprende un módulo generador, un módulo de valor de luminancia y un generador de valores de píxel. El módulo generador de estimador está configurado para generar un número “ N ”

$$\begin{aligned} \overline{f}_{lds,RR}^{(n)}(x) = & g(x) + K(x, \xi_1^{(n)}) S_1^{(n)} \\ & + K(x, \xi_2^{(n)}) S_2^{(n)} \\ & + K(x, \xi_3^{(n)}) S_3^{(n)} \\ & + \dots \end{aligned}$$

donde $S_j^{(n)}$ se definen de forma recurrente como

$$\begin{aligned} S_1^{(n)} &:= g(\xi_1^{(n)}), \\ S_{j+1}^{(n)} &:= \frac{\Theta\left(M_{K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})} S_j^{(n)} - \xi_j^{(n)}\right)}{M_{K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})}} K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)}) S_j^{(n)} \end{aligned} \quad (8) .$$

con

$$M_{A,B} := \begin{cases} \frac{\int_0^1 A_\lambda B_\lambda d\lambda}{\int_0^1 B_\lambda d\lambda}, & \text{if } \int_0^1 B_\lambda d\lambda > 0 \\ 0, & \text{if } \int_0^1 B_\lambda d\lambda = 0 \end{cases} \quad (9) .$$

y donde $\Theta(x)$ representa la función de Heaviside y $\xi_1^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}, \xi_L^{(n)}$, representan componentes de una secuencia multidisciplinar de baja discrepancia y donde “n” designa un índice de secuencia, el generador de estimador que genera términos sucesivos para cada estimador $f_{est,RR}^{(n)}(x)$ hasta que genera un término que tiene un valor cero. El módulo del valor de luminancia está configurado para generar un valor de luminancia para el punto de la escena como la media de dichos valores estimados generados por dicho módulo de generador de estimador. El módulo generador de valores de píxel está configurado para usar el valor de luminancia generado para el punto de la escena en la generación del valor de píxel.

En otro aspecto, la invención proporciona un sistema de gráficos de ordenador para generar un valor de píxel correspondiente a un píxel de la imagen, siendo el píxel representativo de un punto $\vec{x}$ de una escena. El sistema de gráficos de ordenador genera un valor de píxel para simular la iluminación global para una pluralidad de colores, estando representada la iluminación global por una evaluación de una función $f(x)$ sobre una esfera centrada en el

punto de la escena, teniendo la función $f(x)$ la forma $f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x,y) f(y) dy$, donde $f(x)$ (y de manera similar $f(y)$) es una función desconocida y $g(x)$ y $K(x, y)$ son funciones conocidas, sirviendo $K(x, y)$ como “cubo unidad” de la integral, incluyendo el cubo unidad $K(x, y)$ una función asociada con al menos dos colores. El sistema de gráficos de ordenador comprende un módulo generador de estimador, un módulo de valor de luminancia y un generador de valores de píxel. El módulo generador de estimador está configurado para generar un número “N” seleccionado de estimadores $f_{est,RR}^{(n)}(x)$ como

$$\begin{aligned} f_{est,RR}^{(n)}(x) &= g(x) + T_1^{(n)}(x) g(\xi_1^{(n)}) \\ &\quad + T_2^{(n)}(x) g(\xi_2^{(n)}) \\ &\quad + T_3^{(n)}(x) g(\xi_3^{(n)}) \\ &\quad + \dots \end{aligned} \quad (10) .$$

donde $T_i^{(n)}$ se definen de forma recurrente como

$$T_1^{(n)}(x) := \frac{\Theta\left(M_{K(x, \xi_1^{(n)})} - \xi_1^{(n)}\right)}{M_{K(x, \xi_1^{(n)})}} K(x, \xi_1^{(n)})$$

$$T_{j+1}^{(n)}(x) := \frac{\Theta\left(M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})} T_j^{(n)}(x) - \xi_{j+1}^{(n)}\right)}{M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})} T_j^{(n)}(x)} K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)}) \quad (11)$$

con

$$M_{A,B} := \begin{cases} \frac{\int_0^1 A_\lambda B_\lambda d\lambda}{\int_0^1 B_\lambda d\lambda}, & \text{if } \int_0^1 B_\lambda d\lambda > 0 \\ 0, & \text{if } \int_0^1 B_\lambda d\lambda = 0 \end{cases} \quad (12)$$

y donde $\Theta(x)$ representa la función de Heaviside, y $\xi_1^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}, \xi_L^{(n)}$, representa componentes de una secuencia de baja discrepancia predeterminada estrictamente multidimensional y donde "n" representa un índice de secuencia, generando el generador de estimador términos sucesivos de cada estimador $f_{max}^{(n)}(x)$ hasta que genera un término que tiene un valor cero. El generador de luminancia está configurado para generar un valor de luminancia para el punto de la escena como media de dichos valores de estimador generados por el módulo generador de estimador. El módulo generador de valores de píxel está configurado para usar el valor de luminancia generado para el punto de la escena en la generación del valor de píxel.

Breve descripción de los dibujos

Esta invención queda definida particularmente en las reivindicaciones anexas. Se puede entender mejor lo anterior y las ventajas adicionales de esta invención haciendo referencia a la descripción siguiente tomada conjuntamente con los dibujos anexas, en los cuales:

la Fig. 1 representa a título ilustrativo un sistema de gráficos de ordenador construido de acuerdo con la invención;

Descripción detallada de una realización ilustrativa

La invención proporciona un sistema de gráficos de ordenador y un método para generar valores de píxeles correspondientes a los píxeles de una imagen de una escena, el cual hace uso de una metodología de iluminación global que permite su uso en relación con una variedad de colores y características de superficies de objetos en la escena. La Fig. 1 aquí anexa representa un sistema ilustrativo de ordenador 10 que hace uso de una metodología de iluminación global de este tipo. Haciendo referencia a la Fig. 1, el sistema de ordenador 10 de una realización incluye un módulo 11 de procesador y unos elementos de interfaz que comprenden unos componentes de introducción de operador tales como un teclado 12A y/o un ratón 12B (generalmente identificado(s) como elemento(s) de introducción de operador (12)) y un elemento de salida a operador tal como un dispositivo de monitor de vídeo 13. El sistema de ordenador 10 ilustrativo es de una arquitectura de ordenador con programas almacenados de tipo convencional. El módulo procesador 11 incluye, por ejemplo, uno o varios dispositivos de procesador, memoria y almacenamiento masivo, tales como elementos de almacenamiento en disco y/o cinta (no mostrados por separado), los cuales realizan las operaciones de procesamiento y almacenamiento en relación con los datos digitales que se proporcionan a los mismos. Si el módulo de procesador 11 incluye una pluralidad de dispositivos procesadores, se pueden configurar los respectivos dispositivos procesadores para procesar diversas porciones, de una única tarea, en paralelo, en cuyo caso la tarea se puede ejecutar con mayor rapidez que de otra forma. El (Los) elemento(s) de introducción de operador 12 son proporcionados para permitir a un operador introducir información para su procesamiento. El dispositivo monitor de vídeo 13 se proporciona para presentar la información de salida generada por el módulo 11 de procesador en una pantalla 14 al operador, incluyendo datos que pueda introducir el operador para controlar el procesamiento, así como la información generada durante el procesamiento. El módulo de procesador 11 genera información para su presentación en pantalla por parte del dispositivo de monitor de vídeo 13 usando una así denominada "interfaz de gráficos de usuario" (GUI), en la cual se presenta la información correspondiente a los diversos programas usando diversas ventanas. Aunque se muestra el sistema 10 de ordenador como comprendiendo componentes concretos, tales como el teclado 12A y el ratón 12B

para recibir la información de introducción procedente de un operador, y un dispositivo de monitor de video 13 para presentar la información de salida al operador, se apreciará que el sistema de ordenador 10 puede incluir una variedad de componentes adicionalmente a los representados en la Fig. 1 o en lugar de los mismos.

Adicionalmente, el módulo de procesador 11 incluye uno o varios puertos de red, generalmente identificados por un número de referencia 14, los cuales se conectan a unos enlaces de comunicación los cuales conectan el sistema de ordenador 10 a una red informática. Los puertos de la red permiten al sistema de ordenador 10 transmitir información a otros sistemas de ordenador y otros dispositivos de la red y recibir información de los mismos. En una red típica, organizada, por ejemplo, según el paradigma cliente-servidor, ciertos sistemas informáticos de la red son designados como servidores, los cuales almacenan datos y programas (generalmente "información") para su procesamiento por los otros, sistemas informáticos clientes, para de esta forma permitir a los sistemas informáticos compartir la información de manera conveniente. Un sistema informático cliente que necesite acceder a la información mantenida en un servidor concreto permitirá al servidor descargar la información sobre la red. Después de procesar los datos, el sistema informático cliente puede también devolver los datos procesados al servidor para su almacenamiento. Adicionalmente, a los sistemas informáticos, (que incluyen los servidores y clientes anteriormente descritos), una red puede incluir también, por ejemplo, impresoras y dispositivos de fax, dispositivos de almacenamiento de audio y video digitales y dispositivos de distribución, etc., los cuales pueden ser compartidos entre los diversos sistemas informáticos conectados a la red. Los enlaces de comunicación que interconectan los sistemas informáticos en la red pueden comprender. Tal como es convencional, cualquier medio portador de información conveniente, incluyendo cables, fibras ópticas u otros medios para portar las señales entre los sistemas informáticos. Los sistemas informáticos transfieren información a por la red mediante mensajes transferidos sobre los enlaces de comunicación, incluyendo cada mensaje la información y un identificador que señala el dispositivo que debe recibir el mensaje.

La invención proporciona una metodología de Ruleta Rusa mejorada para proporcionar color multicromático y diversas características de la superficie, tales como brillante, difusa y especular, de los objetos situados en la escena, en una restitución de imágenes que usa la metodología de la iluminación global. Tal como se observó anteriormente, la iluminación implica resolver una "ecuación de restitución", la cual tiene la forma general

$$f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x,y) f(y) dy \quad (13),$$

Donde "g" y el cubo unidad "K" son funciones conocidas y "f" es una función desconocida. Generalmente, la luminancia de un color concreto se puede representar como una integral sobre un espectro con un peso

$$I_\lambda : \int_0^\infty I_\lambda y_\lambda d\lambda$$

donde "λ" se refiere a la longitud de onda e "y_λ" se refiere a la radiancia espectral, es decir, el flujo radiante, para la longitud de onda λ, por unidad de intervalo de longitud de onda e "I_λ" es la eficiencia luminosa espectral fototópica, la cual es una ponderación con la cual el ojo humano percibe la luz que tiene

$$\int_0^\infty I_\lambda d\lambda = 1$$

la respectiva longitud de onda λ. Por conveniencia, se supone que la intensidad de luminancia sobre la totalidad del espectro está normalizada. En la práctica, la intensidad de luminancia "I" en vez de ser una función continua de la longitud de onda λ se representa por un conjunto predeterminado de canales de color. Habitualmente se usan tres canales como rojo, azul y verde separados. En ese caso, se puede escribir la intensidad de

luminancia "I" en la forma $I = c_r \delta_r + c_g \delta_g + c_b \delta_b$, donde "c_r", "c_g" y "c_b" son coeficientes que se usan para los respectivos canales de colores por una norma particular (los subíndices "r", "g"

y "b" pueden representar "rojo", "verde" y "azul" respectivamente) y "δ_r", "δ_g" y "δ_b" son unas funciones delta que tienen el valor "uno" de un color asociado con que el canal de color respectivo esté presente, siendo "cero" en caso contrario.

Se define un coeficiente de cambio de intensidad $M_{A,B}$ para un B aplicando otra función A definida por

$$M_{A,B} := \begin{cases} \frac{\int_0^\infty A_\lambda B_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty B_\lambda d\lambda}, & \text{if } \int_0^\infty B_\lambda d\lambda > 0 \\ 0, & \text{if } \int_0^\infty B_\lambda d\lambda = 0 \end{cases} \quad (14),$$

(if = si)

donde "A" en la ecuación (14) constituirá el cubo unitario "K" (ecuación de referencia (13) en los puntos x, y)

Bajo el supuesto de que el valor de la norma de K sea inferior o igual a "uno", lo cual, en gráficos de ordenador representará que la energía de un fotón no aumenta después de que el fotón haya sido emitido por la(s) fuente(s) de luz, $M_{K(x,y),B} \leq 1$ para todos los (x, y). Si "B" es también función de "y", es decir $B = t(y)$, como es el caso con " $f(y)$ " en la ecuación 13, entonces

$$K(x,y)t(y) = \int_0^1 \left(\frac{K(x,y)t(y)}{M_{K(x,y),t(y)}} \Theta \left(M_{K(x,y),t(y)} - \varsigma \right) \right) d\varsigma \quad (15)$$

Definiendo de manera recurrente

$$\begin{aligned} S_1^{(n)} &:= g(\xi_1^{(n)}), \\ S_{j+1}^{(n)} &:= \frac{\Theta \left(M_{K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})}, S_j^{(n)} - \xi_j^{(n)} \right)}{M_{K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})}, S_j^{(n)}} K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)}) S_j^{(n)} \end{aligned} \quad (16)$$

y usando la ecuación (9), la ecuación (6), la ecuación para estimar la evaluación de la ecuación (15) para el trazado del rayo de la fuente de luz al rayo, se puede generalizar para acomodarse a un espectro de colores como

$$\begin{aligned} \bar{f}_{lds,RR}^{(n)}(x) &= g(x) + K(x, \xi_1^{(n)}) S_1^{(n)} \\ &\quad + K(x, \xi_2^{(n)}) S_2^{(n)} \\ &\quad + K(x, \xi_3^{(n)}) S_3^{(n)} \\ &\quad + \dots \end{aligned} \quad (17)$$

La ecuación (17) es una generalización de la ecuación (6), con el cubo unidad "K" ajustando el espectro de colores mientras que se mantiene constante la intensidad de la luminancia. Para las imágenes monocromáticas, el valor de $M_{K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})}, S_j^{(n)}$ en la ecuación (16) corresponde a $K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})$, en cuyo caso

$$S_{j+1}^{(n)} = \ominus \left(K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)}) - \xi_j^{(n)} \right) g(\xi_1^{(n)})$$

y la ecuación (17) se reduce a la ecuación (6).

Los multiplicadores $S_j^{(n)}$ en los sumandos de la ecuación (17) representan esencialmente descripciones del flujo de fotones que se usan para incidir en una superficie de un objeto de una escena, antes de su interacción con

$$K(x, \xi_j^{(n)})$$

una superficie respectiva de un objeto en la escena en la cual inciden. Los multiplicandos $K(x, \xi_j^{(n)})$, a su vez, representan las interacciones del flujo de fotones con la superficie respectiva, en particular como la superficie respectiva refleja, absorbe, bloquea, etc. los fotones respectivos de las distintas longitudes de onda que comprenden el flujo que incide sobre la respectiva superficie.

Como se observó anteriormente, las ecuaciones (14) a (17) suponen que la norma de "cubo unidad" es igual o menor a uno. Se apreciará que, si el valor de la norma de cubo unitario "K" no es inferior o igual a "uno", es decir,

$$M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_j^{(n)})} S_j^{(n)} > 1$$

si al menos para un conjunto de valores de "j" y "n",

$$M_{K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})} S_j^{(n)}$$

se puede

dividir en dos ramas $\left[M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_j^{(n)})} S_j^{(n)} \right] \circ \left[M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_j^{(n)})} S_j^{(n)} + 1 \right]$ usando

$$\ominus \left(M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_j^{(n)})} S_j^{(n)} - \left[M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_j^{(n)})} S_j^{(n)} \right] - \xi_j^{(n)} \right) \quad (18),$$

para cierto valor de control de división $\xi_j^{(n)}$, a fin de controlar la decisión de ramificación.

La ecuación (10) que se usa para estimar la evaluación de la educación (7) para el trazado de rayo de ojo a fuente de luz, se puede generalizar para acomodarse a un espectro de colores de manera similar. Definiendo de manera recurrente

$$\begin{aligned} T_1^{(n)}(x) &:= \frac{\ominus \left(M_{K(x, \xi_1^{(n)})} - \xi_1^{(n)} \right)}{M_{K(x, \xi_1^{(n)})}} K(x, \xi_1^{(n)}) \\ T_{j+1}^{(n)}(x) &:= \frac{\ominus \left(M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})} T_j^{(n)}(x) - \xi_{j+1}^{(n)} \right)}{M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})} T_j^{(n)}(x)} K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)}) \end{aligned} \quad (19)$$

la ecuación (10) se generaliza como

$$\begin{aligned} f_{lds,RR}^{(n)}(x) &= g(x) + T_1^{(n)}(x) g(\xi_1^{(n)}) \\ &\quad + T_2^{(n)}(x) g(\xi_2^{(n)}) \\ &\quad + T_3^{(n)}(x) g(\xi_3^{(n)}) \\ &\quad + \dots \end{aligned} \quad (20).$$

La ecuación (20) se reduce a la ecuación (10) de manera similar al modo en el que la ecuación (17) se reduce a

la ecuación (6) en el caso monocromático. En comparación con la ecuación (17), los multiplicadores $g(\xi_j^{(n)})$ de los sumandos de la ecuación (20) representan esencialmente descripciones del flujo de fotones que van a incidir en la superficie de un objeto de la escena antes de su interacción con una superficie respectiva de un objeto de la escena

sobre el cual inciden. Los multiplicandos $T_j^{(n)}$. A su vez, representan las interacciones del flujo de fotones con la superficie respectiva, en particular la forma en que la superficie respectiva refleja, absorbe, bloquea etc. los fotones respectivos de las diversas longitudes de onda que comprenden el flujo que incide en la superficie respectiva.

En consecuencia, el sistema 10 de gráficos de ordenador puede usar la ecuación (17) para aproximar la ecuación de restitución de iluminación global (ecuación (12) en relación con el trazado de rayo de fuente de luz a ojo para restituir una imagen de una escena, o la ecuación (20) para aproximar la ecuación de restitución de iluminación global (ecuación (12) en relación con el trazado de ojo a de fuente de luz.

Adicionalmente a acomodarse a un espectro de colores, la metodología de la Ruleta Rusa mejorada también se acomoda a otros tipos de características para las superficies que definen los objetos de la escena. Como ilustración de esto último, se supondrá que una superficie puede ser difusa, brillante o especular o cualquier combinación de estas características. El flujo total de fotones que incide sobre una superficie se representa por “ f ” y si “ d ”, “ g ” y “ s ” son funciones que definen el carácter difuso, brillante y especular de la superficie, respectivamente el flujo de fotones que se refleja en la superficie comprenderá tres componentes, es decir, un componente difuso “ fd ” un componente brillante “ fg ” y un componente especular “ fs ”. Generalmente los valores de “ f ”, “ d ”, “ g ” y “ s ” pueden ser funciones de la longitud de onda λ del flujo de fotones incidente, y la condición de que el valor de la norma del cubo unitario

“ K ” no sea mayor de “uno” requiere que $d_\lambda + g_\lambda + s_\lambda \leq 1$ para todas las longitudes de onda λ . En ese caso, según la metodología de la Ruleta Rusa, un recorrido de trazado de fotón se continuará si, para el punto de muestra correspondiente $\zeta = \xi_j^{(n)}$,

$$\zeta < \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda (d_\lambda + g_\lambda + s_\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda} \quad (21)$$

El punto de muestra ζ se puede usar para obtener una decisión respecto a cual de los tipos de interacción se va a evaluar según

$$0 \leq \zeta < \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda}$$

$$\frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d_\lambda d\lambda}$$

difuso, flujo fd

$$\frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda} \leq \zeta < \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda (d_\lambda + g_\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda}$$

$$\frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda g_\lambda d\lambda}$$

Brillante, flujo fg

$$\frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda (d_\lambda + g_\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda} \leq \zeta < \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda (d_\lambda + g_\lambda + s_\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda}$$

$$\frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda s_\lambda d\lambda}$$

Especular, flujo fs

(22)

Se apreciará que el orden concreto de difuso, brillante y especular como aparece en las líneas respectivas de la ecuación (22) puede diferir del orden en el cual aparecen anteriormente. Por ejemplo, en vez de asociar el tipo de interacción difuso y “ d_λ ” con la primera línea, la primera línea podría asociarse con el tipo de interacción brillante y “ g_λ ” o con el tipo de interacción especular y “ s_λ ” y de manera similar con la segunda y la tercera líneas. Será obvio para los expertos en la técnica la extensión a otros tipos distintos de los aquí descritos.

Tal como se observó anteriormente, el color se representa típicamente por tres canales de colores, tales como los

canales rojo, azul y verde separados Si se dan los colores como $f = (f_r, f_g, f_b)$, con “ f_r ” “ f_g ” y “ f_b ” representando los flujos de los colores respectivos rojo, verde y azul, las funciones “ d ”, “ g ”

y “ s ” son respectivamente funciones de los colores rojo, verde y azul,

$d = (d_r, d_g, d_b)$, $g = (g_r, g_g, g_b)$,
y $s = (s_r, s_g, s_b)$, las integrales en la ecuación (22) son simplemente sumas, por ejemplo

$$\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d_\lambda d\lambda = c_r f_r d_r + c_g f_g d_g + c_b f_b d_b \quad (23),$$

Y

$$\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda = c_r f_r + c_g f_g + c_b f_b \quad (24),$$

donde “ c_r ” “ c_g ” y “ c_b ” son los coeficientes de color como se han definido anteriormente.

ES 2 311 067 T3

La invención proporciona un sistema 10 de gráficos de ordenador que hace so de una metodología de la Ruleta Rusa mejorada que puede proporcionar un color multicromático y diversas características de superficie tales como brillante, difusa y especular, de objetos de una escena, en una imagen restituida usando la metodología de la iluminación global.

5 Se apreciará que se pueden realizar numerosas modificaciones en la disposición aquí descrita haciendo uso de tres canales de colores, es decir rojo, verde y azul, se apreciará que se pueden usar otros colores adicionalmente a los tres a los que aquí se hace referencia. Adicionalmente, aunque se ha descrito una disposición que hace uso de tres tipos de características de superficie, es decir, difusa, brillante y especular, se apreciará que pueden usarse otros tipos de características de superficie adicionalmente o en vez de los tres a los que aquí se ha hecho referencia.

10 Se apreciará que se puede construir un sistema de acuerdo con la invención en su totalidad o en parte a partir de un hardware para uso especial o de un sistema informático para uso general, o de cualquier combinación de los mismos, pudiendo estar controlada cualquier parte del mismo por un programa adecuado. Cualquier programa puede comprender, en todo o parcialmente, una parte del sistema o para ser guardada en el mismo de manera convencional, 15 o puede ser proporcionado al sistema, en todo o parcialmente, a través de una red u otro mecanismo para transferir información de manera convencional. Adicionalmente, se apreciará que el sistema puede ser operado y/o controlado de otra manera mediante la información proporcionada por un operador que usa elementos de entrada de operador (no representados), los cuales pueden ser conectados directamente al sistema o los cuales pueden transferir la información al sistema a través de una red u otro mecanismo para transferir información de manera convencional.

20 La descripción precedente se ha limitado a una realización específica de esta invención. Resultará obvio, sin embargo, que se puede hacer diversas variaciones y modificaciones a la invención, alcanzando alguna o todas las ventajas de la misma. Es el objeto de las reivindicaciones anexas cubrir éstas y aquellas otras variaciones y modificaciones de este tipo como corresponden dentro del objeto de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de gráficos de ordenador para generar un valor de píxel correspondiente a un píxel de una imagen, siendo el píxel representativo de un punto $\vec{x}$ de una escena, generando el sistema de gráficos de ordenador el valor del píxel para simular la iluminación global de una pluralidad de colores, estando representada la iluminación global por una evaluación de una función $f(x)$ teniendo la función la forma

$$f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x, y) f(y) dy,$$

donde $f(x)$ es una función desconocida, y $g(x)$ y $K(x, y)$ son funciones conocidas, sirviendo $K(x, y)$ como cubo unitario de la integral, incluyendo el cubo unitario $K(x, y)$ una función asociada con al menos dos colores, comprendiendo el sistema de gráficos de ordenador:

A. un módulo generador estimador configurad para generar un número N seleccionado de estimadores

$\overline{f}_{lds,RR}^{(n)}(x)$ como

$$\begin{aligned} \overline{f}_{lds,RR}^{(n)}(x) = & g(x) + K(x, \xi_1^{(n)}) S_1^{(n)} \\ & + K(x, \xi_2^{(n)}) S_2^{(n)} \\ & + K(x, \xi_3^{(n)}) S_3^{(n)} \\ & + \dots \end{aligned}$$

donde $S_j^{(n)}$ se definen de forma recurrente como

$$\begin{aligned} S_1^{(n)} &:= g(\xi_1^{(n)}), \\ S_{j+1}^{(n)} &:= \frac{\Theta \left(M_{K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})} S_j^{(n)} - \xi_j^{(n)} \right)}{M_{K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})}} K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)}) S_j^{(n)} \end{aligned}$$

con

$$M_{A,B} := \begin{cases} \frac{\int_0^{\infty} A_\lambda B_\lambda d\lambda}{\int_0^{\infty} B_\lambda d\lambda}, & \text{si } \int_0^{\infty} B_\lambda d\lambda > 0 \\ 0, & \text{si } \int_0^{\infty} B_\lambda d\lambda = 0 \end{cases}$$

y donde $\Theta(x)$ representa la función de Heaviside y $\xi_1^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}, \xi_L^{(n)}$ representan componentes de una secuencia multidisciplinar de baja discrepancia y donde "n" designa un índice de secuencia, el generador de estimador que genera términos sucesivos para cada estimador $f_{ld,RR}^{(n)}(x)$ hasta que genera un término que tiene un valor cero.

B. un módulo del valor de luminancia configurado para generar un valor de luminancia para el punto de la escena como la media de dichos valores estimados generados por dicho módulo de generador de estimador; y

C. un módulo generador de valores de píxel configurado para usar el valor de luminancia generado para el punto de la escena en la generación del valor de píxel.

2. Un sistema de gráficos de ordenador para generar un valor de píxel correspondiente a un píxel de una imagen, siendo el píxel representativo de un punto $\vec{x}$ de una escena, generando el sistema de gráficos de ordenador el valor del píxel para simular la iluminación global de una pluralidad de colores, estando representada la iluminación global por una evaluación de una función $f(x)$ sobre una esfera centrada en el punto de la escena, teniendo la función la

forma
$$f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x, y) f(y) dy,$$
 donde $f(x)$ es una función desconocida, y $g(x)$ y $K(x, y)$ sirven como cubo unidad de la integral, comprendiendo el sistema de gráficos de ordenador:

A. un módulo generador de estimador está configurado para generar un número "N" seleccionado de estimadores $f_{ld,RR}^{(n)}(x)$: como

$$\begin{aligned} f_{ld,RR}^{(n)}(x) = & g(x) + T_1^{(n)}(x) g(\xi_1^{(n)}) \\ & + T_2^{(n)}(x) g(\xi_2^{(n)}) \\ & + T_3^{(n)}(x) g(\xi_3^{(n)}) \\ & + \dots \end{aligned}$$

donde $T_i^{(n)}$ se definen de forma recurrente como

$$\begin{aligned} T_1^{(n)}(x) &:= \frac{\Theta\left(M_{K(x, \xi_1^{(n)})} - \xi_1^{(n)}\right)}{M_{K(x, \xi_1^{(n)})}} K(x, \xi_1^{(n)}) \\ T_{j+1}^{(n)}(x) &:= \frac{\Theta\left(M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})} T_j^{(n)}(x) - \xi_{j+1}^{(n)}\right)}{M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})} T_j^{(n)}(x)} K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)}) \end{aligned}$$

con

$$M_{A,B} := \begin{cases} \frac{\int_0^\infty A_\lambda B_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty B_\lambda d\lambda}, & \text{si } \int_0^\infty B_\lambda d\lambda > 0 \\ 0, & \text{si } \int_0^\infty B_\lambda d\lambda = 0 \end{cases}$$

y donde $\Theta(x)$ representa la función de Heaviside, y $\xi_1^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}, \xi_L^{(n)}$, representan los componentes de una secuencia de baja discrepancia predeterminada estrictamente multidimensional y donde n representa un índice de secuencia, generando el generador de estimador términos sucesivos de

cada estimador $f^{(n)}_{\lambda,RR}(x)$ hasta que genera un término que tiene un valor cero;

B. un generador de luminancia está configurado para generar un valor de luminancia para el punto de la escena como media de dichos valores de estimador generados por dicho módulo generador de estimador.

C. un módulo generador de valores de píxel está configurado para usar el valor de luminancia generado para el punto de la escena en la generación del valor de píxel.

3. Un sistema de gráficos de ordenador como el definido en las reivindicaciones 1 ó 2 en el cual el cubo unidad $K(x, y)$ incluye además una función de al menos un tipo de característica de superficie de una superficie de la escena, estando configurado el módulo generador de estimador para generar el estimador $f^{(n)}_{\lambda,RR}(x)$ en relación con la al menos una característica de la superficie.

4. Un sistema de gráfico de ordenador como el definido en la reivindicación 3 en el cual el módulo de generador de estimador está configurado para generar el estimador $f^{(n)}_{\lambda,RR}(x)$ en relación con al menos un fotón, estando configurado el módulo de generador de estimador para determinar si la trayectoria del al menos un fotón será continua en relación con

$$\zeta < \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda c_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda}$$

donde I_λ es un valor de ponderación como una función con la cual el ojo humano percibe la luz que tiene la longitud de onda respectiva λ , f_λ es el flujo del al menos un fotón por longitud de onda λ , c_λ es una función del tipo de característica de superficie como función de la longitud de onda λ , y ζ es un valor seleccionado.

5. Un sistema de gráfico de ordenador como el definido en la reivindicación 4, en el cual ζ es una función de $\xi_j^{(n)}$.

6. Un sistema de gráfico de ordenador como el definido en la reivindicación 4, en el cual el módulo de generador de estimador está configurado para generar un estimador en relación con una pluralidad de tipos de características de superficie, cada uno representado por una función, siendo c_λ una suma de las funciones respectivas.

7. Un sistema de gráfico de ordenador como el definido en la reivindicación 6, en el cual el módulo de estimador $f_{ids,RR}^{(n)}(x)$ está configurado además para generar el estimador en relación con un tipo de interacción, estando relacionado el tipo de interacción con los tipos respectivos de características de superficie.

8. Un sistema de gráfico de ordenador como el definido en la reivindicación 7, en el cual el módulo de estimador está configurado para generar el estimador $f_{ids,RR}^{(n)}(x)$ en relación con

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \zeta < \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda} \quad \text{flux fd} \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d_\lambda d\lambda} \\ \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda} \leq \zeta < \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda (d_\lambda + g_\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda} \quad \text{flux fg} \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda g_\lambda d\lambda} \\ \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda (d_\lambda + g_\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda} \leq \zeta < \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda (d_\lambda + g_\lambda + s_\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda} \quad \text{flux fs} \frac{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty I_\lambda f_\lambda s_\lambda d\lambda} \\ \dots \end{array} \right.$$

Para los tipos de características de superficie asociados con las funciones respectivas $d_\lambda, g_\lambda, s_\lambda, \dots$

9. Un método de gráficos de ordenador para generar un valor de píxel correspondiente a un píxel de una imagen, siendo el píxel representativo de un punto $\vec{x}$ de una escena, generando el método de gráficos de ordenador el valor del píxel para simular la iluminación global de una pluralidad de colores, estando representada la iluminación global por una evaluación de una función $f(x)$ teniendo la función la forma

$$f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x, y) f(y) dy,$$

donde $f(x)$ es una función desconocida, y $g(x)$ y $K(x, y)$ son funciones conocidas, sirviendo $K(x, y)$ como cubo unitario de la integral, incluyendo el cubo unitario $K(x, y)$ una función asociada con al menos dos colores, comprendiendo el método de gráficos de ordenador:

A. una etapa de módulo de generador de estimador para generar un número N seleccionado de estimadores $f_{ids,RR}^{(n)}(x)$ como

$$\begin{aligned} \overline{f}_{ids,RR}^{(n)}(x) &= g(x) + K(x, \xi_1^{(n)}) S_1^{(n)} \\ &\quad + K(x, \xi_2^{(n)}) S_2^{(n)} \\ &\quad + K(x, \xi_3^{(n)}) S_3^{(n)} \\ &\quad + \dots \end{aligned}$$

donde $S_j^{(n)}$ se definen de forma recurrente como

$$S_1^{(n)} := g(\xi_1^{(n)}),$$

$$S_{j+1}^{(n)} := \frac{\Theta\left(M_{\kappa(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)}, S_j^{(n)})} - \xi_j^{(n)}\right)}{M_{\kappa(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)}, S_j^{(n)})}} K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)}) S_j^{(n)}$$

con

$$M_{A,B} := \begin{cases} \frac{\int_0^\infty A_\lambda B_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty B_\lambda d\lambda}, & \text{si } \int_0^\infty B_\lambda d\lambda > 0 \\ 0, & \text{si } \int_0^\infty B_\lambda d\lambda = 0 \end{cases}$$

y donde $\Theta(x)$ representa la función de Heaviside y $\xi_1^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}, \xi_L^{(n)}$, representan componentes de una secuencia multidisciplinar de baja discrepancia y donde n designa un índice de secuencia, el generador de estimador que genera términos sucesivos para cada estimador $f_{IdR,RR}^{(n)}(x)$ hasta que genera un término que tiene un valor cero.

- B. una etapa de módulo del valor de luminancia para generar un valor de luminancia para el punto de la escena como la media de dichos valores estimados generados por dicho módulo de generador de estimador; y
- C. una etapa de generador de valores de píxel para usar el valor de luminancia generado para el punto de la escena en la generación del valor de píxel.

10. Un método de gráficos de ordenador para generar un valor de píxel correspondiente a un píxel de una imagen, siendo el píxel representativo de un punto $\vec{x}$ de una escena, generando el método de gráficos de ordenador el valor del píxel para simular la iluminación global de una pluralidad de colores, estando representada la iluminación global por una evaluación de una función $f(x)$ sobre una esfera centrada en el punto de la escena, teniendo la función la

forma $f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x, y) f(y) dy$, donde $f(x)$ es una función desconocida, y $g(x)$ y $K(x, y)$ sirven como cubo unidad de la integral, comprendiendo el método de gráficos de ordenador:

- A. una etapa de generador de estimador para generar un número N seleccionado de estimadores $f_{IdR,RR}^{(n)}(x)$ como

$$\begin{aligned} f_{IdR,RR}^{(n)}(x) = & g(x) + T_1^{(n)}(x) g(\xi_1^{(n)}) \\ & + T_2^{(n)}(x) g(\xi_2^{(n)}) \\ & + T_3^{(n)}(x) g(\xi_3^{(n)}) \\ & + \dots \end{aligned}$$

donde $\xi_i^{(n)}$ se definen de forma recurrente como

$$T_1^{(n)}(x) := \frac{\Theta\left(M_{\kappa(x, \xi_1^{(n)})} - \xi_1^{(n)}\right)}{M_{\kappa(x, \xi_1^{(n)})}} K(x, \xi_1^{(n)})$$

$$T_{j+1}^{(n)}(x) := \frac{\Theta\left(M_{\kappa(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})} T_j^{(n)}(x) - \xi_{j+1}^{(n)}\right)}{M_{\kappa(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})} T_j^{(n)}(x)} K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})$$

con

$$M_{A,B} := \begin{cases} \frac{\int_0^\infty A_\lambda B_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty B_\lambda d\lambda}, & \text{si } \int_0^\infty B_\lambda d\lambda > 0 \\ 0, & \text{si } \int_0^\infty B_\lambda d\lambda = 0 \end{cases}$$

y donde $\Theta(x)$ representa la función de Heaviside, y $\xi_1^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}, \xi_L^{(n)}$, representan los componentes de una secuencia de baja discrepancia predeterminada estrictamente multidimensional y donde n representa un índice de secuencia, generando el generador de estimador términos sucesivos de cada estimador $f_{\text{MLRR}}^{(n)}(x)$ hasta que genera un término que tiene un valor cero;

- B. una etapa de generador de valores de luminancia para generar un valor de luminancia para el punto de la escena como media de dichos valores de estimador generados por dicho módulo generador de estimador; y
- C. una etapa de módulo generador de valores de píxel para usar el valor de luminancia generado para el punto de la escena en la generación del valor de píxel.

11. Un método de gráficos de ordenador como el definido en las reivindicaciones 9 ó 10 en el cual el cubo unidad $K(x, y)$ incluye además una función de al menos un tipo de característica de superficie de una superficie de la escena, la etapa de generador de estimador incluye la etapa de generar el estimador $f_{\text{MLRR}}^{(n)}(x)$ en relación con la al menos una característica de la superficie.

12. Un método de gráficos de ordenador como el definido en la reivindicación 11 en el cual el módulo de generador de estimador está configurado para generar el estimador $f_{\text{MLRR}}^{(n)}(x)$ en relación con al menos un fotón, incluyendo la etapa de generador de estimador la etapa de determinar si la trayectoria del al menos un fotón será continua en relación con

$$\zeta < \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} c_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda}$$

donde I_{λ} es un valor de ponderación como una función con la cual el ojo humano percibe la luz que tiene la longitud de onda respectiva λ , f_{λ} es el flujo del al menos un fotón por longitud de onda λ , c_{λ} es una función del tipo de característica de superficie como función de la longitud de onda λ , y ζ es un valor seleccionado.

13. Un método de gráficos de ordenador como el definido en la reivindicación 12, en el cual ζ es una función de

$$\zeta_j^{(N)}.$$

14. Un método de gráficos de ordenador como el definido en la reivindicación 12, en el cual la etapa de generador de estimador incluye la etapa de generar un estimador en relación con una pluralidad de tipos de características de superficie, cada uno representado por una función, siendo c_{λ} una suma de las funciones respectivas.

15. Un método de gráfico de ordenador como el definido en la reivindicación 14, en el cual la etapa de estimador incluye la etapa de generar el estimador $f^{(N)}_{\text{est}, \text{RA}}(x)$ en relación con un tipo de interacción, estando relacionado el tipo de interacción con los tipos respectivos de características de superficie.

16. Un método de gráficos de ordenador como el definido en la reivindicación 15, en el cual la etapa de estimador incluye la etapa de generar el estimador $f^{(N)}_{\text{est}, \text{RA}}(x)$ en relación con

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \zeta < \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda} \quad \text{flux fd} \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d_{\lambda} d\lambda} \\ \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda} \leq \zeta < \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} (d_{\lambda} + g_{\lambda}) d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda} \quad \text{flux fg} \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} g_{\lambda} d\lambda} \\ \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} (d_{\lambda} + g_{\lambda}) d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda} \leq \zeta < \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} (d_{\lambda} + g_{\lambda} + s_{\lambda}) d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda} \quad \text{flux fs} \frac{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} I_{\lambda} f_{\lambda} s_{\lambda} d\lambda} \\ \dots \end{array} \right.$$

para los tipos de características de superficie asociados con las funciones respectivas $d_{\lambda}, g_{\lambda}, s_{\lambda}, \dots$

17. Un producto de programa de ordenador para su uso en relación con un ordenador a fin de proporcionar un sistema de gráficos de ordenador para generar un valor de píxel correspondiente a un píxel de una imagen, siendo el píxel representativo de un punto $\vec{x}$ de una escena, generando el sistema de gráficos de ordenador el valor del píxel para simular la iluminación global de una pluralidad de colores, estando representada la iluminación global por una evaluación de una función $f(x)$ teniendo la función la forma

$$f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x, y) f(y) dy,$$

donde $f(x)$ es una función desconocida, y $g(x)$ y $K(x, y)$ son funciones conocidas, sirviendo $K(x, y)$ como cubo unitario de la integral, incluyendo el cubo unitario $K(x, y)$ una función asociada con al menos dos colores, comprendiendo el producto de programa de ordenador un medio legible por ordenador que tiene codificado en el mismo:

A. un módulo generador de estimador configurado para permitir al ordenador generar un número N seleccionado de estimadores $f^{(N)}_{\text{est}, \text{RA}}(x)$ como

$$\begin{aligned} \overline{f}_{lds,RR}^{(n)}(x) = & g(x) + K(x, \xi_1^{(n)}) S_1^{(n)} \\ & + K(x, \xi_2^{(n)}) S_2^{(n)} \\ & + K(x, \xi_3^{(n)}) S_3^{(n)} \\ & + \dots \end{aligned}$$

donde $S_j^{(n)}$ se definen de forma recurrente como

$$\begin{aligned} S_1^{(n)} &:= g(\xi_1^{(n)}), \\ S_{j+1}^{(n)} &:= \frac{\Theta\left(M_{\kappa(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})} S_j^{(n)} - \xi_j^{(n)}\right)}{M_{\kappa(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)})} S_j^{(n)}} K(\xi_{j+1}^{(n)}, \xi_j^{(n)}) S_j^{(n)} \end{aligned}$$

con

$$M_{A,B} := \begin{cases} \frac{\int_0^1 A_\lambda B_\lambda d\lambda}{\int_0^1 B_\lambda d\lambda}, & \text{si } \int_0^1 B_\lambda d\lambda > 0 \\ 0, & \text{si } \int_0^1 B_\lambda d\lambda = 0 \end{cases}$$

y donde $\Theta(x)$ representa la función de Heaviside y $\xi_1^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}, \xi_L^{(n)}$, representan componentes de una secuencia multidisciplinar de baja discrepancia y donde n designa un índice de secuencia, el generador de estimador que genera términos sucesivos para cada estimador $\overline{f}_{lds,RR}^{(n)}(x)$ hasta que genera un término que tiene un valor cero.

B. un módulo del valor de luminancia configurado para permitir al ordenador generar un valor de luminancia para el punto de la escena como la media de dichos valores estimados generados por dicho módulo de generador de estimador; y

C. un módulo generador de valores de píxel configurado para permitir al ordenador usar el valor de luminancia generado para el punto de la escena en la generación del valor de píxel.

18. Un producto de programa de ordenador para su uso en relación con un ordenador a fin de generar un valor de píxel correspondiente a un píxel de una imagen, siendo el píxel representativo de un punto $\vec{x}$ de una escena, generando el producto de programa de ordenador el valor del píxel para simular la iluminación global de una pluralidad de colores, estando representada la iluminación global por una evaluación de una función $f(x)$ sobre una esfera centrada

$$f(x) = g(x) + \int_0^1 K(x, y) f(y) dy,$$

en el punto de la escena, teniendo la función la forma $f(x)$ es una función desconocida, y $g(x)$ y $K(x, y)$ sirven como cubo unidad de la integral, comprendiendo un medio legible por ordenador que tiene codificado en el mismo:

- A. Un módulo de generador de estimador configurado para permitir al ordenador generar un número N seleccionado de estimadores $f_{IdR,RR}^{(n)}(x)$ como

$$\begin{aligned} f_{IdR,RR}^{(n)}(x) = & g(x) + T_1^{(n)}(x) g(\xi_1^{(n)}) \\ & + T_2^{(n)}(x) g(\xi_2^{(n)}) \\ & + T_3^{(n)}(x) g(\xi_3^{(n)}) \\ & + \dots \end{aligned}$$

donde $\xi_i^{(n)}$ se definen de forma recurrente como

$$\begin{aligned} T_1^{(n)}(x) &:= \frac{\Theta\left(M_{K(x, \xi_1^{(n)})} - \xi_1^{(n)}\right)}{M_{K(x, \xi_1^{(n)})}} K(x, \xi_1^{(n)}) \\ T_{j+1}^{(n)}(x) &:= \frac{\Theta\left(M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})} T_j^{(n)}(x) - \xi_{j+1}^{(n)}\right)}{M_{K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)})} T_j^{(n)}(x)} K(\xi_j^{(n)}, \xi_{j+1}^{(n)}) \end{aligned}$$

con

$$\begin{aligned} M_{A,B} &:= \begin{cases} \frac{\int_0^\infty A_\lambda B_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty B_\lambda d\lambda}, & \text{si } \int_0^\infty B_\lambda d\lambda > 0 \\ 0, & \text{si } \int_0^\infty B_\lambda d\lambda = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

y donde $\Theta(x)$ representa la función de Heaviside, y $\xi_1^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \xi_2^{(n)}, \dots, \xi_L^{(n)}, \xi_L^{(n)}$, representan los componentes de una secuencia de baja discrepancia predeterminada estrictamente multidimensional y donde n representa un índice de secuencia, generando el generador de estimador términos sucesivos de cada estimador $f_{IdR,RR}^{(n)}(x)$ hasta que genera un término que tiene un valor cero;

- B. un generador de valor de luminancia configurado para permitir al ordenador generar un valor de luminancia para el punto de la escena como media de dichos valores de estimador generados por dicho módulo generador de estimador, y

- C. un módulo generador de valores de píxel configurado para permitir al ordenador usar el valor de luminancia generado para el punto de la escena en la generación del valor de píxel.

19. Un producto de programa de ordenador como el definido en las reivindicaciones 17 ó 18 en el cual el cubo unidad $K(x, y)$ incluye además una función de al menos un tipo de característica de superficie de una superficie de la escena, estando configurado el módulo generador de estimador para permitir al ordenador generar el estimador

$$\int^w I_{\lambda} f_{\lambda} c_{\lambda} d\lambda$$

en relación con la al menos una característica de la superficie.

20. Un producto de programa de ordenador como el definido en la reivindicación 19 en el cual el módulo de generador de estimador está configurado para permitir al ordenador generar el estimador $\int^w I_{\lambda} f_{\lambda} c_{\lambda} d\lambda$ en relación con al menos un fotón, estando configurado el módulo de generador de estimador para permitir al ordenador determinar si la trayectoria del al menos un fotón será continua en relación con

$$\zeta < \frac{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} c_{\lambda} d\lambda}{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda}$$

donde I_{λ} es un valor de ponderación como una función con la cual el ojo humano percibe la luz que tiene la longitud de onda respectiva λ , f_{λ} es el flujo del al menos un fotón por longitud de onda λ , c_{λ} es una función del tipo de característica de superficie como función de la longitud de onda λ , y ζ es un valor seleccionado.

21. Un producto de programa de ordenador como el definido en la reivindicación 20, en el cual ζ es una función de $\int^w I_{\lambda} f_{\lambda} c_{\lambda} d\lambda$.

22. Un producto de programa de ordenador como el definido en la reivindicación 20, en el cual el módulo de generador de estimador está configurado para permitir al ordenador generar el estimador en relación con una pluralidad de tipos de características de superficie, cada uno representado por una función, siendo c_{λ} una suma de las funciones respectivas.

23. Un producto de programa de ordenador como el definido en la reivindicación 22, en el cual el módulo de estimador está configurado además para permitir al ordenador generar el estimador $\int^w I_{\lambda} f_{\lambda} c_{\lambda} d\lambda$ en relación con un tipo de interacción, estando relacionado el tipo de interacción con los tipos respectivos de características de superficie.

24. Un sistema de gráfico de ordenador como el definido en la reivindicación 23, en el cual el módulo de estimador está configurado para permitir al ordenador generar el estimador $\int^w I_{\lambda} f_{\lambda} c_{\lambda} d\lambda$ en relación con

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \zeta < \frac{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d_{\lambda} d\lambda}{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda} \quad \text{flux fd} \frac{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda}{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d_{\lambda} d\lambda} \\ \frac{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d_{\lambda} d\lambda}{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda} \leq \zeta < \frac{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} (d_{\lambda} + g_{\lambda}) d\lambda}{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda} \quad \text{flux fg} \frac{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda}{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} g_{\lambda} d\lambda} \\ \frac{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} (d_{\lambda} + g_{\lambda}) d\lambda}{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda} \leq \zeta < \frac{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} (d_{\lambda} + g_{\lambda} + s_{\lambda}) d\lambda}{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda} \quad \text{flux fs} \frac{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} d\lambda}{\int_0^w I_{\lambda} f_{\lambda} s_{\lambda} d\lambda} \\ \dots \end{array} \right.$$

para los tipos de características de superficie asociados con las funciones respectivas $d_{\lambda}, g_{\lambda}, s_{\lambda}, \dots$.

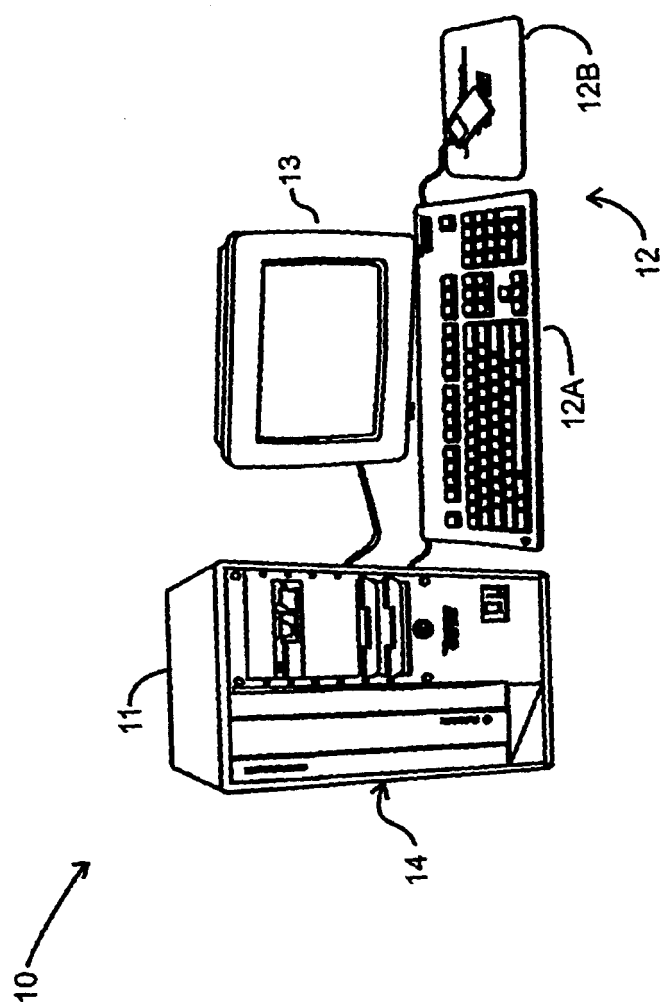


FIG. 1