Tesis de grado

Iluminación global con superficies especulares

Bruno Sena

Ingeniería en Computación
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

Montevideo – Uruguay
Junio de 2019

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
URUGUAY

FACULTAD DE INGENIERIA

Tesis de grado

Iluminación global con superficies especulares

Bruno Sena

Tesis de grado presentada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, como parte de los requisitos necesarios para la obtención del título de grado en Ingeniería en Computación.

Directores:
José Aguerre
Eduardo Fernández

Montevideo – Uruguay
Junio de 2019

Sena, Bruno

Tesis de grado / Bruno Sena. - Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, 2019.

??, ?? p. 29, 7cm.

Directores:

José Aguerre

Eduardo Fernández

Tesis de Grado – Universidad de la República, Ingeniería en Computación, 2019.

Referencias bibliográficas: p. ?? – ??.

1. iluminación global, 2. radiosidad, 3. reflexión especular. I. Aguerre, José, Fernández, Eduardo, . II. Universidad de la República, Ingeniería en Computación. III. Título.

INTEGRANTES DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

NombreTribunal1 ApellidoTribunal1

NombreTribunal2 ApellidoTribunal2

NombreTribunal3 ApellidoTribunal3

Montevideo – Uruguay
Junio de 2019

ABSTRACT

Aquí va el abstact

Keyword:

Tabla de contenidos

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación y problema

1.2. Objetivos

1.3. Resultados esperados

1.4. Estructura del documento

Capítulo 2

Estado del arte

2.1. Modelos de iluminación

El proceso de dibujado de gráficos por computadora comprende la generación automática de imágenes a partir de tres parámetros principales, un observador, superficies geométricas que representan objetos de la realidad y las propiedades físicas de los materiales que los componen. Trivialmente, esto puede ser reducido al problema de cálculo del valor de intensidad lumínica observada en un punto x y proveniente de otro punto x'. Matemáticamente, este problema fue planteado por **?** en **?** , comunmente nombrado denominado «la ecuación del rendering»:

$$I(x,x') = g(x,x')\left[\epsilon(x,x') + \int_S \rho(x,x',x'')I(x',x'')\delta x''\right] \tag{2.1}$$

donde:

- $I(x,x')$ describe energía de radiación lumínica obsrvada en el punto x proveniente de x''
- $g(x,x')$ es un término geométrico, toma el valor de 0 si existe oculsión entre x' y x en otro caso su valor es $\frac{1}{r^2}$ donde r es la distancia entre x' y x
- $\epsilon(x,x')$ mide la energía emitida por la superficie en el punto x' a x
- $\int_S \rho(x,x',x'')I(x',x'')\delta x''$ está compuesta por dos términos:
    - $\rho(x,x',x'')$ es el término de dispersión de la luz que llega desde x'' a x desde el punto x'

- $I(x', x'')$ describe energía de radiación lumínica observada en el punto x' proveniente de x''

por lo que este término refiere a la intensidad percibida desde x considerando todos las reflexiones de luz posibles para el espacio S.

Existen distintos métodos de resolución de la ecuación del rendering, la mayoría implican aproximaciones dado el gran costo computacional requerido para calcular el valor exacto de $I(x, x')$. Estos métodos balancean el costo computacional de los algoritmos utilizados y la fidelidad con el valor final de la función. Dependiendo de las decisiones y simplificaciones consideradas existen dos clasificaciones posibles para el modelo: local y global .

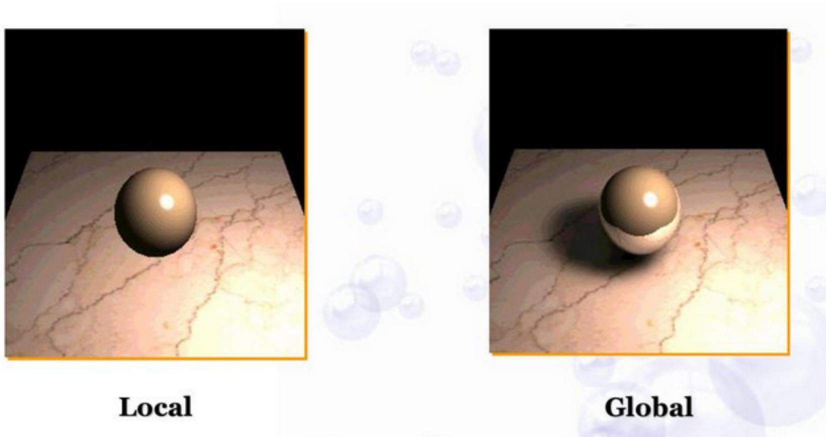

Figura 2.1: Dibujado utilizando iluminación local y global

2.2. Iluminación local

Los modelos de iluminación local como el propuesto por **?** en **?** tienen en cuenta las propiedades físicas de los materiales y las superficies de cada uno de los objetos de la escena de forma individual. Es decir, al dibujar uno de los objetos no se toman en cuenta las posibles interacciones de los haces de luz con los objetos restantes.

En referencia a la ecuación del rendering, el término geométrico nunca toma el valor 0 es decir, no se toma en cuenta las colisiones de los haces de luz con otros objetos, $\epsilon(x, x')$ toma un valor constante (independiente de x') y $\int_S \rho(x, x', x'')I(x', x'')\delta x''$ toma el valor constante 1.

2.3. Iluminación Global

El término iluminación global refiere a una modelo de computación gráfica que simula completamente las interacciones de la luz con todos los objetos que se encuentran en la escena. Es decir, en contraposición a la iluminación local, se consideran los fenómenos de reflexión y refracción de la luz.

2.4. Radiosidad

El transporte de la luz entre superficies puede ser modelado a través de la propiedad física conocida como la radiosidad, definida como el flujo de energía irradiada por unidad de área.

Oroginalmente, este modelo de iluminación global fue propuesto por **?** en **?** se basa en modelos matemáticos similares a los que resuelven el problema de la transferencia de calor en sistemas cerrados, conocidos como métodos de elementos finitos.

2.4.1. Radiosidad en superficies lambertianas

La solución propuesta por **?** implica que todas las superficies son idealmente lambertianas. Además considerara que cada superficie irradia energía lumínica en todas direcciones en un diferencial de área δ_A, para una dirección de vista ω puede ser definida como:

$$i = \frac{\delta P}{\cos\phi\delta\omega} \tag{2.2}$$

donde:

- i es la intensidad de la radiación para un punto de vista particular
- δP es lae energía de la radiación que hemana la superficie en al dirección ϕ con ángulo sólido $\delta\omega$

En superficies perfectamente lambertianas, la energía reflejada puede ser expresada como: $\frac{\delta P}{\delta\omega} = k\cos\phi$. Donde k es una constante. Sustituyendo en (**??**) se obtiene: $\frac{\delta P}{\delta\omega} = \frac{k\cos\phi}{\cos\phi} = k$, esto implica que la energía percibida de un punto x es constante, independientemenete del punto de vista.

Es por esto que la energía total que deja una superficie (P) puede ser calculada integrando la energía que deja la superficie en cada dirección posible, esto es, se integra la energía saliente en un hemiesfera centrada en el punto estudiado:

$$P = \int_{2\pi} \delta P = \int_{2\pi} i \cos \phi \delta\omega = i \int_{2\pi} \cos \phi \delta\omega = i\pi \tag{2.3}$$

Por tanto, dada una superficie S_i, es posible calcular la energía lumínica que deja la superficie utilizando (**??**). Resta definir la *cerradura* de una superficie, definiremos la cerradura de una superficie como los límites que definien los puntos internos y externos de esta. Esto hace que el problema sea resoluble utilizando métodos de elementos finitos, con esta reformulación del problema, es fácilmente trasladable a la ecuación (**??**).

$$B_j = E_j + \rho_j \sum_{i=1} N B_i F_{ij} \tag{2.4}$$

donde:

- B_j es la intensidad lumínica (radiosidad) que deja la superficie j.
- E_j es la intensidad lumínica directamente emitida por j.
- ρ_j es la reflectividad del material para la superficie j.
- F_{ij} se denomina *factor de forma*, un término que representa la fracción de energía lumínica que deja la superficie i y llega a j.

Cabe destacar que la naturaleza recursiva de la ecuación anterior, implica que se toman en cuenta todas las reflexiones difusas que existan en la escena. Como puede observarse, resolver el sistema de N ecuaciones lineales bastaría para conocer la energía emitida por cada superficie cerrada.

$\mathbf{E}$, ρ dependen de los materiales que compongan la escena, son parámetros dados. Sin embargo, resta computar la matriz de factores de forma $\mathbf{F}$ para finalmente obtener el vector de radiosidades $\mathbf{B}$. Para determinar una entrada de la matriz F_{ij} involucrando a las superficies i y j de área $A(i)$, $A(j)$, considerando los diferenciales infinitesimales de área δA_i, δA_j el ángulo sólido visto por δA_i es $\delta\omega = \frac{\cos \phi_j \delta A_j}{r^2}$. Susituyendo en (**??**) se obtiene:

$$\delta P_i \delta A_i = i_i \cos \phi_i \delta\omega \delta A_i = \frac{P_i \cos \phi_i \cos \phi_j \delta A_i \delta A_j}{\pi r^2} \tag{2.5}$$

Considerando que $P_i A_i$ es la energía que deja i, y que el factor de forma F_{ij} representa el porcentaje de dicha energía que llega a j podemos observar que:

$$F_{\delta A_i - \delta A_j = \frac{\frac{P_i \cos\phi_i \cos\phi_j \delta A_i \delta A_j}{\pi r^2}}{P_i \delta A_i} = \frac{\cos\phi_i \cos\phi_j \delta A_i}{\pi r^2}} \tag{2.6}$$

Integrando, para obtener el factor de forma para el área total:

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos\phi_i \cos\phi_j \delta A_i \delta A_j}{\pi r^2} \tag{2.7}$$

De (**??**) se obtienen las siguientes propiedades:

1. $A_i F_{ij} = A_j F ji$
2. $\sum_{j=1}^{N} F_{ij} = 1$
3. $F_{ii} = 0$

2.5. Rasterización

2.5.1. OpenGL

2.6. Raytracing

2.6.1. Embree

Capítulo 3

Alcance y diseño

3.1. Alcance

3.2. Diseño

Capítulo 4

Implementación

4.1. OpenGL

4.1.1. Cálculo de factores de forma de la componente difusa

4.1.2. Cálculo de factores de forma de la componente especular

4.2. Embree

4.2.1. Cálculo de factores de forma de la componente difusa

4.2.2. Cálculo de factores de forma de la componente especular

4.3. OpenGL y Embree

4.3.1. Cálculo de factores de forma de la componente difusa

4.3.2. Cálculo de factores de forma de la componente especular

Capítulo 5

Experimental

5.1. Hardware

5.2. Escenas

5.3. Casos de prueba

Capítulo 6

Conclusiones y trabajo futuro

6.1. Conclusiones

6.2. Trabajo futuro

Lista de figuras

Lista de tablas

APÉNDICES

Apéndice