Iluminación

- Introducción
- Definiciones físicas
- Ecuación de Rendering
- Iluminación Local
- Iluminación Global
- Posibles Soluciones

Introducción

- Iluminación en uno de los problemas centrales en rendering
- Podemos encontrar:
  - Luminarias de forma y distribución espectral arbitraria
  - Diferentes tipos de superfícies
  - Composiciones de escenarios complejas
- Diferentes necesidades:
  - Visualizaciones de sombras y reflexiones en tiempo real
  - Precisión de cálculo de la iluminación

Estado del arte

- Navegación en tiempo real con iluminación global
  - Posible dentro de ciertas consideraciones
    - Radiosidad (solo superfícies difusas)
- Interacción en tiempo real
  - Posibles solo en casos excepcionales para iluminación local
- Por qué el problema es tan complicado ?

Iluminación

- La luz que llega a un determinado punto del espacio depende de todas los objetos que componen la escena
  - Es un problema global
  - Objetivo fundamental:
    - Determinar la energía luminosa que llega a un punto en una dirección
    - $I(x,y,z,\theta,\phi,\lambda)$

Luz

- Radiación electromagnética en el rango de 400nm a 700nm de longitud de onda aproximadamente

- Consideremos el modelo de partícula:
  - Fotones se propagan en línea recta en el vacio a velocidad de 300.000 km/s
- El problema de interacción de la luz con el medio es un problema de transporte de energia
  - Se propone derivar equaciones de equilibrio

Definiciones Físicas

- Φ es la energia radiante (o flujo) en un volumen del espacio V
  - Representa el flujo de fotones que pasan por una superfície por unidad de tiempo (Watt)
- Equilibrio Dinámico
  - Distribución constante en el volumen
  - Total de flujo entrante = flujo saliente + energia absorbida

Definiciones Físicas

- Radiometría
  - Mide radiación de energía electromagnéticas
    - Flujo: Potencia radiante [Watt]
    - Densidad de flujo: radiosidad [Watt/m^2]
    - Densidad de flujo angular: radiancia [Watt/sr.m^2]
- Fotometría
  - Mide radiación relativas a la percepción
  - Diferente según la longitud de onda
    - Potencia luminosa [Lumen]
    - Luminosidad [Lux]
    - Luminancia [Nit]

IIiA - GGG

Ecuación Fundamental de la Energia Luminosa: *Rendering Equation[Kajiya86]*

- Entrada
  - Emisión: emisión luminosa en el volumen
- Interacción
  - Sin interacción con el medio
  - Reflección: reflejada por la materia
  - Absorción: debido a materia dentro del volumen
- Salida - Entrada = Emitida - Absorvida
  - Ecuación de conservación de la energia
  - Descripción analítica del problema de rendering
  - Resolver $\Phi(p,\omega)$ (Flujo en $p \in V$ en direction ω)

IIiA - GGG

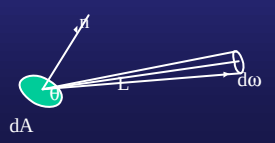
Consideraciones de Simplificación

- Longitud de onda independiente
  - No hay interacción entre diferentes longitudes de onda (no hay efectos de fluorecencia)
- Invariancia temporal
  - Solución valida en el tiempo si no hay cambieon en la escena (no hay efectos de fosforecenci a)
- Medio de transporte vacio (no hay medios participativos)
  - interacción entre luz y materia solo ocurre en la superfície de los objetos
  - La ecuación se puede extender para considerar este caso

IIiA - GGG

Radiancia

- Radiancia (L)
  - Flujo luminoso que sale de una superfície, por unidad de area, por unidad de ángulo solido
  - Es la cantidad radiométrica que el ojo percibe
  - La radiancia es constante a lo largo de una dirección
  - Se puede asociar a un rayo para el cálculo de transporte luminoso



$d\Phi = L\, dA \cos\theta\, d\omega$

IIiA - GGG

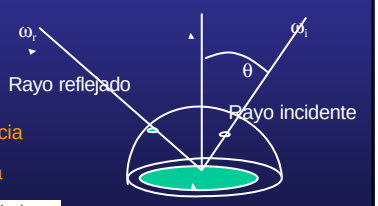
Radiosidad e Irradiancia

- Radiosidad
  - el el flujo por unidad de area que sale de una superfície
  - $d\Phi = B\, dA$
- Irradiancia
  - es el flujo por unidad de area que llega a una supefície
  - $d\Phi = E\, dA$

IIiA - GGG

Reflectancia

- BRDF
  - Bi-directional
  - Reflectance
  - Distribution
  - Function
- Relaciona irradiancia entrante con radiancia reflejada



$$f(p, w_i, w_r) = \frac{L_r(w_r)}{L_i(w_i)\cos q\; dw_i}$$

IIiA - GGG

Reflectancia

- Radiancia reflejada = BRDF×Irradiancia
  - $L(p, \omega r) = f(p, \omega i, \omega r)\, E(p, \omega i) = f(p, \omega i, \omega r)\, L(p, \omega i) \cos\theta i\, d\omega i$
- Propiedad recíproca:
  - $f(p, \omega i, \omega r) = f(p, \omega r, \omega i)$
- En la práctica la BRDF de una superfície es dificil de obtener: se utilizan gonioreflectómetros
- Modelos de reflectancia clasicos:
  - Reflexión puramente difusa
  - Reflexión puramente especular
  - *Glossy reflection*
- BRDF son combinaciones aditivas de estos modelos
- Puede ser anisotrópica (varia si rotamos el material)

Reflectancia

- BRDF (1/sr)
  - rango entre 0 y ∞
- Reflectancia ρ
  - se define como el cociente entre flujo incidente y reflejado
  - rango entre 0 y 1
  - es más facil de utilizar en la práctica para modelos de reflexión empíricos

Reflectancia

- Difusa ideal
  - Refleja igual en todas las direcciones
  - $f(p, \omega i, \omega r) = fd$

- Especular ideal
  - Solamente refleja en la dirección de reflección
  - $f(p, \omega i, \omega r) = \delta(\omega i - \omega r)$

- *Glossy*
  - Reflexión especular difusa

- Combinaciones

Ejemplos de materiales

Ecuación de Radiancia

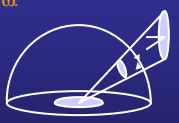
- Radiancia $L(p, \omega)$ en un punto p y dirección ω es la suma de:
  - Radiancia emitida $L_e(p, \omega)$
  - Total de la radiancia reflejada

Radiancia = Radiancia emitida + Radiancia Reflejada total

Ecuación de Radiancia (2)

- Radiacia reflejada total en dirección ω:

$$\int_{\Omega} f_r(p, w_i, w_r) L_i(w_i) \cos q_i \, dw_i$$



- Ecuación:

$$L(p, w) = L_e(p, w) + \int_{\Omega} f_r(p, w_i, w) L_i(w_i) \cos q_i \, dw_i$$

Ecuación de Radiancia (3)

La ecuación de radiancia modela la iluminación global

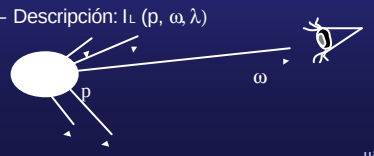
- $L(p, \omega)$ depende de todas las radiancias $L(p^*, \omega_i)$ que recursivamente depende de la energia recibida en todas las direcciones

Ecuación de Radiancia (4)

- Ecuación de diferencial integral (*Fredholm second kind*)
  - $L(p, \omega) = Le(p, \omega) + \int f(p, \omega i, \omega) L(p, \omega i) \cos\theta i \, d\omega i$
- Solo admite soluciones numéricas:
  - Elementos finitos
  - Métodos de Monte Carlo
  - Simplificaciones

Iluminación local

- Calcular solamente la componente de fuentes emisoras (iluminación directa)
- Caracterización de fuentes:
  - Dirección de emisión
  - Intensidad
  - Color
  - Descripción: $I_L(p, \omega, \lambda)$



Iluminación Local

- Descripción genérica de luminarias
- Diagrama goniométrico
  - C-γ
  - Expresa dsitribución de Intensidades en función angular

Iluminación Local en OpenGL

- Fuentes puntuales isotrópicas

- Fuentes direccionales

- Spots

$Ii \cos^n \gamma$

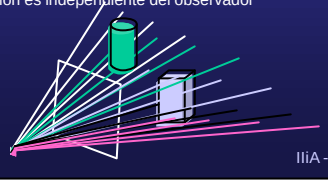
- Utilizan modelos de iluminación empíricos
  - calculos rápidos
  - resultados moderadamente intuitivos

Cálculo de iluminación local

- Modelos empíricos
  - componente difusa: $I_i k_d \cos\theta$
  - componente especular:
    - $I_i k_s \cos^n \phi$ (modelo de Phong)
  - componente ambiental: $I_a k_a$
- Cálculo de sombras
  - Imporante para incrementar el grado de realismo
  - Tratados por algoritmos específicos

Soluciones de la ecuación de iluminación

- Espacio imagen
  - Dada una camara resolver la ecuación para la proyección 2D de la imagen
- Espacio objeto
  - Calcular la ecuación en la superfície de los objetos
  - Calcular la solución en el volumen de la escena
  - (No siempre es posible)
  - La solución es independiente del observador



IIiA - GGG

Simplificaciones de la ecuación

- BDRFs difusas
  - Solución independiente del observador
  - Algoritmo de radiosidad
- BDRFs especulares (o *glossy)*
  - Descomposición lineal de la ecuación
  - Solución en espacio imagen
  - Algoritmos de Ray tracing

IIiA - GGG

Resúmen de soluciones

	Iluminación local	Iluminación global
Dependiente del Obs.	'Real time' graphics: OpenGL	Ray tracing Path tracing Sol. combiadas
Independien. Del obs.	Flat shaded graphics (IBR)	Radiosity Photon Tracing

IIiA - GGG