

TÉCNICAS GRÁFICAS

Iluminación y sombreado:

Para obtener imágenes realistas se aplican efectos de iluminación sobre las superficies visibles. Esto se simula utilizando los modelos de iluminación y sombreado.

Modelos de iluminación: Determinan el color de una superficie en un punto dado. Clasificamos los modelos en:

Iluminación local: La luz llega a los objetos directamente desde las fuentes de luz. Estudiaríamos los modelos de:

- Luz ambiente
- Luz especular (Modelo de Phong)
- Luz difusa
- Modelo de Warn

Iluminación global: La luz llega a los objetos desde las fuentes de luz y de la que reflejan los objetos. Estudiaríamos los modelos de trazado de rayos y de radiación.

ILUMINACIÓN

1

TÉCNICAS GRÁFICAS

Iluminación y sombreado:

Modelos de sombreado: Especifican cómo aplicar el modelo de iluminación escogido, por lo que deben invocar a un modelo de iluminación.

- Se aplica el modelo de iluminación sobre cada píxel.
- Se aplica el modelo de iluminación en algunos píxeles y se interpola sobre los restantes:

Sombreado constante

Sombreado de Gouraud

Sombreado de Phong

ILUMINACIÓN

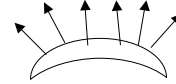
2

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación (I):

Luz ambiente: La luz afecta por igual a todas las superficies desde todas las direcciones.

La luz se refleja por igual en todas las direcciones.



Ecuación del modelo: $I = I_a * k_a$

I_a : Intensidad de la luz ambiente es constante para todos los objetos.

k_a : *Coefficiente de reflexión*, depende del material. Es una medida de la cantidad de luz ambiente reflejada. $k \in [0,1]$

Los objetos son más o menos brillantes en proporción directa a la intensidad de la luz, pero se iluminan uniformemente a lo largo de la superficie.

ILUMINACIÓN

3

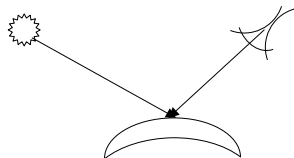
TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación (II):

Reflexión difusa: Este modelo considera una única fuente de luz puntual que emite uniformemente en todas las direcciones.

Las intensidades en cada punto del objeto varían dependiendo de la dirección y distancia a la fuente de luz.

La variación de la intensidad se rige por la *Ley de Lambert*, válida para superficies mates, es decir, que aparecen igualmente brillantes desde cualquier punto de vista.



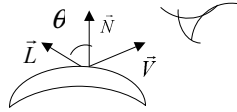
ILUMINACIÓN

4

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación (III):

Ley de Lambert: La cantidad de luz reflejada por un diferencial de área, dA , es proporcional al coseno del ángulo entre la dirección normal y la dirección hacia la fuente de luz.



\vec{N} Vector normal a la superficie en el punto en el que estamos calculando la intensidad de luz reflejada.

\vec{V} Dirección de la vista

\vec{L} Vector en la dirección de la fuente de luz

θ Ángulo de incidencia

ILUMINACIÓN

5

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación (IV):

Ecuación del modelo: $I = I_p k_d \cos \theta$

I_p : Intensidad de la luz emitida por la fuente de luz

k_d : Coeficiente de reflexión difusa, depende del material. $k_d \in [0,1]$

θ : Ángulo de incidencia $\theta \in [0^\circ, 90^\circ]$ si no, se toma $\cos \theta = 0$.

•Suponiendo $\|\vec{N}\| = \|\vec{L}\| = 1$ podemos expresar el modelo:

$$I = I_p k_d \langle \vec{N}, \vec{L} \rangle$$

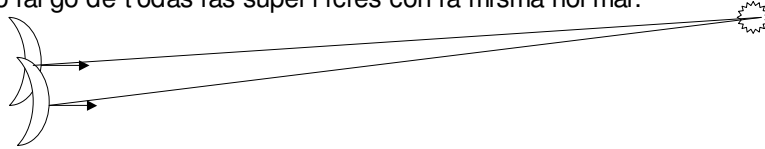
ILUMINACIÓN

6

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación (V):

- Las normales se pueden computar y luego transformarse con las mismas matrices que los vértices de los polígonos siempre que la transformación conserve los ángulos.
- Si la fuente de luz está suficientemente distante θ constante a lo largo de todas las superficies con la misma normal.



- El modelo equivale a sacar una foto con flash en una habitación oscura, esto se mejora añadiendo luz ambiente:

$$I = I_a k_a + I_p k_d \langle \vec{N}, \vec{L} \rangle$$

ILUMINACIÓN

7

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación (VI):

Atenuación de la fuente de luz: En este modelo si las proyecciones de dos objetos del mismo material se solapan no distinguiremos cuándo empieza uno y termina otro. Para evitarlo se usa un factor de atenuación dependiente de la distancia de la fuente de luz.

- El factor de atenuación simula el que la energía que alcanza la una superficie desde la fuente puntual disminuye con: $\frac{1}{d_L^2}$

- Se elige el factor de atenuación: $f_{at} = \min\left(\frac{1}{c_1 + c_2 d_L + c_3 d_L^2}, 1\right)$

- Modelo:

$$I = I_a k_a + I_p k_d f_{at} \langle \vec{N}, \vec{L} \rangle$$

ILUMINACIÓN

8

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación (VII):

Luces cromáticas: Las luces de colores se tratan generalmente escribiendo las ecuaciones separadas para cada componente del modelo de color. Suponemos el modelo RGB

Un objeto de color difuso se representa por $\vec{O} = (O_{dR}, O_{dG}, O_{dB})$

Una fuente de color puntual se representa por $\vec{I} = (I_{dR}, I_{dG}, I_{dB})$

Las ecuaciones del modelo:

$$I_R = I_{aR} k_a O_{dR} + f_{at} I_{pR} k_d O_{dR} \langle \vec{N}, \vec{L} \rangle$$

$$I_G = I_{aG} k_a O_{dG} + f_{at} I_{pG} k_d O_{dG} \langle \vec{N}, \vec{L} \rangle$$

$$I_B = I_{aB} k_a O_{dB} + f_{at} I_{pB} k_d O_{dB} \langle \vec{N}, \vec{L} \rangle$$

ILUMINACIÓN

9

TÉCNICAS GRÁFICAS

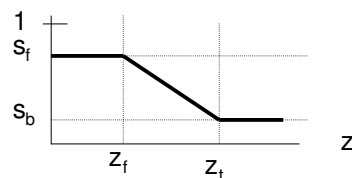
Modelos de Iluminación (VIII):

Atenuación atmosférica: Los objetos más distantes se representan con intensidades menores a los más cercanos.

- Se definen los planos frontal y trasero de referencia, cada uno de ellos se asocia con un factor de escala s_f, s_b en el intervalo $[0,1]$

- El valor de la intensidad en un punto se interpolará entre el valor que proporciona alguno de los modelos anteriores con la intensidad del plano de fondo:

$$s_0 = \begin{cases} s_f & \text{si } z_0 = z_f \\ s_t & \text{si } z_0 = z_t \\ s_t + \frac{(z_0 - z_b)(s_f - s_b)}{z_f - z_b} & z_f < z_0 < z_t \end{cases}$$



ILUMINACIÓN

10

TÉCNICAS GRÁFICAS

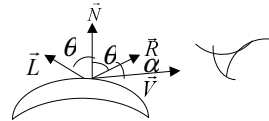
Modelos de Iluminación:

Reflexión especular: Los objetos con esta propiedad reflejan la luz en una única dirección.

Se manifiesta con un brillo o toque de luz en alguna de las direcciones de vista.

Un espejo perfecto refleja toda la luz en la dirección del vector \vec{R} simétrico a \vec{L} respecto a \vec{N}

El observador puede ver la luz reflejada por un espejo perfecto sólo cuando $\alpha = 0$



Los reflectores no perfectos presentan reflexión especular en la en un entorno al punto en que \vec{R} y \vec{v} coinciden.

ILUMINACIÓN

11

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación:

Modelo de Phong: Es un modelo para reflectores no perfectos.

Se supone el máximo reflejo especular en $\alpha = 0$ pero decrece bruscamente cuando α crece.

Phong aproxima este comportamiento utilizando en el modelo de iluminación el factor $\cos^n \alpha$

n se llama *exponente de reflexión especular* y varía de 1 a varios cientos.

Los valores negativos de $\cos \alpha$ se toman 0.

La intensidad de la luz reflejada depende del ángulo de incidencia y lo expresamos como $w(\theta)$

ILUMINACIÓN

12

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación:

Ecuación del modelo: $I_\lambda = I_{a\lambda} O_{a\lambda} + f_{at} I_{d\lambda} [k_d O_{d\lambda} \langle \vec{N}, \vec{L} \rangle + w(\theta) \cos^n \alpha]$

Suponiendo: \vec{R}, \vec{V} vectores normalizados y que $w(\theta)$ se puede considerar constante tomando valores en el intervalo $[0, 1]$:

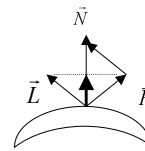
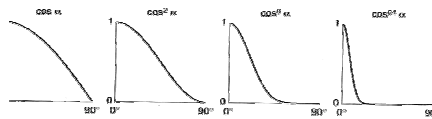
$$I_\lambda = I_{a\lambda} O_{a\lambda} + f_{at} I_{d\lambda} [k_d O_{d\lambda} \langle \vec{N}, \vec{L} \rangle + k_s \langle \vec{R}, \vec{V} \rangle^n]$$

k_s se llama *constante de reflexión especular*.

Cálculo de \vec{R}

$$\vec{R} + \vec{L} = 2 \langle \vec{N}, \vec{L} \rangle \vec{N}$$

$$\vec{R} = 2 \langle \vec{N}, \vec{L} \rangle \vec{N} - \vec{L}$$



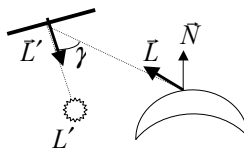
ILUMINACIÓN

13

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación:

Modelo de Warn: La luz proviene de la reflexión especular de una superficie iluminada por la fuente L' .



Se determina la intensidad de L en función de γ , el ángulo entre \vec{L}, \vec{L}'

Se supone que el reflector sólo refleja la luz especular y que el coeficiente de reflexión especular es 1, por lo que la intensidad de luz incidente es: $I_L = I_{L'\lambda} \cos^p \lambda$

Se consigue simular una emisión dirigida.

ILUMINACIÓN

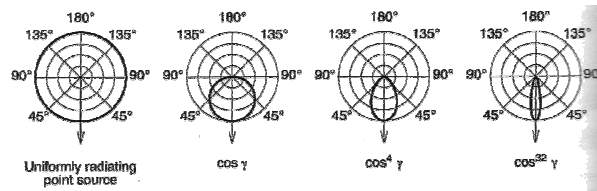
14

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación:

Modelo de Warn:

Distribuciones de intensidad como función del ángulo alrededor del eje de la luz en coordenadas polares. I' se dibuja como una flecha.



ILUMINACIÓN

15

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Iluminación:

Múltiples fuentes de luz: Se suman los términos para cada fuente:

$$I_{\lambda} = I_{a\lambda} k_a O_{d\lambda} + \sum_{i=1}^m f_{a_i} I_{d\lambda_i} \left[k_d O_{d\lambda} \langle N, L_i \rangle + k_s = O_{s\lambda} \langle R_i, V \rangle^n \right]$$

Si sobrepasa la intensidad máxima se pueden aplicar dos soluciones:

- Truncar los valores por encima del mayor valor permitido a 1.
- Calcular la imagen en su totalidad y distribuir las intensidades obtenidas entre 0 y 1.

ILUMINACIÓN

16

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Sombreado:

Sombreado constante: Se determina un único valor de intensidad para sombrear un polígono completo.

Las suposiciones del modelo son:

- La fuente de luz está en el infinito, por lo que $\langle N, L \rangle$ es constante en todo el polígono.
- El observador está en el infinito y por tanto $\langle N, V \rangle$ es constante.
- El polígono representa a la superficie.

ILUMINACIÓN

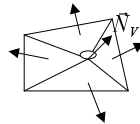
17

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Sombreado:

Sombreado de Gouraud: Se determinan los valores de la intensidad en cada punto por interpolación de las intensidades en los valores de intensidad en los vértices de los polígonos.

- Se calculan las normales en cada vértice promediando las normales las normales a todas las caras a las que pertenece.



$$\vec{N}_v = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{N}_i}{\left| \sum_{i=1}^n \vec{N}_i \right|}$$

- Se usan los vectores \vec{N}_v obtenidos para calcular las intensidades I_v en los vértices.

ILUMINACIÓN

18

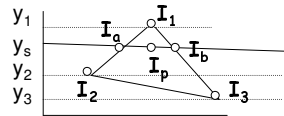
TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Sombreado:

Sombreado de Gouraud:

- Por último se interpolan las intensidades en los vértices para obtener la intensidad en un punto dado:

- Entre los 2 vértices de una arista, se obtienen I_a, I_b .



- Entre los dos extremos de un tramo a lo largo de la línea de rastreo, se obtiene I_p .

ILUMINACIÓN

19

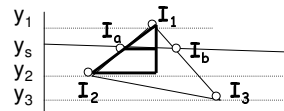
TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Sombreado:

Sombreado de Gouraud:

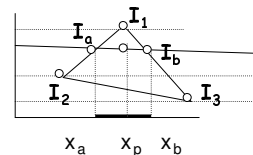
- Obtención de I_a, I_b :

$$\frac{y_1 - y_s}{y_1 - y_2} = \frac{I_1 - I_a}{I_1 - I_2} \Rightarrow I_a = I_1 - \frac{(y_1 - y_s)(I_1 - I_2)}{y_1 - y_2}$$



- Obtención de I_p :

$$\frac{x_p - x_a}{x_b - x_a} = \frac{I_p - I_a}{I_b - I_a} \Rightarrow I_p = I_a - \frac{(x_p - x_a)(I_b - I_a)}{x_b - x_a}$$



ILUMINACIÓN

20

TÉCNICAS GRÁFICAS

Modelos de Sombreado:

Sombreado de Phong: Se determinan las intensidades en cada punto utilizando la interpolación de los vectores normales en los vértices:

- Se calculan las normales en cada vértice.
- Se interpolan las normales para obtener un vector normal en cada punto.
- Se calcula la intensidad en cada píxel utilizando los vectores obtenidos y el modelo de iluminación escogido.

El modelo mejora notablemente los brillos y suaviza las aristas. Sin embargo, el coste computacional es alto.

ILUMINACIÓN

21

TÉCNICAS GRÁFICAS

Sombras:

El problema es equivalente al de detección de superficies visibles, sólo que ahora hay que determinar **qué es visible desde la fuente de luz:**

- Una superficie no visible desde la fuente de luz está en sombra.

El problema se resuelve aplicando algún algoritmo de detección de superficie visible para obtener en cada punto un valor:

$$S_i = \begin{cases} 1 & \text{Si el punto es visible desde la fuente } i. \\ 0 & \text{Si el punto no es visible desde la fuente } i. \end{cases}$$

$$I_\lambda = I_{a\lambda} k_{a\lambda} O_{a\lambda} + \sum_{i=1}^n S_i I_{d\lambda} f_{a_i} [O_{d\lambda} k_d \langle \vec{N}, \vec{L}_i \rangle + O_{s\lambda} k_s \langle \vec{R}, \vec{L}_i \rangle]$$

ILUMINACIÓN

22