

Modelos de iluminación

Introducción

- Entendemos por modelo de iluminación el cálculo de la intensidad de cada punto de la escena
- En el cálculo de la intensidad de un punto intervienen:
 - El tipo e intensidad de la fuente de luz
 - El material del objeto
 - La orientación del objeto con respecto a la luz
- El modelo más utilizado es el modelo de Phong

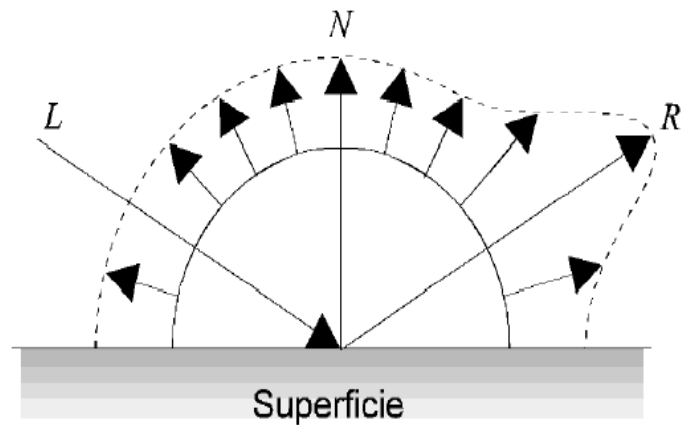
Introducción

- Fuentes puntuales o puntos de luz:
 - No tienen dimensión
 - No tienen dirección (emiten de forma radial)
 - Consideramos que una luz es puntual si su dimensión es muy pequeña comparada con la de los objetos de la escena
 - Ejemplos: sol, bombillas...
- Fuente de luz distribuidas:
 - Tienen dimensión
 - Tienen dirección
 - Ejemplos: focos, tubos de luz...

Modelo de iluminación de Phong

- Es un modelo empírico simplificado para iluminar puntos de una escena
- Los resultados son muy buenos en la mayoría de las escenas
- En este modelo, los objetos no emiten luz, sólo reflejan la luz que les llega de las fuentes de luz o reflejada de otros objetos

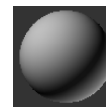
Modelo de iluminación de Phong



- La luz reflejada por un objeto puede ser de tres tipos
 - Luz ambiental: proviene de todas las direcciones e ilumina todas las caras del objeto por igual
 - Luz difusa: proviene de una dirección pero se refleja en todas direcciones
 - Luz especular: proviene de una dirección y se refleja sólo en una dirección
- La iluminación de un punto se calcula como la suma de los tres tipos de iluminaciones:
- $I_{\text{Phong}} = I_{\text{amb}} + I_{\text{dif}} + I_{\text{esp}}$

Modelo de iluminación de Phong (Luz ambiental)

- No proviene de una dirección concreta → incide sobre todas las partes del objeto
- Simula el proceso de reflexión de la luz sobre los demás objetos de la escena
- Se suele modelar como una constante → evita que las zonas sin luz directa se visualicen totalmente en negro.
- La iluminación ambiental depende de
 - I_a : constante de intensidad de la iluminación ambiental
 - k_a : coeficiente empírico que depende de las propiedades ópticas del material del objeto ($0 \leq k_a \leq 1$)
- $I_{\text{ambiental}} = I_a k_a$



Objeto a representar

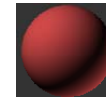


Sólo con iluminación ambiental
Constante para los puntos de la esfera

Modelo de iluminación de Phong (Luz difusa)

- La iluminación difusa depende de:
 - **N**: normal de la superficie en el punto P
 - **L**: vector de incidencia de la luz
 - I_i : intensidad de la fuente de luz
 - k_d : coeficiente empírico de reflexión que depende de la longitud de onda de la luz ($0 \leq k_d \leq 1$)
- El vector de reflexión **R** forma con la normal **N**, un ángulo θ equivalente al que forman **N** y **L**.
- $I_{\text{difusa}} = I_i k_d \cos\theta = I_i k_d (\mathbf{L} \cdot \mathbf{N})$ $0 \leq \theta \leq 2\pi$

Modelo de iluminación de Phong (Luz difusa)



Objeto a representar



Objeto con luz difusa

Sólo una zona está iluminada

Modelo de iluminación de Phong (Luz especular)

- Procede de una dirección concreta y se refleja en una única dirección → produce brillos intensos (por ejemplo, objetos metálicos)
- Como la difusa, sólo afecta a las partes del objeto en las que la luz incide directamente
- La iluminación depende del ángulo entre la dirección de incidencia de la luz y la posición del observador

Modelo de iluminación de Phong (Luz especular)

- La iluminación especular depende de:
 - **V**: vector de posición del observador
 - **L**: vector de incidencia de la luz
 - I_i : intensidad de la fuente de luz
 - k_e : coeficiente empírico de reflexión especular ($0 \leq k_e \leq 1$)
 - n : un índice que simula la rugosidad de la superficie ($1 \leq n < \infty$, 1: mate, ∞ : espejo)
 - Ω : ángulo entre **V** y **R**
- $I_{\text{especular}} = I_i k_e \cos^n \Omega = I_i k_e (\mathbf{R} \cdot \mathbf{V})^n$

Modelo de iluminación de Phong (Luz especular)

- En la expresión anterior, los brillos (iluminación especular) sólo dependen del ángulo Ω entre el observador y el vector de incidencia de la luz.
- En algunos materiales, los brillos sólo se producen cuando la luz incide con un ángulo θ cercano a los 90° con respecto a la normal de la superficie (por ejemplo, el cristal)
- Para modelar esto, podemos sustituir la constante k_e por una función W del ángulo θ
- $I_{\text{especular}} = I_l W(\theta) \cos^n \Omega = I_l W(\theta) (\mathbf{R} \cdot \mathbf{V})^n$

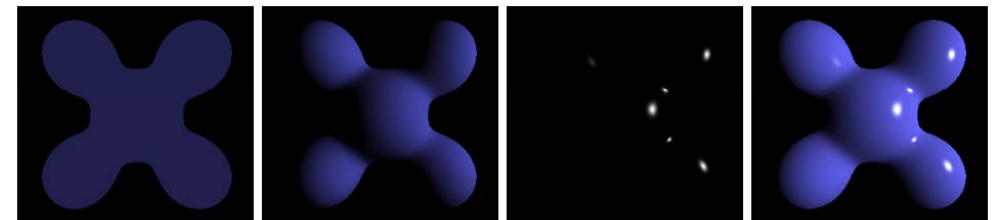
Modelo de iluminación de Phong (Luz especular)

- Modelo de Phong: la iluminación en un punto es una combinación lineal de los tres tipos de iluminación
- $I_{\text{phong}} = I_{\text{ambiental}} + I_{\text{difusa}} + I_{\text{especular}} = I_a k_a + I_l (k_d (\mathbf{L} \cdot \mathbf{N}) + k_e (\mathbf{R} \cdot \mathbf{V})^n)$
- Los coeficientes k_a , k_d y k_e modulan la influencia de cada tipo de luz
- Se suele utilizar una aproximación que simplifica los cálculos:
 - $\mathbf{R} \cdot \mathbf{V}$ es aproximadamente igual a $\mathbf{N} \cdot \mathbf{H}$
 - $\mathbf{H} = (\mathbf{L} + \mathbf{V})/2$ (\mathbf{H} tiende a ser constante cuando las luces y el observador están lejos del objeto)
 - Se puede utilizar el parámetro n para mejorar la aproximación
 - $I_{\text{Phong}} = I_a k_a + I_l (k_d (\mathbf{L} \cdot \mathbf{N}) + k_e (\mathbf{N} \cdot \mathbf{H})^n)$

Modelo de iluminación de Phong (Luz especular)

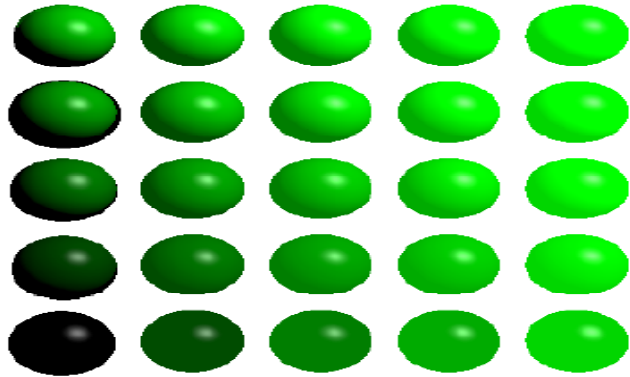


Ejemplo iluminación Phong



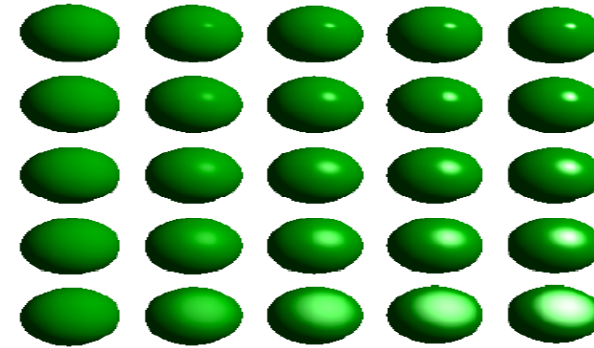
Ambient + Diffuse + Specular = Phong Reflection

Ejemplo iluminación Phong



Modelo de iluminación de phong, de izquierda a derecha el coeficiente De iluminación ambiente varía de 0 a 1 y de arriba abajo el coeficiente de reflexión difusa varía de 0 a 1.

Ejemplo iluminación Phong



Modelo de iluminación de Phong, de izquierda a derecha el coeficiente De reflexión especular de 0 a 1 y de arriba abajo el coeficiente n varía de 0 a 50.

Modelo de iluminación de Phong (Atenuación de la luz)

- Cuando la luz viaja por el espacio se va atenuando según una función de la distancia d entre el foco de luz y el objeto $f(d) = 1/d^2$
- Una mejor aproximación empírica utiliza la siguiente función de atenuación, donde los coeficientes a_0 , a_1 y a_2 pueden manipularse para conseguir diferentes efectos de iluminación $f(d) = 1/(a_0 + a_1 d + a_2 d^2)$
- La iluminación de Phong queda
- $I_{\text{Phong}} = I_a k_a + f(d) I_l (k_d (\mathbf{L} \cdot \mathbf{N}) + k_e (\mathbf{N} \cdot \mathbf{H})^n)$
- Atenuación sólo afecta a luz difusa y reflejada.

Modelo de iluminación de Phong (Color)

- En el modelo anterior, obtenemos un único valor de intensidad para cada punto \rightarrow imagen en tonos de gris.
- Con imágenes en color, debemos calcular las tres componentes RGB
- Para cada superficie se especifican los coeficientes de reflexión difusa, especular y ambiental como vectores de tres elementos, cada uno para un color

Modelo de iluminación de Phong (Color)

- Se aplica el modelo de Phong para cada componente de color
- Debemos tener en cuenta que la visualización del objeto depende de su color y del color de la luz que incide sobre él
- Los niveles de iluminación se calculan como en el caso de niveles de gris

Sombreado

- Definición
- Visualización de objetos
 - Sombreado plano o de intensidad constante
 - Sombreado de Gouraud
 - Sombreado de Phong
 - Mejoras del sombreado de Phong

Sombreado

- El sombreado o visualización de polígonos es la asignación de intensidades a cada punto de los polígonos que forman un objeto

Sombreado Plano

- Se calcula un único valor de intensidad para cada polígono mediante el modelo de iluminación de Phong, y se asigna a todos sus puntos
- Es exacto cuando:
 - El objeto es un poliedro
 - Las fuentes de luz se encuentran alejadas del objeto (en esos casos $\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}$ y la función de atenuación se pueden considerar constantes)
 - El observador está lejos del objeto ($\mathbf{V} \cdot \mathbf{R}$ se puede considerar constante)

Sombreado Plano (Inconvenientes)

- Si el objeto es una aproximación poliédrica de un objeto curvo, se visualizan las aristas entre polígonos.
- No pueden representarse brillos interiores a los polígonos, pues todos sus puntos tienen intensidad constante.
- Para obtener una buena representación de objetos aproximados, son necesarios muchos polígonos de pequeño tamaño.

Sombreado Plano



Sombreado de Gouraud

- Es un método incremental que realiza una interpolación de intensidades.
- En cada vértice del polígono se calcula la intensidad. La intensidad de los puntos intermedios se calcula por interpolación bilineal.

Sombreado de Gouraud (Cálculo)

- 1. Calcular intensidad en los vértices
 - 1.1. Calcular normal en el vértice: para evitar visualizar las aristas, la normal se calcula como la media de las normales de polígonos adyacentes.
 - 1.2. Calcular la intensidad del vértice I_v según el modelo de iluminación de Phong
- 2. Calcular la intensidad de los puntos interiores por interpolación lineal de las de los vértices.

Sombreado de Gouraud (Ventajas e Inconvenientes)

- Ventajas
 - Rápido
 - Elimina las aristas: mejora la visualización de las aproximaciones poliédricas de objetos curvos
- Inconvenientes
 - No representa bien los brillos especulares, por lo que se suele utilizar sólo para reflexión difusa

Sombreado de Gouraud



Sombreado de Phong

- Es un método incremental que realiza una interpolación de normales (en vez de interpolación de intensidades).
- En cada vértice del polígono se calcula la normal como media de las normales de los polígonos adyacentes. La normal de los puntos intermedios se calcula por interpolación lineal.
- En cada punto se aplica el modelo de iluminación de Phong

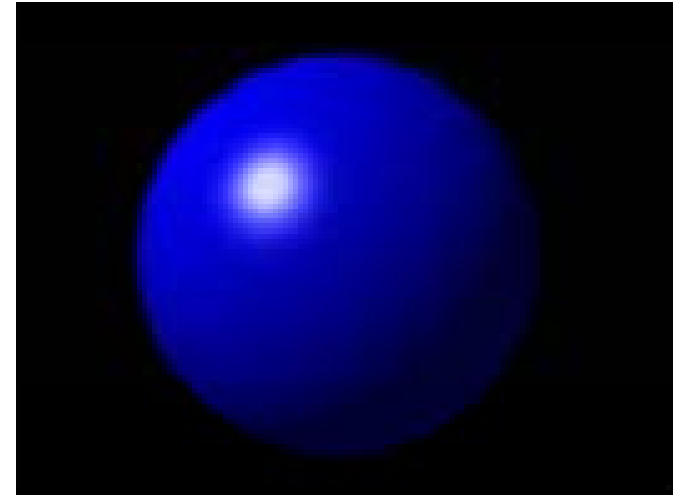
Sombreado de Phong (Cálculo)

- 1. Calcular normal en los vértices
 - Como en el sombreado de Gouraud, para evitar visualizar las aristas, la normal se calcula como la media de las normales de los polígonos adyacentes.
- 2. Calcular la normal de los puntos interiores por interpolación lineal de las de los vértices.
- 3. Cálculo de la intensidad:
 - Calcularla en cada punto mediante el modelo de iluminación de Phong.
 - Ahora se puede introducir también la reflexión especular

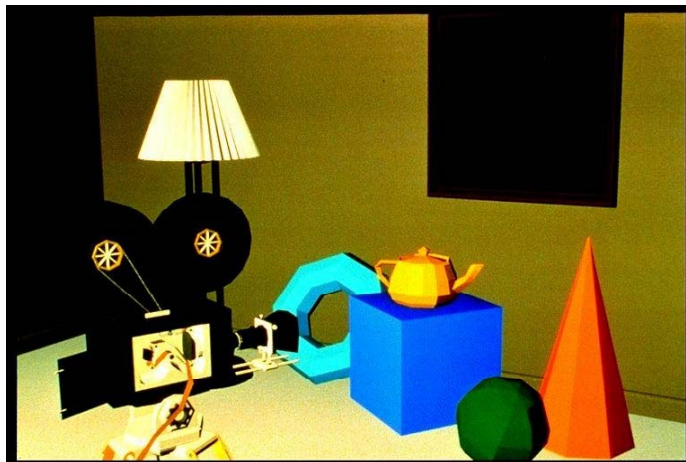
Sombreado de Phong (Ventajas e Inconvenientes)

- Ventajas
 - Obtiene mejores resultados que el sombreado de Gouraud
 - Elimina casi completamente las bandas de Mach
 - Representa bien los brillos especulares
- Inconvenientes
 - Tiene mucho mayor coste que el de Gouraud.
 - Ahora se interpolan tres componentes en vez de una
 - Para cada punto es necesario aplicar el modelo de iluminación

Sombreado de Phong



Sombreado plano



Gouraud



Phong

