

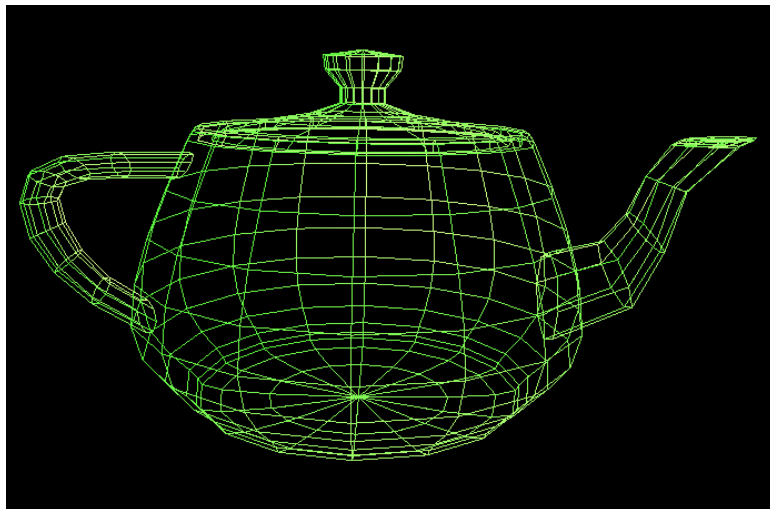
CC-52B Computación Grafica

Patricio.Inostroza@dcc.uchile.cl

pinostro@dcc.uchile.cl

1

Modelos de iluminación



- En busca de realismo...

pinostro@dcc.uchile.cl

2

2

Modelos de iluminación



- El color no basta...

pinostro@dcc.uchile.cl

3

3

Modelos de iluminación



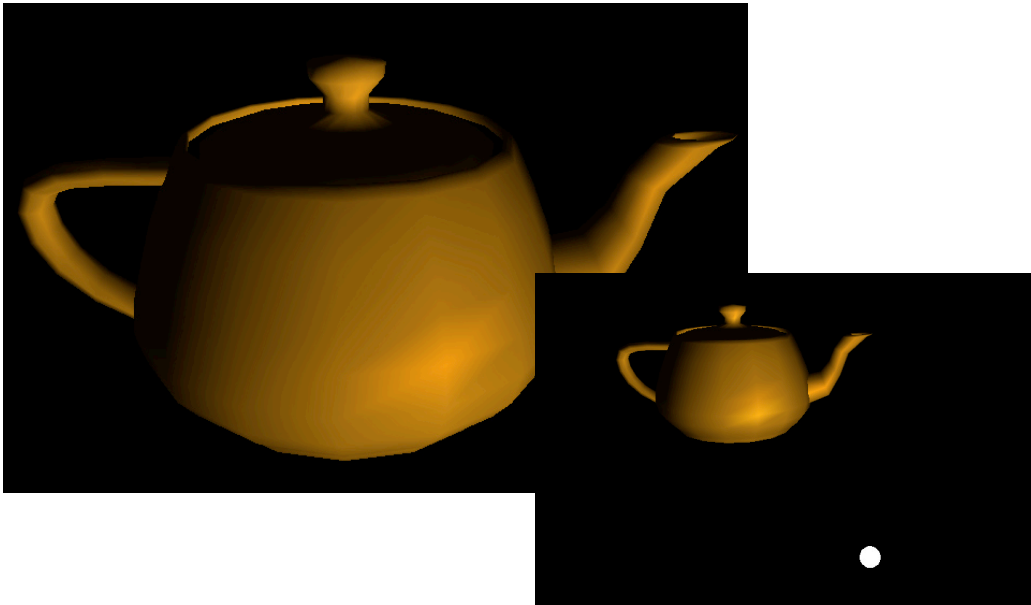
- ¿ Y la suavidad ?

pinostro@dcc.uchile.cl

4

4

Modelos de iluminación

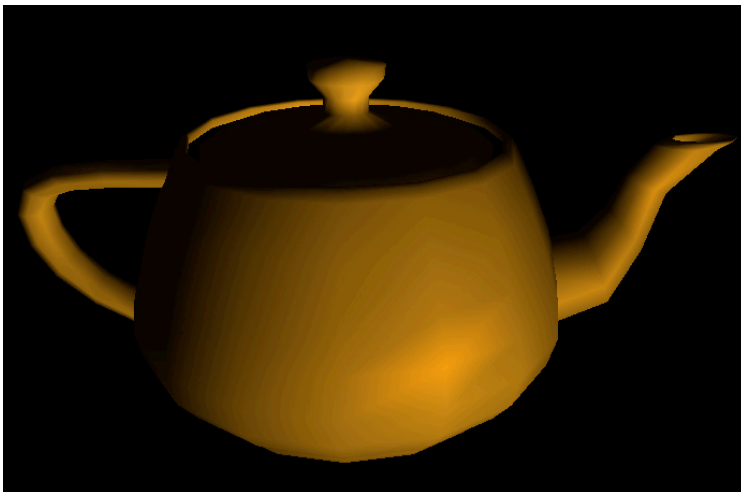


pinostro@dcc.uchile.cl

5

5

Modelos de iluminación



- En busca de más luz...

pinostro@dcc.uchile.cl

6

6

Modelos de iluminación



pinostro@dcc.uchile.cl

7

7

Rendering

- *Rendering*: conjunto de técnicas creadas con el fin de :
 - Colorear los objetos
 - Reproducir el comportamiento de la luz del mundo real
 - Obtener mayor realismo
- Principalmente interviene dos variables:
 - La fuente de luz
 - Las propiedades ópticas de los objetos

pinostro@dcc.uchile.cl

8

8

Rendering: Fuente de Luz

- Cada fuente de luz está definida por:
 - Color
 - Intensidad
 - Localización/Dirección
 - Tipo:
 - Puntual
 - Orientada
- Para efectos de curso, nos centraremos en luz puntual y ambiental

Propiedades ópticas del objetos

- Las propiedades ópticas del objeto establecen:
 - Color
 - Reflexión:
 - Difusa: en todas las direcciones
 - Especular: en una dirección
 - Refracción (opacidad/transparencia):
 - Difusa: en todas direcciones
 - Especular: en una dirección
 - Textura

Iluminación : Aspectos generales

- La energía luminosa que cae sobre un objeto es:
 - Absorbida
 - Reflejada
 - Transmitida
- El largo de onda de la luz incidente establece cuanto es absorbido/reflejado/transmitido
- Un objeto es visible gracias a la luz que refleja
- El color del objeto dependerá del largo de onda que es reflejado

pinostro@dcc.uchile.cl

11

11

Iluminación: Aspectos generales

- Un compromiso:
 - El realismo (calidad) de la simulación que realiza la iluminación conlleva un costo en el tiempo de *rendering*

Mayor realismo → Mayor tiempo de cálculo

pinostro@dcc.uchile.cl

12

12

Iluminación: Fuente direccional

Fuente direccional

- Esta ubicada en el infinito
- Emite la luz de manera uniforme
- Esta definida por:
 - Una dirección (s_x, s_y, s_z)
 - Un color (RGB)
 - Una intensidad
- Ejemplo:
 - Luz solar

pinostro@dcc.uchile.cl

13

13

Iluminación: Fuente direccional

- La intensidad de la luz incidente por unidad de superficie es proporcional al coseno del ángulo formado por la normal a la superficie y el rayo incidente:

$$L = -S = (-s_x, -s_y, -s_z)$$

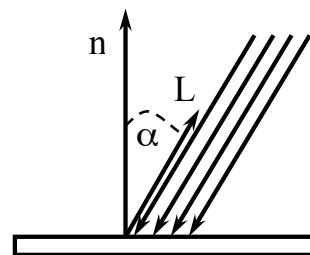
$$L \cdot n = |L| |n| \cos(a)$$

Notar que si:

$$|n| = |L| = 1$$

entonces:

$$L \cdot n = \cos(a)$$



pinostro@dcc.uchile.cl

14

14

Iluminación: Fuente puntual

- Ubicada en un punto del espacio
- Emite luz:
 - de manera uniforme
 - en todas direcciones



- Esta definida por:
 - Una posición en el espacio (s_x, s_y, s_z)
 - Un color (RGB)
 - Una intensidad

Iluminación: Fuente puntual

- La intensidad de la luz incidente por unidad de superficie es proporcional al coseno del ángulo formado por la normal a la superficie y el rayo incidente:

$$L = (s_x - p_x, s_y - p_y, s_z - p_z)$$

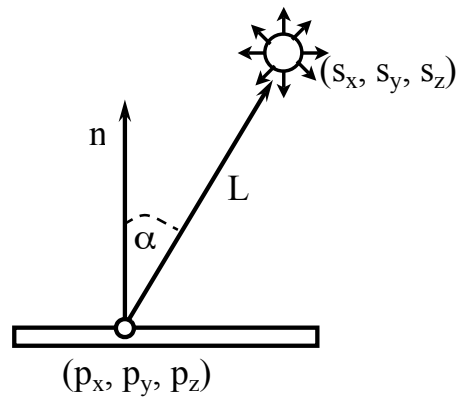
$$L \cdot n = |L| |n| \cos(\alpha)$$

Notar que si:

$$|n| = 1$$

entonces:

$$\cos(\alpha) = \frac{L \cdot n}{|L|}$$



Iluminación: Fuente puntual

- La intensidad de la luz incidente por unidad de superficie es proporcional al coseno del ángulo formado por la normal a la superficie y el rayo incidente:

$$L = (s_x - p_x, s_y - p_y, s_z - p_z)$$

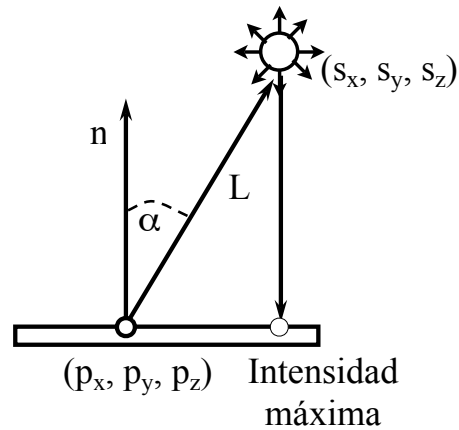
$$L \cdot n = |L| |n| \cos(\alpha)$$

Notar que si:

$$|n| = 1$$

entonces:

$$\cos(\alpha) = \frac{L \cdot n}{|L|}$$

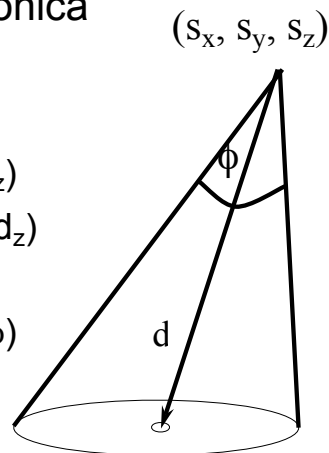


Iluminación: Spots

- Spot: fuente que simula la emisión de haz luminoso de forma cónica

- Esta definida por

- Una posición $s = (s_x, s_y, s_z)$
- Una dirección $d = (d_x, d_y, d_z)$
- Un color (RGB)
- Un ángulo de abertura (ϕ)
- Una intensidad



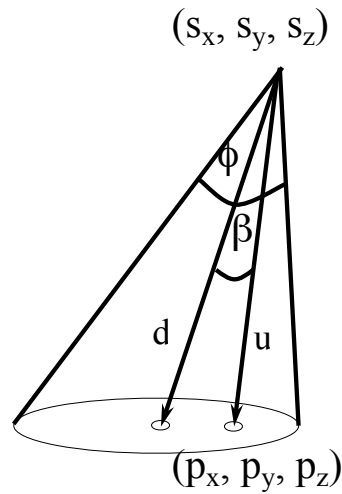
Iluminación: Spots

- Spot: fuente que simula la emisión de haz luminoso de forma cónica
- Esta definida por
 - Una posición $s = (s_x, s_y, s_z)$
 - Una dirección $d = (d_x, d_y, d_z)$
 - Un color (RGB)
 - Una ángulo de abertura (ϕ)
 - Una intensidad

$$\beta < \frac{\phi}{2}$$

$$u = (p_x - s_x, p_y - s_y, p_z - s_z)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{d \cdot n}{|d| |u|}\right)$$



pinostro@dcc.uchile.cl

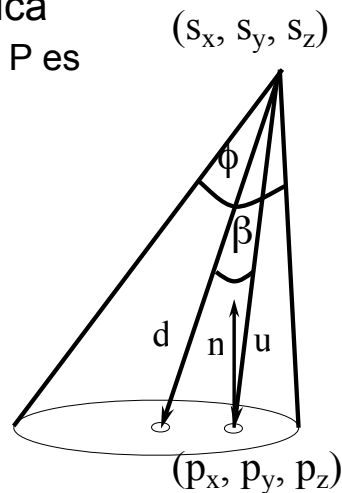
19

19

Iluminación: Spots

- Spot: fuente que simula la emisión de haz luminoso de forma cónica
 - La energía luminosa en P es proporcional al $\cos(\alpha)$

$$\cos(\alpha) = \frac{-u \cdot n}{|u| |n|}$$



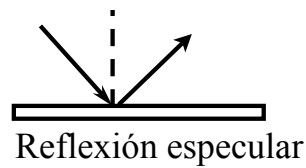
pinostro@dcc.uchile.cl

20

20

Reflexión de la luz

- La luz reflejada por un objeto depende de:
 - La composición
 - La dirección y
 - La geometría de la fuente
- Además, depende de:
 - La orientación de la superficie
 - De las propiedades de la superficie



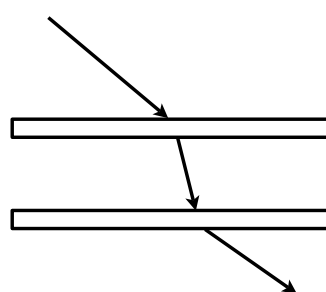
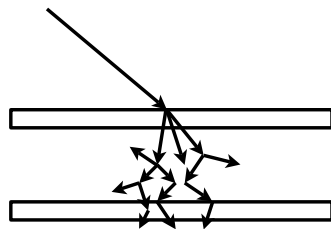
pinostro@dcc.uchile.cl

21

21

Transmisión de la luz

- Transmisión difusa (objeto translucido)
- Transmisión especular (objeto transparente)



pinostro@dcc.uchile.cl

22

22

Modelos gráficos: Reflexion

- Modelo de reflexión o iluminación
 - Algoritmo que permite simular la interacción de la luz con una superficie
 - Contiene los diferentes factores que determinan el color en un punto
- Modelo local:
 - Sólo toma en cuenta la luz proveniente de fuentes bien definidas.
 - Ej: Modelos de Phong, Cook y Torrence
- Modelo Global:
 - Toma en cuenta la luz proveniente de todas las superficies que componen la escena
 - Ej: Raytracing, radiosidad

pinostro@dcc.uchile.cl

23

23

Modelos locales de reflexión

- El modelo está basado en fuentes luminosas puntuales
- De forma empírica, se ha descompuesto la luz reflectada en un punto de la superficie en tres componentes:
 - Ambiente (I_a)
 - Difusa (I_d)
 - Especular (I_s)

$$I(x) = I_a(x) + I_d(x) + I_s(x)$$

pinostro@dcc.uchile.cl

24

24

Reflexión difusa

- La ley de Lambert describe la reflexión de la luz de un difusor perfecto como:

$$I = I_i k_d \cos(\alpha)$$

- Donde:

I : Intensidad de la luz reflejada en un punto de la superficie

I_i : Intensidad de la luz incidente

α : ángulo entre la dirección de la luz y la normal

k_d : coeficiente de difusión

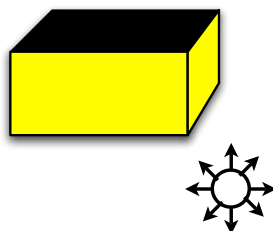
pinostro@dcc.uchile.cl

25

25

Reflexión difusa

- En el modelo de Lambert no hay iluminación en los objetos que no son alumbrados directamente por la fuente de luz.
 - Estos objetos aparecen de color negro



- En una escena real, los objetos también reciben luz difusa (dada por el ambiente): luz ambiente

pinostro@dcc.uchile.cl

26

26

Luz Ambiente

- La luz ambiente es representada por una fuente de luz distribuida
- Los modelos gráficos elementales aproximan la luz ambiente por una constante:

$$I = I_a k_a + I_i k_d \cos(\alpha)$$

- Donde,

I_a : intensidad de la luz ambiente

k_a : constante de difusión de la luz ambiente

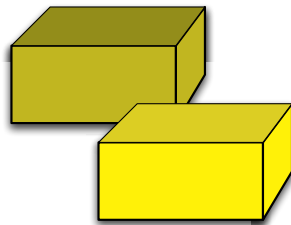
pinostro@dcc.uchile.cl

27

27

Atenuación de la luz

- Dos objetos orientados en forma idéntica respecto a una fuente de luz deberían ser distinguibles
- En la vida real, el objeto más alejado tiene una apariencia más tenue



pinostro@dcc.uchile.cl

28

28

Atenuación de la luz

- La intensidad de la luz decrece c/r a la distancia a la fuente:

$$I = I_a k_a + f_a I_i k_d \cos(\alpha)$$

- Donde,

$$f_a = \max\left(1, \frac{1}{(c_0 + c_1 d_L + c_2 d_L^2)}\right)$$

- con

c_i : constantes de atenuación

d_L : distancia a la fuente de luz

- Notar que el efecto de distancia puede ser obviado si $c_0 = 1$ y $c_1 = c_2 = 0$

pinostro@dcc.uchile.cl

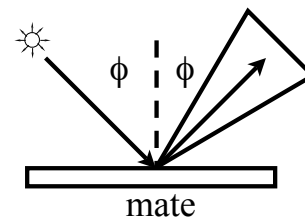
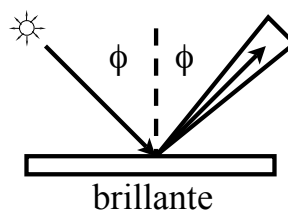
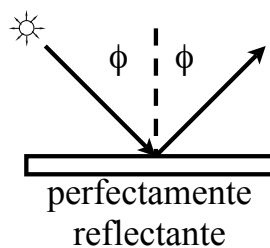
29

29

Reflexión especular

- La intensidad de la luz especular reflejada depende de:

- El largo de onda de la luz incidente
- El ángulo de la luz incidente
- Las características del material



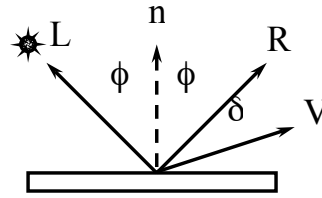
pinostro@dcc.uchile.cl

30

30

Reflexión especular: Phong

$$I_s = I_i w(\phi, \sigma)^n \cos(\delta)$$



- δ : ángulo entre la línea de visión (v) y la dirección del reflejo (r)
- n : coeficiente que da una aproximación de la distribución de la luz especular reflectada
- $w(\phi, \sigma)$: función de reflectancia

pinostro@dcc.uchile.cl

31

31

Reflexión especular: Phong

- $w(\phi, \sigma)$:
 - función de reflectancia
 - Relaciona la luz especular reflejada, la luz incidente en función del ángulo de incidencia y el largo de onda de la luz incidente
- En general, $w(\phi, \sigma)$ es reemplazada por una constante ☺

pinostro@dcc.uchile.cl

32

32

Reflexión especular: Phong

- Cálculo de $\cos(\delta)$

$$\cos(\delta) = R \cdot V$$

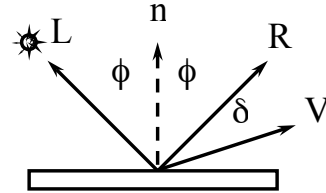
$$I_s = I_i w(\phi, \sigma)^n \cos(\delta)$$

- Cálculo de R en función de n y L

$$V \cdot L = \cos(2\phi + \delta)$$

$$= \cos(2\phi) \cos(\delta) - \sin(2\phi) \sin(\delta)$$

$$= \cos(\delta) (\cos(\phi) - \sin(\phi)) - \sin(2\phi) \sin(\delta)$$



$$n \cdot V = \cos(\phi + \delta)$$

$$= \cos(\phi) \cos(\delta) - \sin(\phi) \sin(\delta)$$

$$R \cdot V = 2 (n \cdot L)(n \cdot V) - V \cdot L$$

pinostro@dcc.uchile.cl

33

33

Reflexión especular: Phong

- En resumen, el modelo completo es:

$$I = I_a K_a + \sum [I_i K_d (L \cdot n) + I_i^n K_s (R \cdot V)]$$

- Con:

$$R \cdot V = 2 (n \cdot L) (n \cdot V) - V \cdot L$$

pinostro@dcc.uchile.cl

34

34

Generalidades

- Modelo de reflexión: luz en un punto de la superficie
- Modelo de sombreado: cálculo de la luz en todos los puntos
- Cada cara de un polígono
 - Tiene una normal (constante y única)
 - La intensidad se calcula sobre un punto y se aplica a toda la cara

pinostro@dcc.uchile.cl

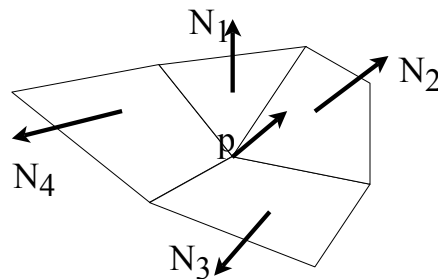
35

35

Sombreado de Gouraud

- A cada vértice del polígono se le calcula una normal
 - El promedio de las normales de las caras que poseen el vértice
- Se calcula la intensidad en cada vértice
- Se determina la intensidad de cada píxel por interpolación bilinear

$$N_p = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4}{4}$$



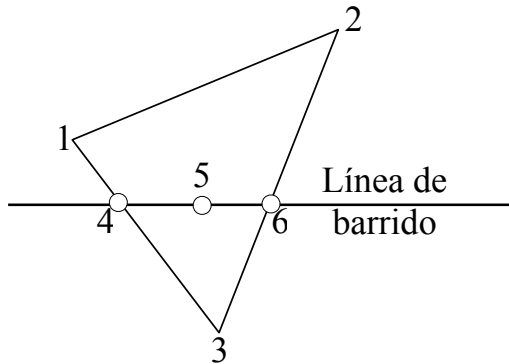
pinostro@dcc.uchile.cl

36

36

Sombreado de Gouraud

- Interpolación bilinear de las intensidades sobre una línea



$$I_4 = I_1 \frac{y_4 - y_3}{y_1 - y_3} + I_3 \frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_3}$$

$$I_6 = I_3 \frac{y_6 - y_2}{y_3 - y_2} + I_2 \frac{y_3 - y_6}{y_3 - y_2}$$

$$I_5 = I_4 \frac{x_5 - x_6}{x_4 - x_6} + I_6 \frac{x_4 - x_5}{x_4 - x_6}$$

pinostro@dcc.uchile.cl

37

37

Sombreado de Gouraud

- Lo bueno 😊
 - Mejora el realismo
 - Relativamente 'barato' en tiempo de cálculo
- Lo malo ☹️
 - El contorno de las siluetas es poligonal
 - Los polígonos deben ser convexos
 - El cálculo de las normales puede aplanar el efecto de relieve
 - ...

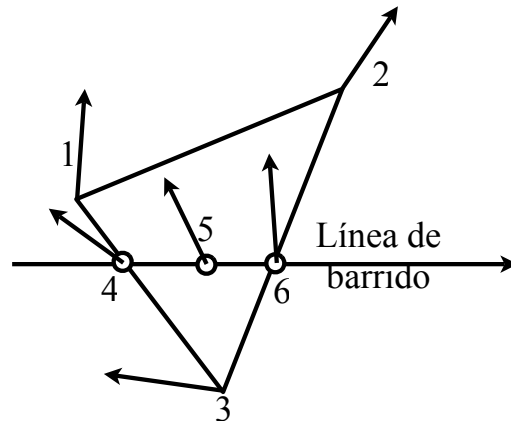
pinostro@dcc.uchile.cl

38

38

Sombreado de Phong

- A cada vértice del polígono se le calcula una normal
 - El promedio de las normales de las caras que poseen el vértice
- Se interpolan las normales a lo largo de la línea de barrido
- Se determinan las intensidades en cada píxel utilizando las normales interpoladas



pinostro@dcc.uchile.cl

39

39

Sombreado de Phong

- Lo bueno 😊
 - Mejor aproximación local de la curvatura de la superficie
 - Mejor *rendering* en reflejo especular
- Lo malo ☹️
 - Más costoso en tiempo de calculo

pinostro@dcc.uchile.cl

40

40