

Podstawy Grafiki Komputerowej

Wykład 6: Oświetlenie

Andrzej Łukaszewski

Pracownia Grafiki Komputerowej
(LIGHT — Laboratory of Imaging and GraphiC Techniques)
Instytut Informatyki, Uniwersytet Wrocławski

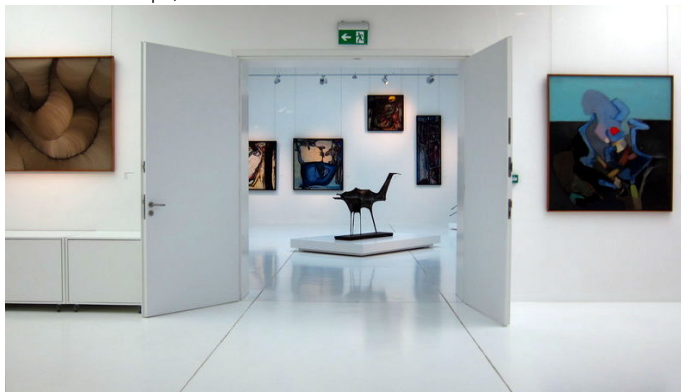
18 listopada 2019

Oświetlenie: element wizji 3D

Z jakich elementów system widzenia tworzy 3D model:

- **widoczność** (zasłanianie dalszych przedmiotów)
- **paralaksa** (stereo-wizja dzięki parze oczu)
- **perspektywa** (dalsze przedmioty mniejsze)
- **oświetlenie** (cieniowanie — shading)

Pawilon Czterech Kopuł, Wrocław XI.2016:



Oświetlenie: Vermeer, XVII wiek

Światło w: *malarstwie i fotografii* ma kluczowe znaczenie dla realizmu, poczucia przestrzeni, estetyki.

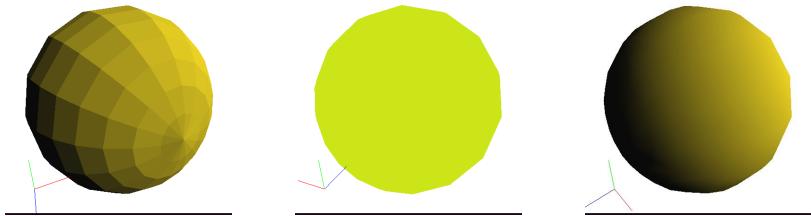
Rodzaje źródeł światła: powierzchniowe lub punktowe, rodzaje odbicia, oświetlenie pośrednie, cienie.



Johannes Vermeer, *Geographer*, 1668–1669, Städelsches Kunstinstitut, Frankfurt am Main, Germany

Oświetlenie: element wizji 3D

Bez oświetlenia nie jesteśmy w stanie odróżnić kuli od płaskiego koła:



Symulowanie oświetlenia to w pierwszej kolejności:

→ modelowanie lokalnego odbicia światła

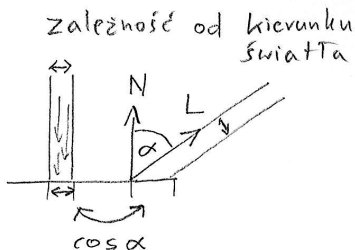
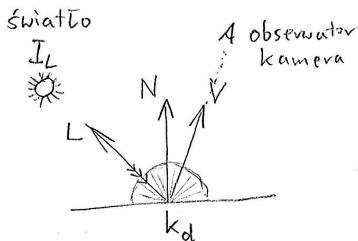
→ czyli oświetlenie bezpośrednie

Na początek rozważamy źródło światła punktowe.

Oświetlenie: odbicie rozproszone

Odbicie idealnie rozproszone/lambertowskie/diffuse:

Światło odbija się równo we wszystkich kierunkach, ale intensywność zależy od kąta padania:

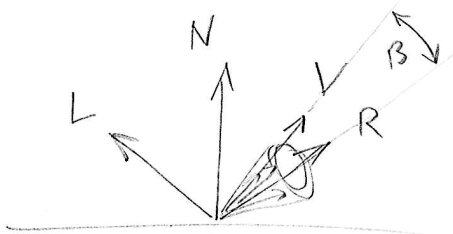
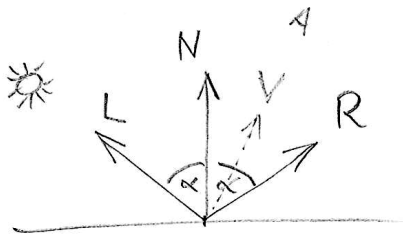


$$I = I_L \cdot k_d \cdot \cos \alpha = I_L k_d \langle N, L \rangle$$

Oświetlenie: odbicie zwierciadlane

Idealne odbicie zwierciadlane zachodzi zgodnie z prawem:

“kąta padania jest równy kątowi odbicia”



Dla światła punktowego jest tylko jeden kierunek odbicia. ...

... chyba, że powierzchnia jest szorstka.

Oświetlenie: model Phong'a

Model Phong'a składa się z 3 składowych:

- składowa rozproszona/diffuse
- składowa zwierciadlana/specular to odbicie rozmyte/glossy

$$I = I_L \cdot k_S \cdot \cos^n(\beta) = I_L k_S \langle R, V \rangle^n$$

$$R = 2N \langle N, L \rangle - L$$

- składowa dla światła otoczenia/ambient

Powszechnie stosowany prosty model empiryczny (nie fizyczny).

Jak model Phong'a ma się do rzeczywistości? Np.:



Pawilon Czterech Kopył, Wrocław

2016.

Oświetlenie: model Phong'a

Model Phong'a w całości:

$$I = I_L k_d \cos(\alpha) + I_L k_s \cos^n(\beta) + I_L k_a$$

$$I = I_L k_d \langle N, L \rangle + I_L k_s \langle R, V \rangle^n + I_L k_a$$

- gdy mamy więcej źródeł punktowych ...
- zamiast intensywności: kolory I_L , k_d , k_s definiujemy jako wektory RGB; operacje wykonujemy osobno po współrzędnych RGB.
- Współczynniki k opisują materiał: k_d kolor powierzchni, a k_s to kolor biały lub dla metali kolor powierzchni: $s \cdot k_d$.
- intensywność światła zależna od odległości: poprawnie fizycznie czy praktycznie

$$\frac{1}{ad^2 + bd + c}$$

- światła kierunkowe z emisją np. proporcjonalną do $\cos^p(\gamma)$

Oświetlenie: wykładnik Phong

Wykładnik Phong opisuje materiał, w praktyce $n \leq 100$

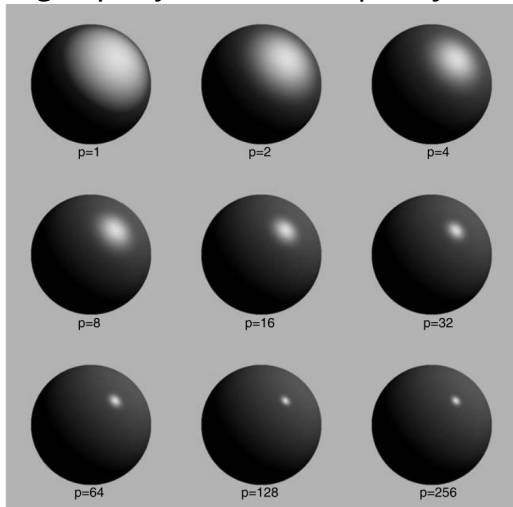
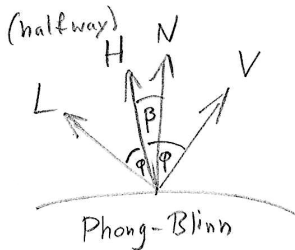
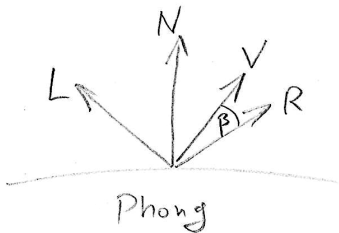


Figure 10.6. The effect of the Phong exponent on highlight characteristics. This uses Equation (10.5) for the highlight. There is also a diffuse component, giving the objects a shiny but non-metallic appearance. *Image courtesy Nate Robins.*

Oświetlenie: model Phong-Blinna

Model Phong-Blinna : wektor połówkowy dla uproszczenia obliczeń



Wykładnik Phonga $n = 1..50$ opisuje skupienie odbicia zwierciadlanego materiału: inny w obu modelach bo kąt jest inny.

Oświetlenie: prawa Snell'a i Beer'a

Refrakcja/ugięcie promienia: indeks refrakcji

Prawo Snell'a: opisuje ugięcie promienia dla obiektów przezroczystych

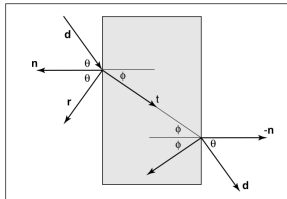
$$\eta_1 \sin \theta_1 = \eta_2 \sin \theta_2$$

Jeśli b wektor styczny i n wektor normalny na zewnątrz to po obliczeniu ugięcia mamy kierunek ugięcia:

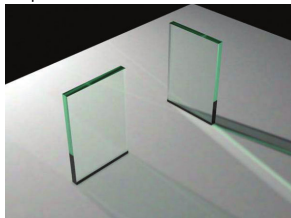
$$t = \sin \theta_2 b - \cos \theta_2 n$$

Prawo Beer'a: opisuje spadek intensywności w ośrodku półprzezroczystym: $dI = -CI \cdot dx$ co daje eksponencjalne tłumienie:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-Cx}$$



P.Shirley - "Fundamentals of Computer Graphics" 3rd Edition.



P.Shirley - "Fundamentals of Computer Graphics" 3rd Edition.

Oświetlenie: funkcja Fresnela

Funkcja Fresnela $F(\alpha)$ – opisuje fizycznie ilość odbitego światła w sposób zwierciadlany w zależności od kąta padania.

Dokładną wartość można wyliczyć z zespolonego indeksu refrakcji $\eta + \kappa \cdot i$ dla danego materiału i długości fali światła.

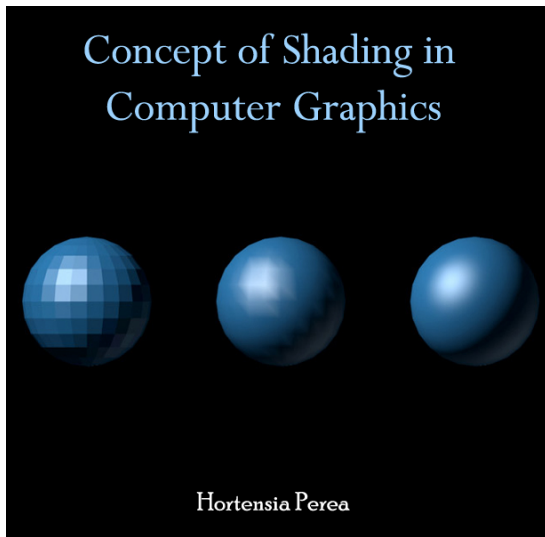
Przybliżenie (Schlick, 1994):

Jeśli ρ oznacza część rzeczywista indeksu refrakcji, a część zespoloną uznamy za zero to przybliżona wartość dla prostopadłego kierunku:

$$F(0) = F_0 = \left(\frac{\rho - 1}{\rho + 1} \right)^2$$

Przybliżenie Schlicka

$$F(\theta) = F_0 + (1 - F_0)(1 - \cos\theta)^5$$



Okladka: Hortensia Perea — "Concept of Shading in Computer Graphics"

Cieniowanie: gdzie obliczamy oświetlenie

Czy obliczamy oświetlenie dla każdego piksela czy dla wierzchołków?

→ vertex czy fragment shader?

Wejście które dostaje fragment shader powstaje przez interpolacje wyjścia vertex shadera, chyba że użyjemy: `flat in`

Cele:

- 1 zmniejszenie kosztów obliczeń oświetlenia: zamiast dla każdego punktu tylko dla wierzchołków.
- 2 wygładzenie siatek trójkątów przybliżających powierzchnie gładkie

Metoda A: Kiedy stosować cieniowanie stałym kolorem?

Cieniowanie: Gouraud

Metoda B: Kolor w wierzchołkach, interpolacja ...

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

$$I_a = I_1 - (I_1 - I_3) \frac{y_1 - y_p}{y_1 - y_3}$$

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

Metoda różnicowa:

$$\Delta I_p = \frac{I_b - I_a}{x_b - x_a} \Delta x$$

niezmienniczość dla trójkąta tak, dla kwadratu na obrót o 90 stopni też tak ale nie na dowolny (tylko w kierunkach x,y wykres składa się z prostych)

Cieniowanie: Phong

Metoda C: Cieniowanie Phong:

Dwuliniowa interpolacja wektorów normalnych, wyliczanie oświetlenia w każdym punkcie. Większy koszt niż Gouraud.

Przewaga: oblicza poprawniej rozbłyski wewnątrz ścian.

Fixed-pipeline: tylko metody A i B:

```
glShadeModel(GL_FLAT | GL_SMOOTH)
```

Implementacja na GPU:

vertex shader:

konsekwentna zmiana układu współrzędnych wektorów normalnych i źródeł światła

fragment shader:

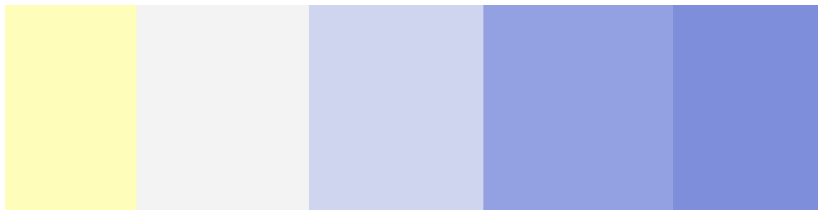
obliczamy oświetlenie dla każdego piksela osobno

Przykład ...

Cieniowanie: Pasma Macha

Pasma Macha:

Nasz układ widzenia z powodów ewolucyjnych uwypukla krawędzie, czyli nieciągłości funkcji jasności:



Podobnie z nieciągłościami pierwszej pochodnej funkcji jasności.