

WSTĘP DO GRAFIKI KOMPUTEROWEJ

Miłosz Michalski

Institute of Physics
Nicolaus Copernicus University

Październik 2015

- Światło, kolor, zmysł wzroku.
- Obraz: fotografia, grafika cyfrowa, poligrafia
- Grafika rastrowa: typowe narzędzia i techniki
- Grafika wektorowa: elementy i techniki
- **Elementy grafiki 3D**

Grafika wektorowa 3D — reprezentacja obiektów

Grafika wektorowa 3D — reprezentacja obiektów

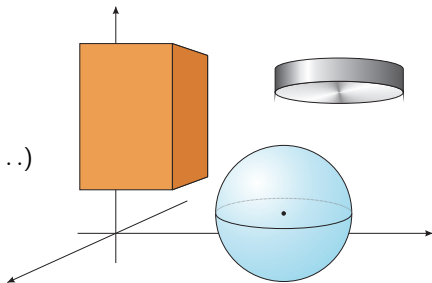
- Podobnie jak w przypadku grafiki wektorowej na płaszczyźnie, model analityczny opisany jest parametrycznie w przestrzeni 3D

Kula($x_0, y_0, z_0, r, \dots$)

Prostopadłościan($x_1, y_1, z_1, a, b, c, \dots$)

Walec($x_2, y_2, z_2, r, h, \dots$)

...



Grafika wektorowa 3D — reprezentacja obiektów

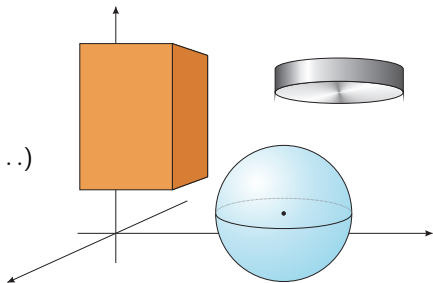
- Podobnie jak w przypadku grafiki wektorowej na płaszczyźnie, model analityczny opisany jest parametrycznie w przestrzeni 3D

Kula($x_0, y_0, z_0, r, \dots$)

Prostopadłościan($x_1, y_1, z_1, a, b, c, \dots$)

Walec($x_2, y_2, z_2, r, h, \dots$)

...



- Obraz powstaje przez rzutowanie modelu na zadaną płaszczyznę obserwacji

Grafika wektorowa 3D — reprezentacja obiektów

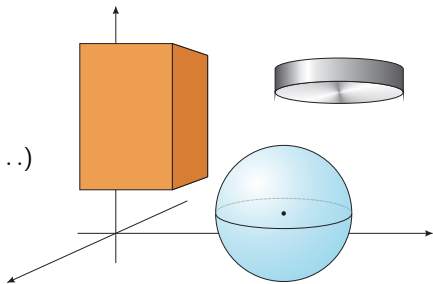
- Podobnie jak w przypadku grafiki wektorowej na płaszczyźnie, model analityczny opisany jest parametrycznie w przestrzeni 3D

Kula($x_0, y_0, z_0, r, \dots$)

Prostopadłościan($x_1, y_1, z_1, a, b, c, \dots$)

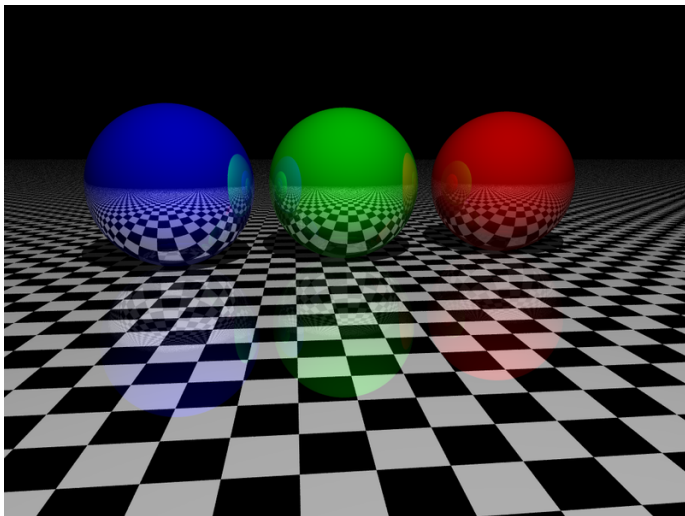
Walec($x_2, y_2, z_2, r, h, \dots$)

...



- Obraz powstaje przez rzutowanie modelu na zadaną płaszczyznę obserwacji
- Rendering uwzględnia dane o położeniu obserwatora i oświetleniu

Grafika wektorowa 3D — realistyczny rendering



Źródło: [1]

Grafika wektorowa 3D — realistyczny rendering



Źródło: [2]

Grafika wektorowa 3D — realistyczny rendering

- Uwzględnia położenia źródeł światła

Grafika wektorowa 3D — realistyczny rendering

- Uwzględnia położenia źródeł światła
- Efekty cienia i półcienia

Grafika wektorowa 3D — realistyczny rendering

- Uwzględnia położenia źródeł światła
- Efekty cienia i półcienia
- Lustrzane odbicia (zgodne z geometrią odbijającej powierzchni)

Grafika wektorowa 3D — realistyczny rendering

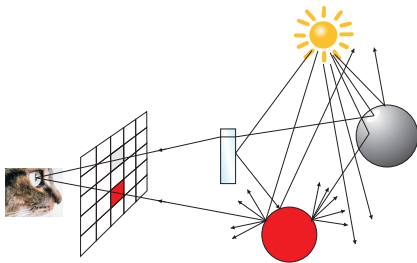
- Uwzględnia położenia źródeł światła
- Efekty cienia i półcienia
- Lustrzane odbicia (zgodne z geometrią odbijającej powierzchni)
- Załamanie (refrakcja) światła w przezroczystych obiektach

- Uwzględnia położenia źródeł światła
- Efekty cienia i półcienia
- Lustrzane odbicia (zgodne z geometrią odbijającej powierzchni)
- Załamanie (refrakcja) światła w przezroczystych obiektach
- Odbicia i załamania wielokrotne

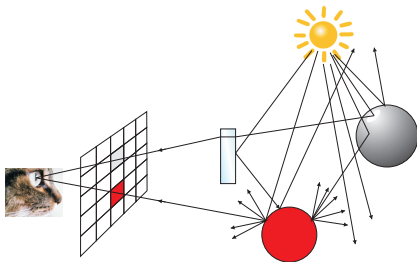
- Uwzględnia położenia źródeł światła
- Efekty cienia i półcienia
- Lustrzane odbicia (zgodne z geometrią odbijającej powierzchni)
- Załamanie (refrakcja) światła w przezroczystych obiektach
- Odbicia i załamania wielokrotne
- Rozpraszanie i pochłanianie światła

- Uwzględnia położenia źródeł światła
- Efekty cienia i półcienia
- Lustrzane odbicia (zgodne z geometrią odbijającej powierzchni)
- Załamanie (refrakcja) światła w przezroczystych obiektach
- Odbicia i załamania wielokrotne
- Rozpraszanie i pochłanianie światła
- Implementacja — śledzenie promieni: **proste, wsteczne, mieszane**

Metody renderingu — forward raytracing

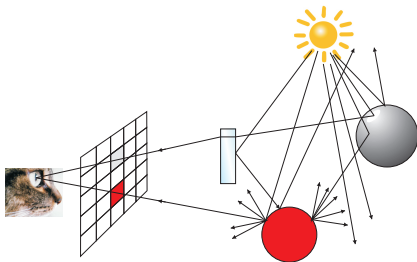


Metody renderingu — forward raytracing



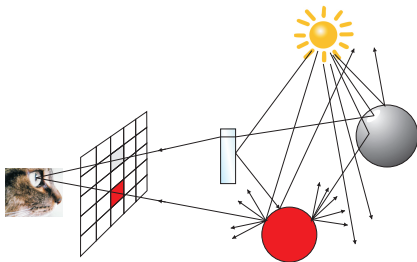
- Symulacja Monte Carlo ruchu fotonów (ok. 10^6)
podlegających wielokrotnym odbiciom, refrakcji, rozpraszaniu
i pochłanianiu przez obiekty sceny

Metody renderingu — forward raytracing



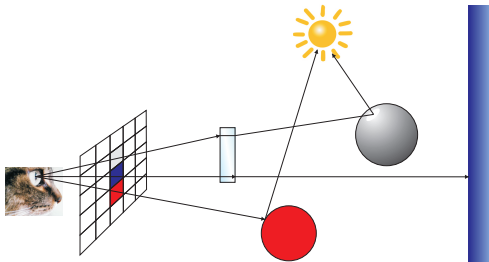
- Symulacja Monte Carlo ruchu fotonów (ok. 10^6) podlegających wielokrotnym odbiciom, refrakcji, rozpraszaniu i pochłanianiu przez obiekty sceny
- Większość symulowanych cząstek nigdy nie przecina powierzchni rzutni, przez co znaczna część mocy obliczeniowej jest tracona

Metody renderingu — forward raytracing

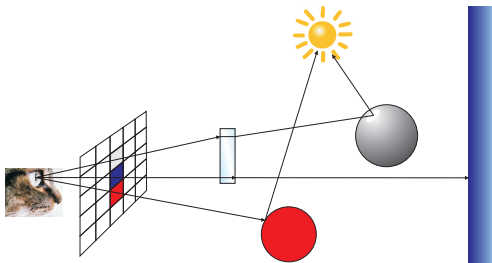


- Symulacja Monte Carlo ruchu fotonów (ok. 10^6) podlegających wielokrotnym odbiciom, refrakcji, rozpraszaniu i pochłanianiu przez obiekty sceny
- Większość symulowanych cząstek nigdy nie przecina powierzchni rzutni, przez co znaczna część mocy obliczeniowej jest tracona
- Dobra realistyczna jakość generowanego obrazu

Metody renderingu — backward raytracing

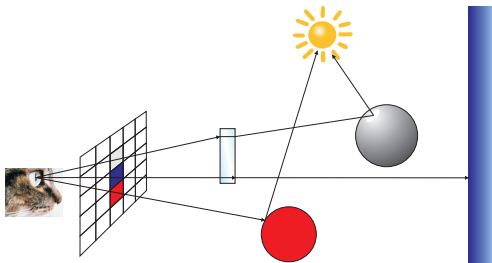


Metody renderingu — backward raytracing



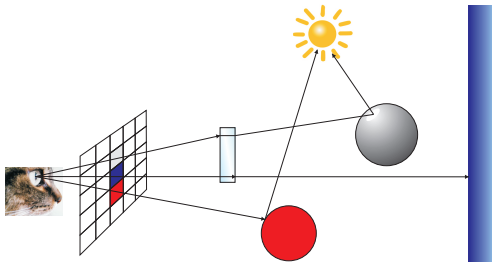
- Odtwarzanie “historii” promienia na przedłużeniu linii od obserwatora do punktu (piksela) na rzutni

Metody renderingu — backward raytracing



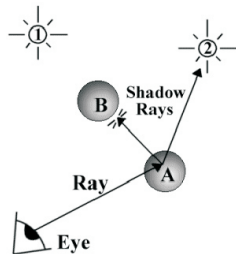
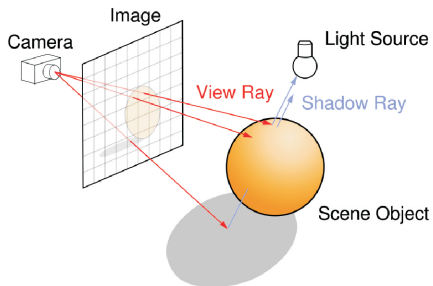
- Odtwarzanie “historii” promienia na przedłużeniu linii od obserwatora do punktu (piksela) na rzutni
- Obiekt na drodze promienia: z punktu incydencji prowadzone są promienie wtórne do źródeł światła by określić oświetlenie tego punktu (z pozycji obserwatora)

Metody renderingu — backward raytracing

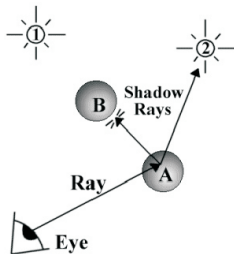
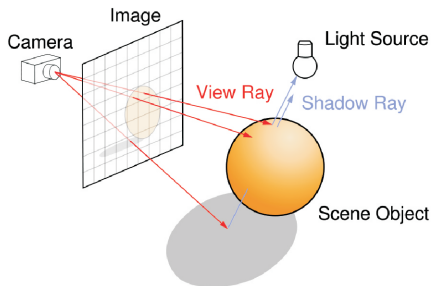


- Odtwarzanie “historii” promienia na przedłużeniu linii od obserwatora do punktu (piksela) na rzutni
- Obiekt na drodze promienia: z punktu incydencji prowadzone są promienie wtórne do źródeł światła by określić oświetlenie tego punktu (z pozycji obserwatora)
- Atrybuty obiektu i jego powierzchni: matowa, lustrzana, przezroczysty; rekurencyjna kontynuacja promieni wtórnych (odbitych, załamanych)

Backward raytracing: efekt cienia

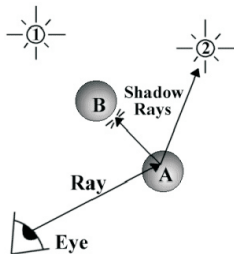
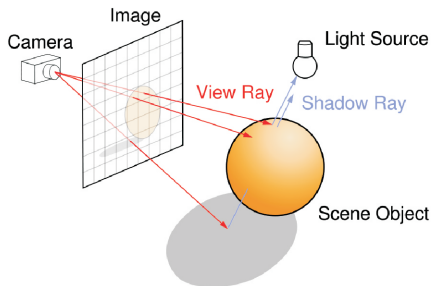


Backward raytracing: efekt cienia



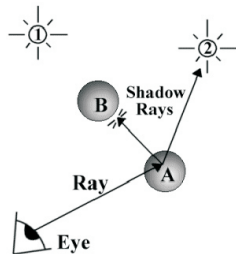
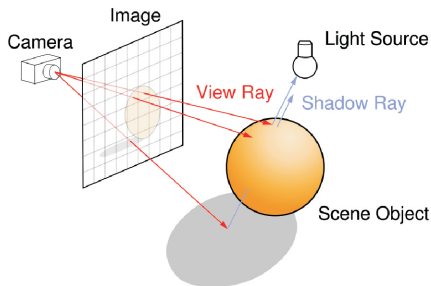
- Wtórne promienie z punktu incydencji do **wszystkich** źródeł światła

Backward raytracing: efekt cienia

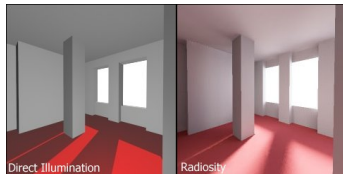


- Wtórne promienie z punktu incydencji do **wszystkich** źródeł światła
- Kolor pikseła na rzutni określany na podstawie barwy obiektu i światła

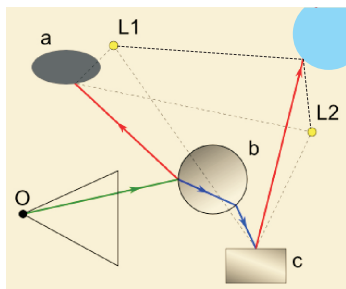
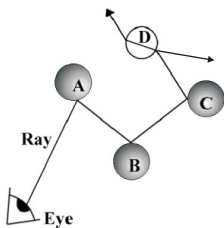
Backward raytracing: efekt cienia



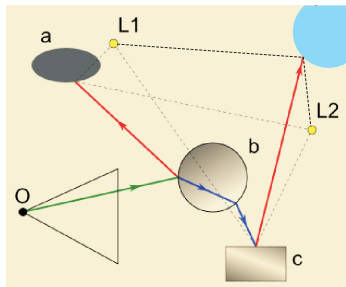
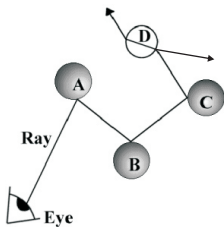
- Wtórne promienie z punktu incydencji do **wszystkich** źródeł światła
 - Kolor piksela na rzutni określany na podstawie barwy obiektu i światła
 - Efekt cienia niezbyt realistyczny
- Źródło: [3]



Backward raytracing: odbicia i załamania

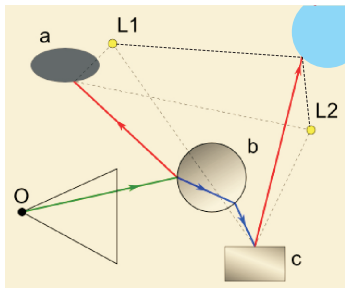
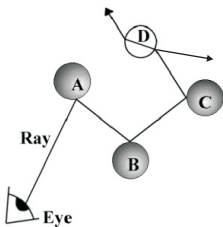


Backward raytracing: odbicia i załamania



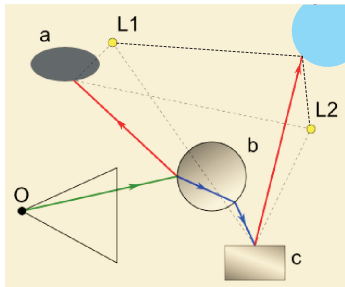
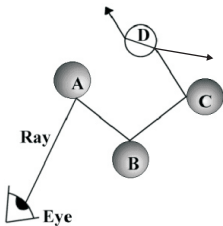
- Wielokrotne odbicia

Backward raytracing: odbicia i załamania



- Wielokrotne odbicia
- Rekursywne rozgałęzienia — odbicie + załamanie

Backward raytracing: odbicia i załamania



- Wielokrotne odbicia
- Rekursywne rozgałęzienia — odbicie + załamanie
- Kolor piksela: sumaryczny efekt wstecznego śledzenia promienia z rozgałęzieniami

Algorytm wstecznego śledzenia promieni

```
kolor BackTrace( $X, s$ ) {  
    przedłuż promień z  $X$  w kierunku  $s$ ;  
    wyznacz punkt  $Y$  incydencji promienia z obiektem na scenie;  
    if (brak  $Y$ ) { return kolor tła; }  
    else {  
         $K_1 = 0$ ;  
        for ( $S \in \text{źródło światła}$ )  $K_1 = K_1 + \text{oświetlenie}(S, Y)$ ;  
        if (odbicie w  $Y$ ) {  $s' = \text{odbij}(s, Y)$ ;  $K_2 = \text{BackTrace}(Y, s')$ ; }  
        if (załamanie w  $Y$ ) {  $s'' = \text{załam}(s, Y)$ ;  $K_3 = \text{BackTrace}(Y, s'')$ ; }  
        return  $K_1 + K_2 + K_3$ ;  
    }  
}  
  
for ( $P \in \text{piksele rzutni}$ ) {  
    wyznacz kierunek wektora  $r$  od obserwatora do  $P$ ;  
    Kolor[ $P$ ] = BackTrace( $P, r$ );  
};
```

Metody mieszane: globalne oświetlenie

Metody mieszane: globalne oświetlenie

- Metoda dwuprzebiegowa: a) propagacja fotonów od źródeł światła w celu utworzenia mapy ich rozkładu na obiektach; b) właściwy rendering — wsteczne śledzenie promieni

Metody mieszane: globalne oświetlenie

- Metoda dwuprzebiegowa: a) propagacja fotonów od źródeł światła w celu utworzenia mapy ich rozkładu na obiektach; b) właściwy rendering — wsteczne śledzenie promieni
- Mapowanie: rejestracja fotonów na powierzchni obiektów **po ich odbiciu, rozproszeniu lub refrakcji** (mapa ma stanowić **poprawkę** do bezpośredniego oświetlenia obliczanego przez wsteczne śledzenie)

Metody mieszane: globalne oświetlenie

- Metoda dwuprzebiegowa: a) propagacja fotonów od źródeł światła w celu utworzenia mapy ich rozkładu na obiektach; b) właściwy rendering — wsteczne śledzenie promieni
- Mapowanie: rejestracja fotonów na powierzchni obiektów **po ich odbiciu, rozproszeniu lub refrakcji** (mapa ma stanowić **poprawkę** do bezpośredniego oświetlenia obliczanego przez wsteczne śledzenie)
- Wsteczne śledzenie uwzględnia 4 składowe oświetlenia punktu na scenie: bezpośrednie i pochodzące z lustrzanych odbić (obliczane w zwykły sposób) oraz ogniskowanie światła (caustics) i oświetlenie rozproszone obliczane na bazie mapy fotonowej (Źródło: [4]).



Metody mieszane: mapowanie fotonów



Źródło: [5]

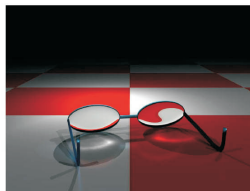
Metody mieszane: mapowanie fotonów



Źródło: [5]



Ray Tracing



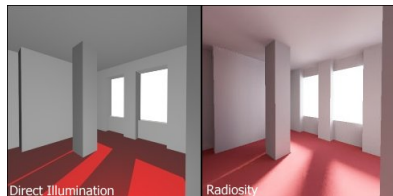
Ray Tracing w/ Photon Map

Catherine Bendebury and Jonathan Michaels
CS 184 Spring 2005

Źródło: [6]

Metoda energetyczna (radiosity)

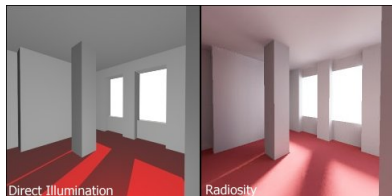
Symulacja rozpraszania światła przez wielokrotne odbicia



Metoda energetyczna (radiosity)

Symulacja rozpraszania światła przez wielokrotne odbicia

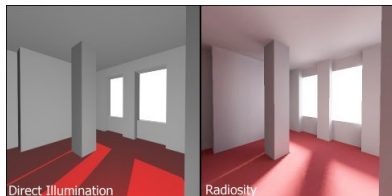
- Rozkład obiektów na skończoną liczbę płatów $\{S_i\}$



Metoda energetyczna (radiosity)

Symulacja rozpraszania światła przez wielokrotne odbicia

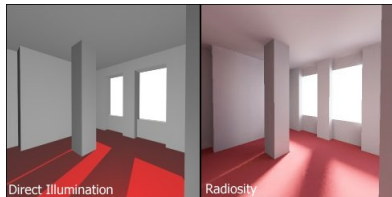
- Rozkład obiektów na skończoną liczbę płatów $\{S_i\}$
- Dla każdego S_i określona jest jego energia świetlna R_i (radiosity) oraz współczynnik odbicia (pochłaniania) światła ρ_i



Metoda energetyczna (radiosity)

Symulacja rozpraszania światła przez wielokrotne odbicia

- Rozkład obiektów na skończoną liczbę płatów $\{S_i\}$
- Dla każdego S_i określona jest jego energia świetlna R_i (radiosity) oraz współczynnik odbicia (pochłaniania) światła ρ_i
- Dla każdej pary S_i, S_j określony jest współczynnik sprzężenia optycznego γ_{ij} (ile energii świetlnej przekazywanej jest z S_j do S_i), zależny m.in. od ich wzajemnego położenia



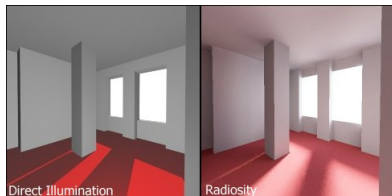
Metoda energetyczna (radiosity)

Symulacja rozpraszania światła przez wielokrotne odbicia

- Rozkład obiektów na skończoną liczbę płatów $\{S_i\}$
- Dla każdego S_i określona jest jego energia świetlna R_i (radiosity) oraz współczynnik odbicia (pochłaniania) światła ρ_i
- Dla każdej pary S_i, S_j określony jest współczynnik sprzężenia optycznego γ_{ij} (ile energii świetlnej przekazywanej jest z S_j do S_i), zależny m.in. od ich wzajemnego położenia
-

$$R_i^{t+1} = R_i^t + \rho_i \sum_j \gamma_{ij} R_j^t,$$

gdzie t to numer iteracji



- [1] Autor: Shen, Wikipedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raytracing_reflection.png#/media/File:Raytracing_reflection.png
- [2] Autor: Gilles Tran, Wikipedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glasses_800_edit.png#/media/File:Glasses_800_edit.png
- [3] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radiosity_Comparison.jpg
- [4] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3d-art-of-illusion-glas.jpg>
- [5] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Caustics.png>,
https://de.wikipedia.org/wiki/Photon_Mapping#/media/File:Glas-2000-enery.jpg
- [6] https://www.cs.berkeley.edu/~sequin/CS184/TOPICS/GlobalIllumination/Gill_a.html