

Algorytmy oświetlenia globalnego

Opracowanie:

dr inż. Grzegorz Szwoch

Politechnika Gdańska

Katedra Systemów Multimedialnych

Algorytmy oświetlenia

Algorytmy oświetlenia bezpośredniego (*direct illumination*)

- tylko światło padające bezpośrednio na obiekty,
- mniejszy realizm, niedoświetlona scena,
- szybki algorytm (do gier komputerowych)

Algorytmy oświetlenia globalnego (*global illum.*)

- uwzględniane są promienie odbite, załamane, cienie, itp. (śledzimy bieg promieni)
- zwiększony fotorealizm obrazu
- większa złożoność, dłuższe obliczenia

Algorytmy oświetlenia bezpośredniego

Wady metod oświetlenia bezpośredniego:

- brak uwzględnienia światła odbitego powoduje niedoświetlenie sceny;
- zjawiska wymagające zastosowania oddzielnych algorytmów (wydłużony czas renderingu, mniejsza dokładność):
 - cienie,
 - odbicia zwierciadlane,
 - przezroczystość,
 - efekty kaustyczne i refrakcyjne,
 - i inne „efekty specjalne”

Algorytmy oświetlenia globalnego

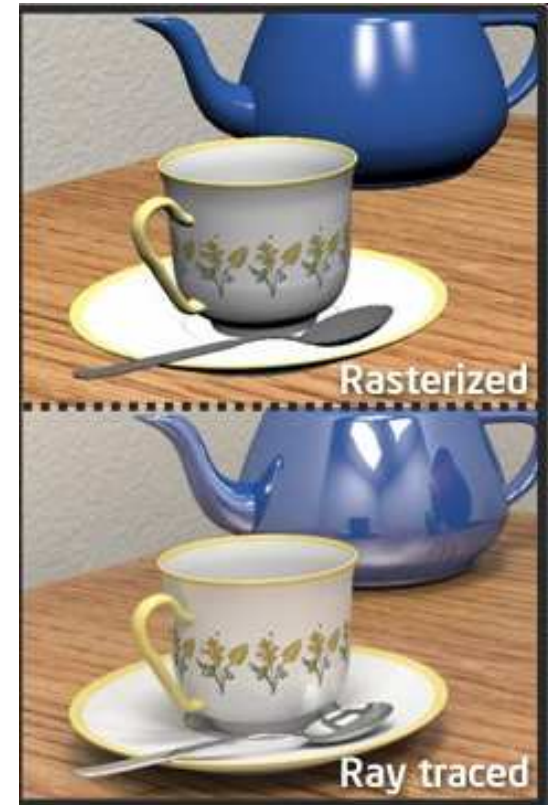
Modele oświetlenia globalnego pozwalają wyznaczyć barwę piksela obrazu na podstawie światła:

- bezpośredniego od źródeł światła,
- odbitego od powierzchni,
- przepuszczonego przez powierzchnie przezroczyste i półprzezroczyste,
- zasłoniętego, tworzącego cienie.

Algorytmy tego typu stanowią próbę rozwiązania **równania renderingu**, opisującego matematycznie natężenie światła przechodzącego od jednego punktu do drugiego.

Zalety oświetlenia globalnego

Oświetlenie bezpośrednie vs. globalne:

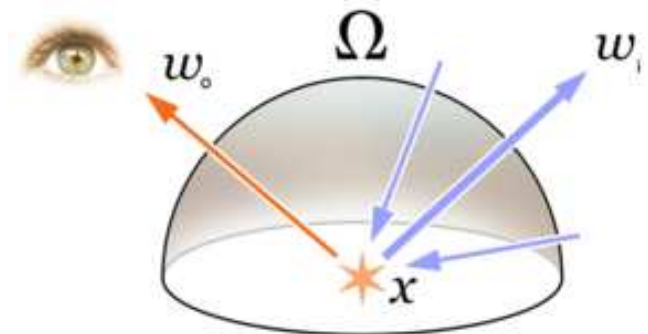


Światło odbite

Wyznaczanie światła odbitego od powierzchni:

- kierunek – według kąta padania względem kierunku wektora normalnego,
- natężenie – obliczane na podstawie dwukierunkowej funkcji rozkładu odbicia BRDF (*bidirectional reflectance distribution function*).

Funkcja BRDF jest to stosunek luminancji energetycznej mierzonej w kierunku obserwatora do natężenia napromienienia badanego z kierunku padania promieniowania (*Wikipedia*).



Metoda śledzenia promieni (*ray tracing*)

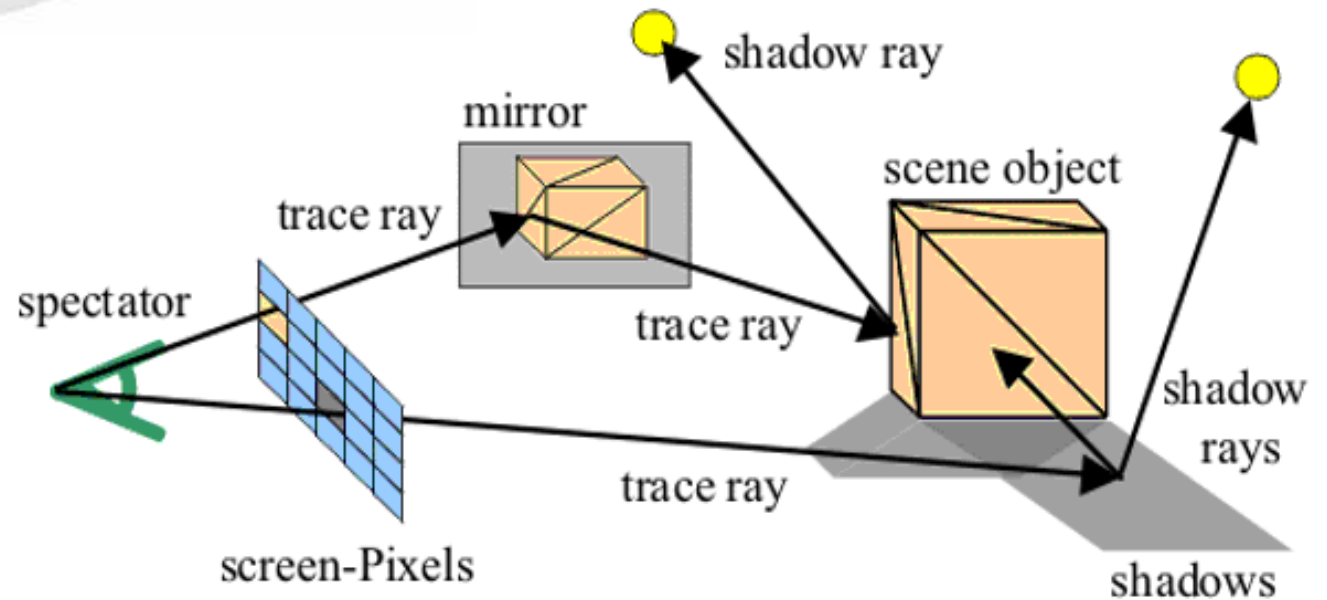
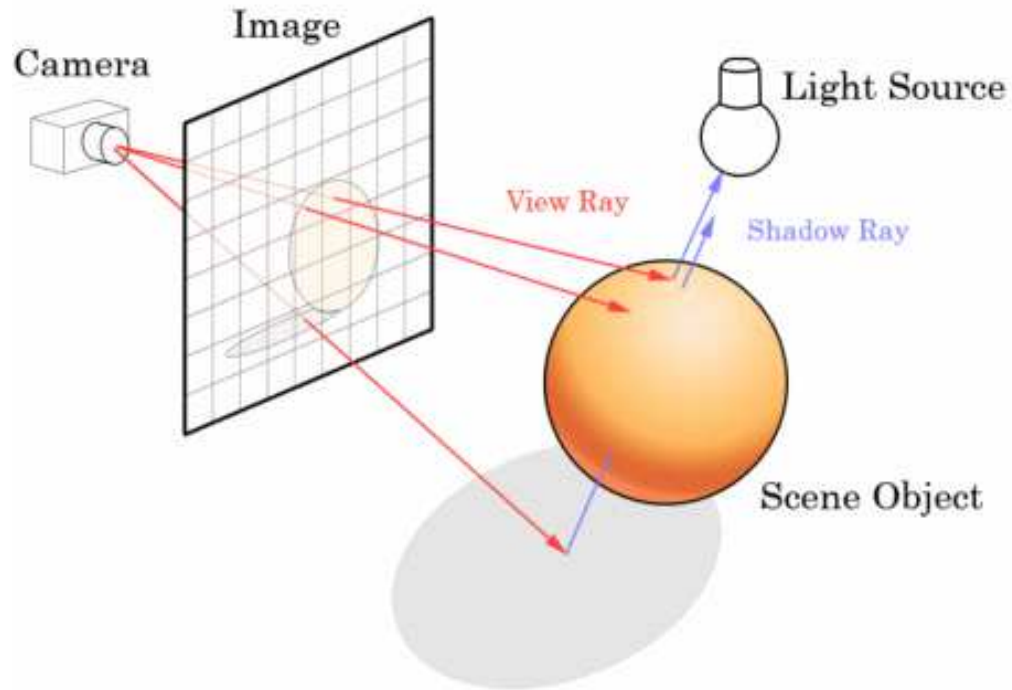
Rekursywna metoda śledzenia promieni (*ray tracing*, RT, metoda promieniowa)

- promienie pierwotne – od obserwatora przez wszystkie piksele obrazu,
- promienie wtórne:
 - odbite od obiektów (refleksja),
 - załamane przez powierzchnie (refrakcja),
 - do wyznaczania cieni

Każdy z promieni odbitych i załamanych może wysyłać rekurencyjnie promienie wtórne.

Promienie tworzą **drzewo promieni**.

Metoda śledzenia promieni



Metoda śledzenia promieni

Drzewo promieni:

- obliczane metodą zstępującą,
- jasność dla każdego węzła obliczana jest jako funkcja jasności potomków,
- koniec obliczeń dla danego promienia gdy:
 - promień trafia do źródła światła, lub
 - promień nie przecina obiektu (wychodzi poza scenę), lub
 - osiągnięto maksymalny poziom rekursji.

Metoda śledzenia promieni

Ograniczenia metody:

- ograniczona precyzja obliczeń powoduje powstanie tzw. fałszywych promieni
- konieczność przeliczania sceny przy zmianie położenia obserwatora
- pozostają niedoświetlone miejsca, tam gdzie nie trafiły promienie
- błędy przy świetle rozproszonym i dyfrakcji
- duża złożoność obliczeniowa, a więc długi rendering (nieraz kilka godzin na 1 obraz).

Raytracer

- *Raytracer* to ogólna nazwa oprogramowania, które renderuje obraz metodą oświetlenia globalnego, na podstawie opisu matematycznego.
- Nie musi to być metoda promieniowa, współczesne *raytracery* mają zaimplementowanych kilka metod renderingu, mogą one działać razem.
- Program pracuje w trybie *offline*, obliczenia prowadzone są na CPU.
- Istnieją implementacje wykorzystujące GPU do obliczeń równoległych (np. LuxRender).

Metoda energetyczna

Metoda energetyczna (*radiosity*)

opiera się na prawie zachowania energii światła w zamkniętym środowisku:

- energia światła jest transmitowana pomiędzy powierzchniami, ulegając odbiciu i absorpcji,
- energia opuszczająca powierzchnię jest sumą energii emitowanej, odbijanej oraz przepuszczanej przez powierzchnię.

Metoda energetyczna

Metoda energetyczna jest niezależna od obserwatora:

- najpierw określa się wszystkie interakcje światła w otoczeniu w sposób niezależny od obserwatora,
- następnie wykonuje się obliczenia oświetlenia globalnego dla wybranego punktu obserwacji.

Jeżeli sama scena nie ulega zmianie, rendering wystarczy wykonać tylko raz.

Metoda energetyczna

- Wszystkie źródła światła są powierzchniami emitującymi energię.
- Obiekty traktowane są jako zbiór dyskretnych **płatów** o skończonej wielkości, odbijających (ew. również emitujących) światło jednolicie na całej powierzchni. Płatem może być np. jeden trójkąt siatki obiektu.
- **Promienistość** płata: światło emitowane przez płat + suma energii odbitej, pochodzącej od wszystkich pozostałych płatów.

Równanie energetyczne

Natężenie oświetlenia (energii) dla płata i można wyznaczyć na podstawie zależności:

$$E_i = W_i + \rho_i \sum_{j=1}^n E_j F_{ij} \frac{A_j}{A_i}$$

E_i – całkowita energia płata i

W_i – energia emitowana przez płat i

ρ_i – współczynnik odbicia płata i

F_{ij} – współczynnik sprzężenia optycznego płyt i, j , (w jakim stopniu płyty „widzą się” nawzajem)

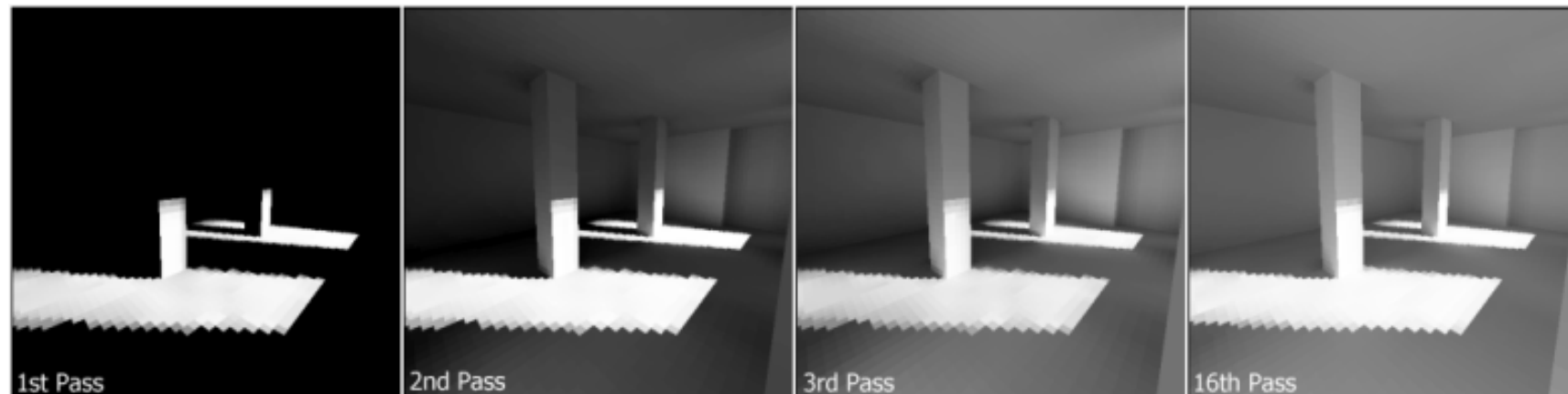
A_i – powierzchnia płatu i

Rekursywna metoda energetyczna

Rendering jest wykonywany rekursywnie:

- przebieg 1 – tylko światło bezpośrednio od źródeł do wszystkich płatów,
- przebieg 2 – pierwsze odbicia, od każdego płata do wszystkich innych płatów,
- przebieg 3 – drugie odbicie, itp.

Zwiększanie liczby przebiegów poprawia oświetlenie sceny, ale wydłuża czas renderingu.



Metoda energetyczna

Zalety metody:

- stosunkowo prosta implementacja,
- niezależna od położenia obserwatora.

Ograniczenia metody:

- duża złożoność obliczeń
- problem z modelowaniem niektórych zjawisk, np. odbić zwierciadlanych.

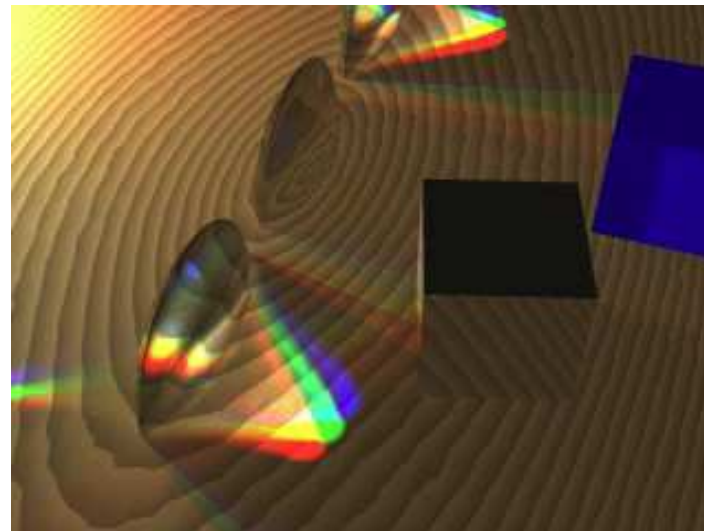
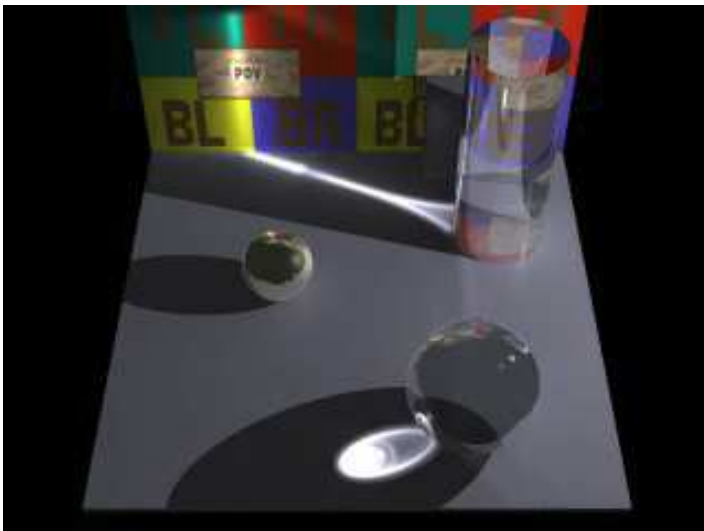
Metodę energetyczną stosuje się czasem w połączeniu ze śledzeniem promieni – realistycznie doświetla „ciemne miejsca”.

Metoda mapowania fotonowego

Photon mapping (mapowanie fotonowe)

Algorytm pozwalający uwzględnić specjalne zjawiska świetlne:

- efekty kaustyczne (np. światło w wodzie),
- odbicia światła między obiektami,
- dyfrakcję światła (np. efekt pryzmatu),
- rozpraszanie podpowierzchniowe, itp.



Metoda mapowania fotonowego

Algorytm dwuprzebiegowy.

Pierwszy przebieg: tworzenie **mapy fotonowej** (*photon map*).

Źródło światła wysyła wiązkę **fotonów** o określonej energii, w wybranym kierunku. Jeżeli wiązka fotonów trafi na powierzchnię obiektu, następuje:

- zapisanie w mapie fotonowej miejsca i kierunku przychodzących fotonów,
- wyznaczenie kierunku odbitych fotonów,
- wyznaczenie prawdopodobieństwa odbicia, przepuszczenia i pochłonięcia każdego fotonu.

Metoda mapowania fotonowego

Każdy foton może być odbity, pochłonięty albo przepuszczony przez powierzchnię, z określonym prawdopodobieństwem.

Niech wsp. odbicia powierzchni wynosi 0,3:

- stosujemy algorytm *Monte Carlo* (losowy),
- prawdopodobieństwo odbicia fotonu = 0,3
- każdy foton jest losowo odbijany lub „umiera”
- ok. 30% padających fotonów zostaje odbitych

Energia odbitych fotonów obliczana jest z BRDF.

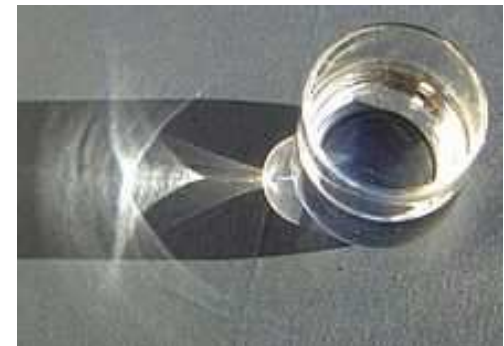
Metoda mapowania fotonowego

Typowo są tworzone dwie osobne mapy fotonowe:

- mapa specjalnie do efektów kaustycznych - odbicia lub refrakcji światła przez zakrzywione powierzchnie przepuszczające światło,
- mapa globalna – do pozostałych typów światła (mniej szczegółowa).

Informacje w mapie fotonowej:

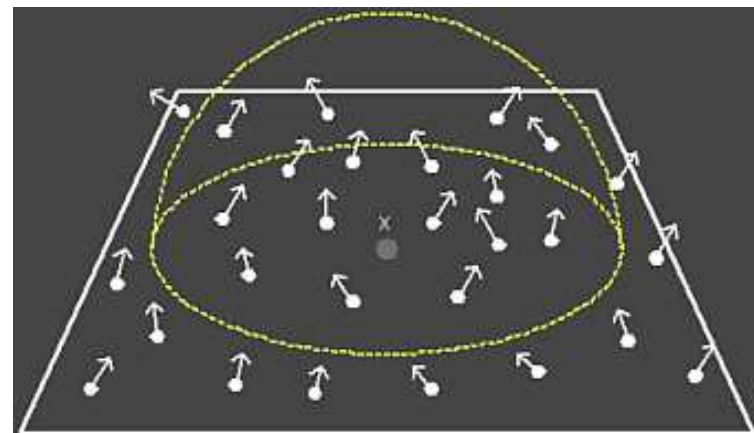
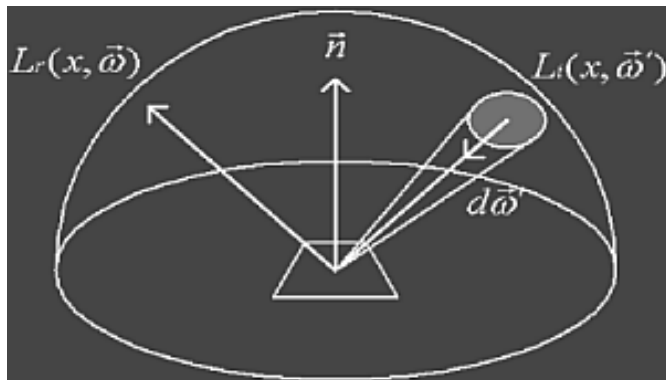
- pozycja,
- energia,
- 2 kąty padania



Metoda mapowania fotonowego

Drugi przebieg: rendering:

- wyznaczenie promieni od obserwatora,
- w miejscu przecięcia promienia z powierzchnią obiektu: wyznacza się oświetlenie powierzchni na podstawie wyznaczonej wcześniej mapy fotonowej i kierunku biegu promienia,
- do obliczenia radiancji w danym punkcie wykorzystuje się n najbliższych leżących fotonów.



Metoda mapowania fotonowego

Metodę fotonową używa się do obliczenia:

- efektów kaustycznych – na podstawie dedykowanej mapy fotonowej,
- światła bezpośredniego – promienie od punktu padania do źródła światła.

Światło odbite może być obliczane:

- z globalnej mapy fotonowej (mniej dokładne),
- za pomocą osobnego algorytmu śledzenia promieni.

Z tego względu często metodę fotonową łączy się z metodą śledzenia promieni.

Metoda mapowania fotonowego

- Efekt renderingu metodą fotonową jest obarczony dużym szumem.
- Procedura *final gathering* dokonuje wygładzania mapy fotonowej wykorzystując informacje z n najbliższych fotonów.
- Dzięki temu szum jest redukowany.



Metoda mapowania fotonowego

Zalety:

- realistyczne obrazowanie zjawisk takich jak np. efekty kaustyczne, dyfrakcje, *subsurface scattering*, itp.,
- możliwość łączenia z innymi algorytmami.

Wady:

- złożoność obliczeniowa (konieczność wyznaczenia mapy fotonowej),
- uzyskanie realistycznego efektu dla całej sceny wymaga zwykle użycia dodatkowo metody promieniowej.

Alg. oświetlenia globalnego w praktyce

Wiele obecnie wytwarzanych *raytracerów* daje możliwość jednoczesnego stosowania różnych algorytmów, np.:

- śledzenie promieni (RT) – niemal zawsze, do podstawowego renderingu,
- m. energetyczna – uzupełnienie RT, np. w celu doświetlenia ciemnych miejsc,
- mapowanie fotonowe – do efektów kaustycznych i podobnych.

Przykład : *POVRay* (darmowy).

Zalety metod oświetlenia globalnego

Algorytmy oświetlenia globalnego posiadają „w pakiecie” możliwość uzyskiwania efektów takich jak np. cienie lub odbicia zwierciadlane.

Aby uzyskać taki efekt przy użyciu rasteryzacji, trzeba stosować „kombinowane” metody, np.

- cienie – wyznaczanie map cieni, nakładanych na rasteryzowany obraz w dodatkowym przebiegu
- odbicia zwierciadlane – wyznaczanie dynamicznych tekstur (*environment mapping*)

Metody te jedynie przybliżają żądany efekt.

Złożoność alg. oświetlenia globalnego

Wady algorytmów oświetlenia globalnego:

- złożoność obliczeniowa (konieczność śledzenia odbić światła) – potrzebny komputer o dużej mocy i dużej pamięci,
- długi czas potrzebny na rendering obrazu,
- nadal jest to przybliżenie rzeczywistych warunków – nie odwzorowujemy świata rzeczywistego w dokładny sposób.

„Fotorealizm” jest znacznie większy niż w przypadku rasteryzacji, kosztem wydłużonego czasu obliczeń.

Złożoność alg. oświetlenia globalnego

1995 r. – film *Toy Story*

- średni czas obliczeń dla jednej ramki filmu:
2 godziny

2005 r. – film *Cars*

- moc komputerów – ok. 300 razy większa niż w 1995 r.
- średni czas obliczeń dla jednej ramki filmu:
15 godzin

Wniosek: realistyczny efekt renderingu wciąż wymaga dużej mocy komputera.

Źródło: <https://blog.codinghorror.com/real-time-raytracing/>

DirectX Raytracing

Marzec 2018:

- Microsoft ogłasza *DirectX Raytracing (DXR)*
- rozszerzenie systemu DirectX o algorytmy raytracingu do generowania obrazów w czasie rzeczywistym (specjalne shadery).
- NVIDIA ogłasza technologię NVIDIA RTX
- implementacja sprzętowa DXR na GPU z serii Volta.
- W pierwszym okresie: raytracing jako wspomaganie rasteryzacji do efektów specjalnych (cienie, odbicia, itp.).
- W przyszłości: zastąpienie rasteryzacji.

DXR i RTX - przykłady



Więcej informacji:

<https://blogs.msdn.microsoft.com/directx/2018/03/19/announcing-microsoft-directx-raytracing/>

<https://devblogs.nvidia.com/introduction-nvidia-rtx-directx-raytracing/>

Wykorzystanie metod oświetlenia globalnego

Wszelkie zastosowania, w których możliwe jest przetwarzanie *off-line*, np.

- statyczne obrazy komputerowe
 - wizualizacje („rendery”)
 - ilustracje (np. na stronach WWW)
 - tło w grach komputerowych
 - sztuka komputerowa
- animacje komputerowe
 - filmy animowane komputerowo
 - filmy w grach komputerowych (*cutscenes*)
 - reklamy i inne krótkie formy