



Politechnika
Wrocławskiego

Inżynieria Obrazów

Laboratorium nr 7

Metoda śledzenia promieni

Szymon Datko & Mateusz Gniewkowski

szymon.datko@pwr.edu.pl , mateusz.gniewkowski@pwr.edu.pl

Wydział Elektroniki,
Politechnika Wrocławskiego

semestr letni 2020/2021

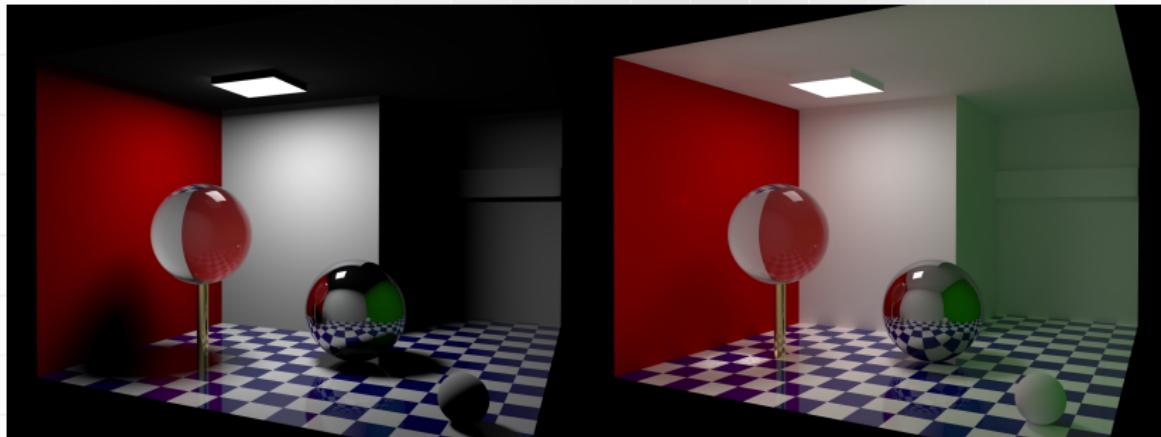


Cel ćwiczenia

1. Ugruntowanie wiedzy na temat rodzajów oświetlenia w grafice.
2. Poznanie fundamentów, stojących za metodą śledzenia promieni.
3. Nauczenie się, jak numerycznie symulować bieg światła.
4. Programowa implementacja elementów rekurencyjnego śledzenia promieni.

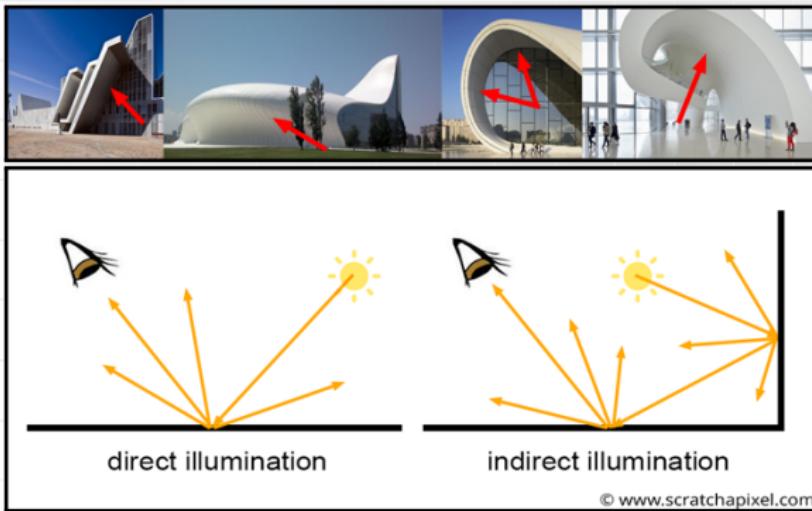
Oświetlenie lokalne i globalne

- Proste modele uwzględniają jedynie bezpośredni wpływ źródła światła.
- W rzeczywistości istotny wpływ ma także światło odbite od obiektów.
 - ▶ Fachowo jest to oświetlenie niebezpośrednie (ang. *indirect illumination*).
 - ▶ Światło odbite i rozproszone od obiektów dodatkowo doświetla całą scenę.
 - ▶ Dobrze ilustrują to przykłady w pudełkach Cornell'a (ang. *Cornell box*).

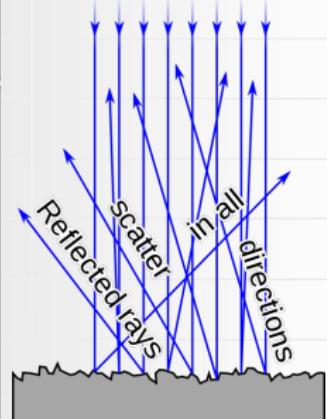


Oświetlenie globalne – przykłady

- W efekcie widoczne są fragmenty brył, które pozornie są nieoświetlone.
- Dodatkową zaletą jest uzyskanie realistycznych odbić na powierzchniach.
- Znane są różne metody realizacji, m.in. śledzenie promieni i ścieżek.



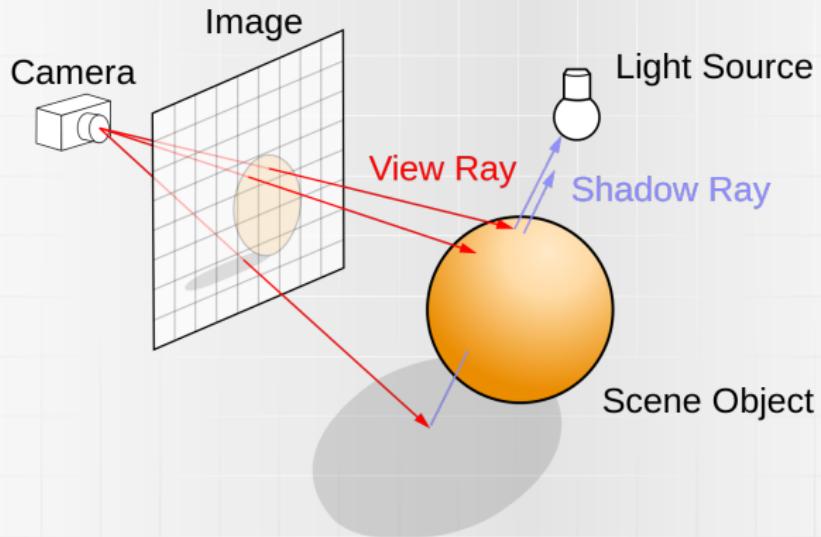
light rays shining
on a surface



Źródła obrazów: [https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/
global-illumination-path-tracing/introduction-global-illumination-path-tracing](https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/global-illumination-path-tracing/introduction-global-illumination-path-tracing),
https://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_reflection

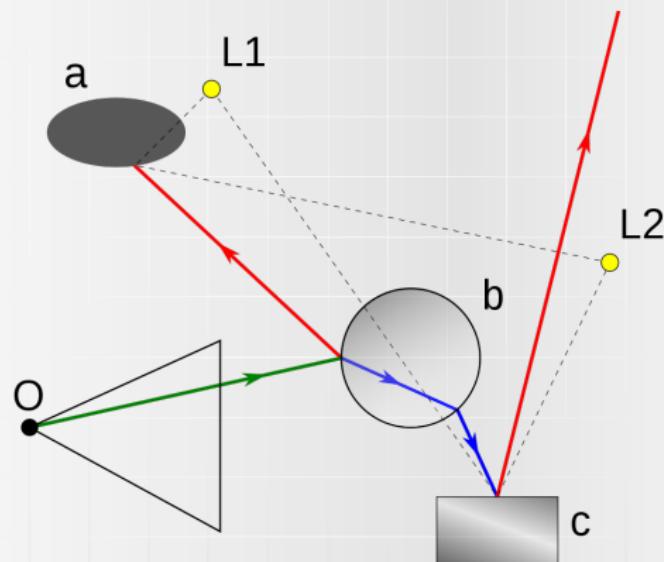
Śledzenie promieni – idea

- Od strony rzutni wystrzeliwujemy promienie w kierunku sceny.
 - ▶ Na przykład jeden promień dla każdego piksela wynikowego obrazu.
- Badamy punkty, w które wystrzelone promienie trafiły.
 - ▶ Ustalamy kolor danego fragmentu sceny, uwzględniając parametry materiałowe oraz położenie i bezpośredni wpływ źródeł światła.



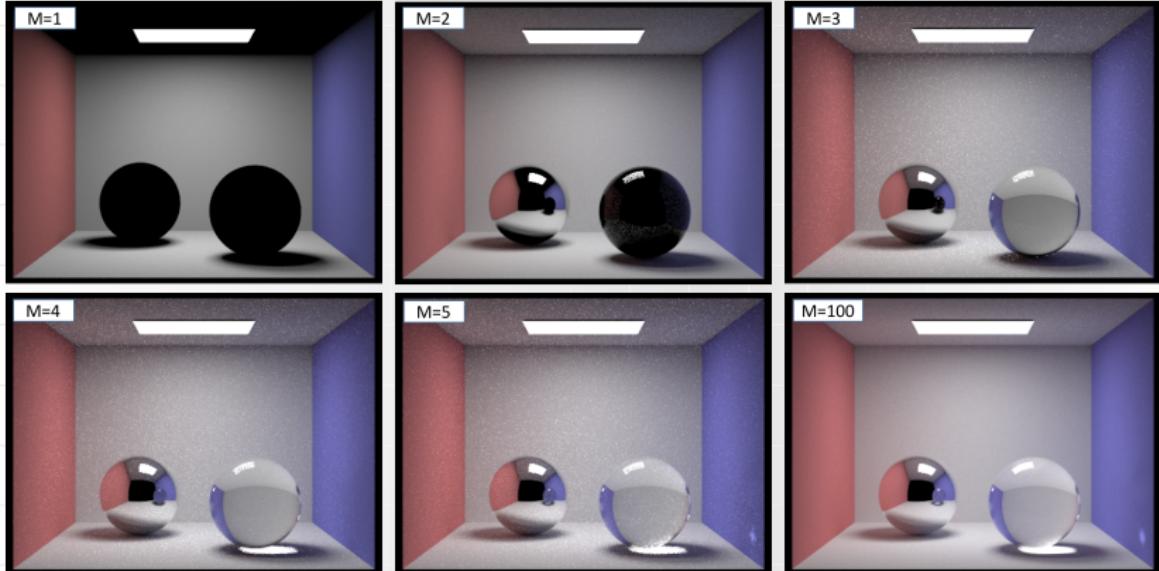
Rekurencyjne śledzenie promieni – idea

- Podstawowa technika nie zapewnia jeszcze fotorealistycznych odbić.
- Należy uwzględnić promienie wtórne – dalsze odbicia każdego promienia.
 - ▶ W przypadku materiałów półprzeźroczystych dochodzi do rozszczepienia.



Liczba uwzględnianych odbić

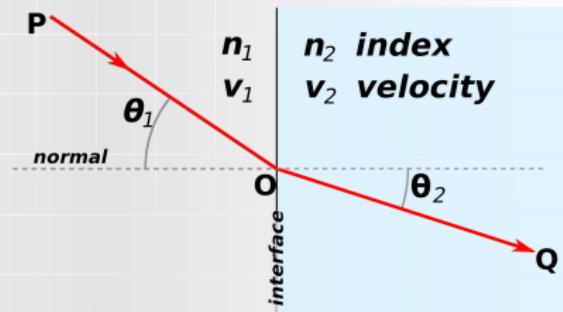
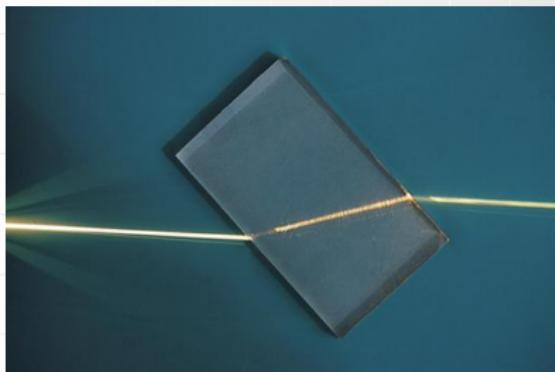
- Im więcej promieni odbitych rozpatrujemy, tym wierniejsze odwzorowania.
- Jednocześnie jednak znacząco wzrasta koszt obliczeniowy dla obrazu.



Załamanie światła

- Przy przejściu między ośrodkami, dochodzi do zmiany kierunku promieni.
 - ▶ Zmianę tę opisuje prawo Snelliusa: $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$.
- Znając kierunek padania \vec{I} oraz normalny \vec{N} , można wyznaczyć wektor \vec{R} ,

$$\vec{R} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \vec{I} + \left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \vec{N} \cdot \vec{I} - \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \cdot \left(1 - (\vec{N} \cdot \vec{I})^2 \right)} \right) \cdot \vec{N}.$$



Źródło obrazów: <https://en.wikipedia.org/wiki/Refraction>

Wyprowadzenie wzoru na wektor załamany: <https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/introduction-to-shading/reflection-refraction-fresnel>

Empiryczny model oświetlenia – model Phonga

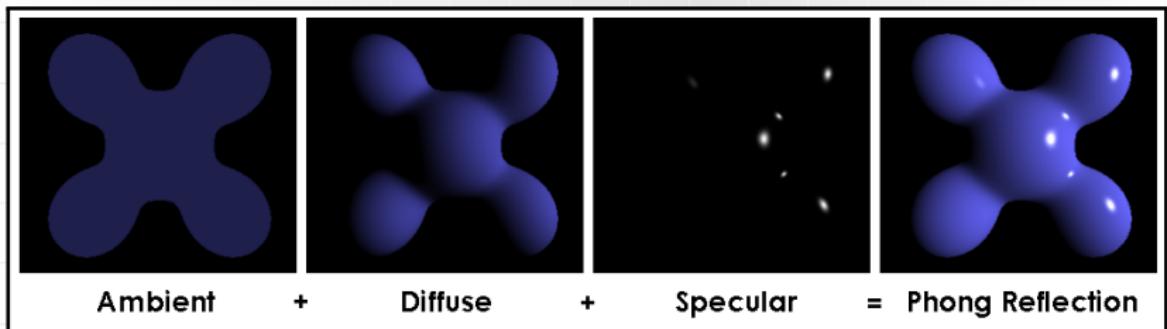
- Każda składowa koloru C w modelu RGB jest obliczana jako

$$C = k_a \cdot I_a + \frac{k_d \cdot I_d \cdot (\vec{N} \circ \vec{L}) + k_s \cdot I_s \cdot (\vec{R} \circ \vec{V})^n}{a + b \cdot d + c \cdot d^2}.$$

- Parametry modelu i oznaczenia w powyższym równaniu:

- I_s - kolor światła (składowa kierunkowa),
- I_d - kolor światła (składowa rozproszona),
- I_a - kolor światła (składowa otoczenia),
- a, b, c - współczynniki strat natężenia.
- \vec{N} - wektor normalny w punkcie,
- \vec{V} - kierunek do obserwatora,
- d - odległość punktu od obserwatora,
- k_s - kolor materiału (składowa kierunkowa),
- k_d - kolor materiału (składowa rozproszona),
- k_a - kolor materiału (składowa otoczenia),
- n - współczynnik połysku materiału,
- p - położenie analizowanego punktu.
- \vec{L} - kierunek padania światła na punkt,
- \vec{R} - kierunek światła odbitego w punkcie,

(\vec{V} i d wyznaczamy na podstawie położenia obserwatora, \vec{L} i \vec{R} na podstawie położenia źródła).



Przecięcie promienia z kulą

- Należy rozwiązać układ równań – znaleźć wspólne (x, y, z) prostej i sfery,

$$\begin{cases} (x, y, z) = (x_0, y_0, z_0) + t \cdot (v_x, v_y, v_z), \\ (x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 + (z - z_s)^2 = r^2. \end{cases}$$

- Zmienne w powyższym równaniu:

- (x_0, y_0, z_0) - punkt początkowy prostej,
- (v_x, v_y, v_z) - wektor kierunkowy prostej,
- t - parametr określający odległość.
- (x_s, y_s, z_s) - współrzędne środka sfery,
- r - promień sfery,

- Otrzymujemy równianie kwadratowe, zależne od współczynnika t ,

$$a \cdot t^2 + b \cdot t + c = 0,$$

$$\begin{cases} a = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 = 1, \\ b = v_x \cdot (x_0 - x_s) + v_y \cdot (y_0 - y_s) + v_z \cdot (z_0 - z_s), \\ c = (x_0 - x_s)^2 + (y_0 - y_s)^2 + (z_0 - z_s)^2 - r^2. \end{cases}$$

- Rozwiązania istnieją, jeśli $\Delta \geq 0$ – wtedy $t_{1,2} = -b \pm \sqrt{\Delta}$.

- ▶ Dla dwóch rozwiązań dodatnich, wybieramy to mniejsze (bliższy punkt).
- ▶ Obliczone t wstawiamy do równania prostej, wyznaczając punkt przecięcia.

Przecięcie promienia z płaszczyzną

- Punkty wyjścia stanowi równanie prostej i ogólne równanie płaszczyzny,

$$(x, y, z) = (x_0, y_0, z_0) + t \cdot (v_x, v_y, v_z),$$

$$A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = P \circ \vec{N} + D = 0.$$

- Zmienne w powyższym równaniu:

- (x_0, y_0, z_0) - punkt początkowy prostej,
- (v_x, v_y, v_z) - wektor kierunkowy prostej,
- t - parametr określający odległość.
- $\vec{N} = (A, B, C)$ - wektor normalny płaszczyzny,
- P - dowolny punkt należący do płaszczyzny,

- Podstawiając punkt (x, y, z) prostej za punkt płaszczyzny, otrzymujemy,

$$\left((x_0, y_0, z_0) + t \cdot (v_x, v_y, v_z) \right) \circ \vec{N} + D = 0.$$

- Rozwiążanie stanowi wtedy parametr t ,

$$t = \frac{-((x_0, y_0, z_0) \circ \vec{N} + D)}{((v_x, v_y, v_z) \circ \vec{N})}.$$

- ▶ Podstawiając t do równania prostej, otrzymujemy punkt przecięcia.
- ▶ Jeżeli $t < 0$ to płaszczyzna znajduje się **za** punktem początkowym.
- ▶ Wartość iloczynu skalarnego $\vec{v} \circ \vec{N}$ nie powinna być równa zero.
 - Jeśli jednak jest, to promień jest równoległy do płaszczyzny...

Przecięcie promienia z trójkątem

1. Wyznaczenie równania płaszczyzny z trójkąta.

- ▶ Trójkąt jest zdefiniowany przez wierzchołki a , b i c .
- ▶ Obliczenie wektora normalnego do trójkąta:

$$\vec{N} = \frac{\vec{V}}{|\vec{V}|}, \quad \vec{V} = (b - a) \times (c - a).$$

- ▶ Płaszczyznę wyznacza dowolny punkt trójkąta (np. a) i wektor \vec{N} .

2. Znalezienie punktu przecięcia płaszczyzny z badanym promieniem.

- ▶ Punkt ten nazwijmy x .

3. Sprawdzenie, czy punkt przecięcia leży wewnątrz trójkąta.

- ▶ Tak, jeśli znajduje się on po tej samej stronie względem każdej krawędzi,

$$((b - a) \times (x - a)) \circ n > 0,$$

$$((c - b) \times (x - b)) \circ n > 0,$$

$$((a - c) \times (x - c)) \circ n > 0.$$

- ▶ Podane sprawdzenie było realizowane na poprzednich zajęciach, ale w 2D.



Koniec wprowadzenia.

Zadania do wykonania...

Zadania do wykonania (1)

Na ocenę **3.0** należy rozbudować przykładową scenę.

Wskazówki:

- należy wprowadzić przynajmniej jedną dodatkową kulę,
 - ▶ dodany obiekt musi być w innej pozycji niż pierwszy ;-),
 - ▶ nowe obiekty powinny być widoczne na wygenerowanym obrazie,
- na tym etapie nie będziemy jeszcze widzieć wzajemnych odbić na sferach,
 - ▶ w przykładowym kodzie śledzimy tylko promienie pierwotne,
 - ▶ poprawienie tego jest przedmiotem kolejnego zadania.

Zadania do wykonania (2)

Na ocenę **3.5** należy wprowadzić promienie wtórne.

Wskazówki:

- w odnalezionym punkcie kolizji należy obliczyć kierunek odbicia,
- następnie należy rekurencyjnie wywołać funkcję śledzącą promień,
 - ▶ początkiem nowego promienia będzie teraz punkt kolizji, zamiast rzutni,
 - ▶ funkcja śledząca promień zwraca wtedy nowy kolor – z dalszego punktu,
 - ▶ nowy kolor trzeba zważyć z otrzymanym dla wcześniejszego promienia,
 - ▶ trzeba również pamiętać o ograniczeniu liczby śledzonych odbić,
- rezultat prac powinien być widoczny na nowym, wygenerowanym obrazie.

Zadania do wykonania (3)

Na ocenę **4.0** należy zaimplementować prostą obsługę cieni.

Wskazówki:

- dodać warunek przy obliczaniu koloru w wyznaczonym punkcie przecięcia,
- należy sprawdzić czy na drodze do źródła światła nie stoi jakiś obiekt,
 - ▶ jeśli tak jest to obiekt znajduje się w cieniu,
 - ▶ pomijamy wtedy wpływ danego źródła światła,
- rezultat prac powinien być widoczny na nowym, wygenerowanym obrazie.

Zadania do wykonania (4)

Na ocenę **4.5** należy wprowadzić obsługę obiektów (pół)przezroczystych.

Wskazówki:

- trzeba dodać obiektom sceny dwa nowe parametry,
 - ▶ poziom (nie)przezroczystości, mówiąc jaką część światła przenika obiekt,
 - ▶ współczynnik załamania, wpływający na kierunek przenikającego światła,
- jeśli obiekt z którym kolizję wykryliśmy jest (pół)przezroczysty,
 - ▶ wprowadzamy dodatkowy promień wtórny, biegący "wgłęb" obiektu,
 - ▶ uzyskany kolor dla promienia załamanego ważymy z promieniem odbitym,
 - ▶ wagę stanowi stopień przezroczystości danego obiektu,
- rezultat prac powinien być widoczny na nowym, wygenerowanym obrazie.

Zadania do wykonania (5)

Na ocenę **5.0** należy wprowadzić dodatkowy obiekt, inny niż sfera.

Wskazówki:

- proponowanym obiektem jest trójkąt,
 - ▶ na slajdach wprowadzających omówiono wyznaczanie kolizji z promieniami,
 - ▶ pozostałe postępowanie w algorytmie jest analogiczne jak dla sfer,
 - ▶ w szczególności – wyznaczanie koloru (model Phonga) będzie identyczne,
- rezultat prac powinien być widoczny na nowym, wygenerowanym obrazie.