

# Grafika czasu rzeczywistego

Krzysztof Gdawiec



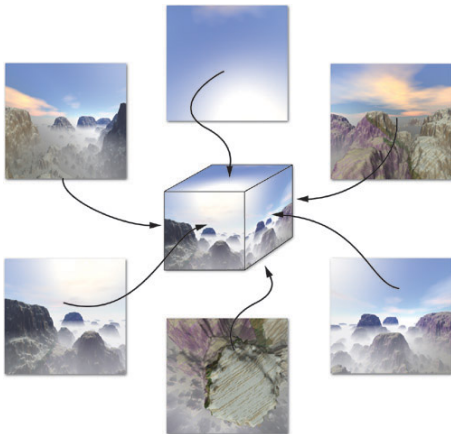
UNIWERSYTET ŚLĄSKI  
INSTYTUT INFORMATYKI

## Mapowanie środowiska

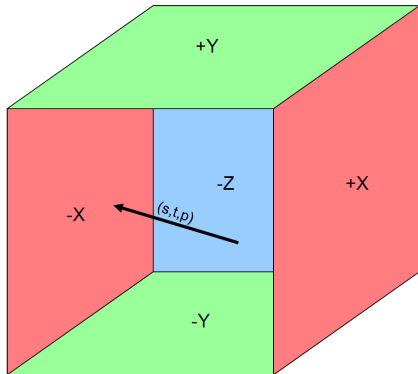
Mapowanie środowiska (ang. environment mapping) symuluje powierzchnię obiektu odbijającego otaczające go środowisko. W najprostszej postaci mapowanie środowiska umożliwia uzyskanie efektu chromowanej powierzchni.

Mapowanie środowiska opiera się na założeniu, że środowisko obiektu (jego otoczenie) znajduje się nieskończenie daleko, więc może zostać zakodowane za pomocą obrazu nazywanego mapą środowiska (ang. environment map).

Wszystkie nowoczesne karty graficzne obsługują tekstury nazywane mapą/teksturą sześcienną. Sześć obrazów jakiegoś krajobrazu tworzy teksturę sześcienną, wykorzystywaną do kodowania map środowiska.



Tekstura sześcienna indeksowana jest trzema współzrędnymi tekstury:  $s$ ,  $t$ ,  $p$ . Współzrędne te możemy traktować jako wektor wskazujący jedną ze ścian mapy sześcienniej.



Karta graficzna dostając współrzędne  $(s, t, p)$  i teksturę sześcienną robi następujące rzeczy:

- ▶ oblicza, która współrzędna ma największą wartość co do modułu:

$$v = \max\{|s|, |t|, |p|\}.$$

W ten sposób wyznaczamy ściankę, na którą wskazuje wektor.

- ▶ dzieli pozostałe dwie współrzędne (oznaczymy je  $a, b$ ) przez  $v$ :

$$s' = \frac{a}{v} \quad t' = \frac{b}{v}.$$

- ▶ używa  $(s', t')$  jako współrzędnych 2D tekstury i wydobywa odpowiadający im texsel z wybranej ścianki.

Aby wygenerować mapę sześcienną wykonujemy zdjęcia dla sześciu różnych kierunków ( $+x$ ,  $-x$ ,  $+y$ ,  $-y$ ,  $+z$ ,  $-z$ ). Każde zdjęcie ma pole widzenia wynoszące  $90^\circ$  i stosunek obrazu  $1 : 1$ , więc wszystkie sześć boków dokładnie do siebie pasuje.

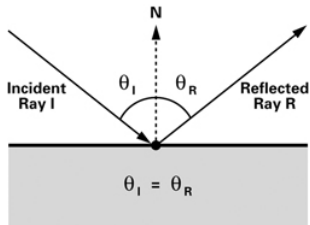
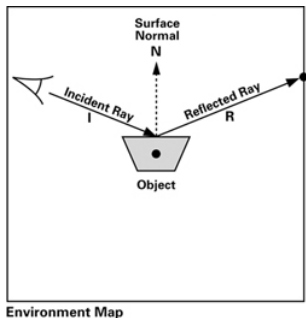
Oczywiście zamiast zdjęć możemy użyć sześć wyrenderowanych widoków sceny.

## Mapowanie odbić

Gdy patrzymy na obiekt o wysokim połysku widzimy nie sam obiekt, ale obraz otaczającego środowiska w pewien sposób odbity przez ten obiekt.

Gdy spojrzymy na konkretny punkt takiej powierzchni odpowiada on promieniowi widoku (od oka do powierzchni) i promieniowi odbicia (od powierzchni do środowiska).

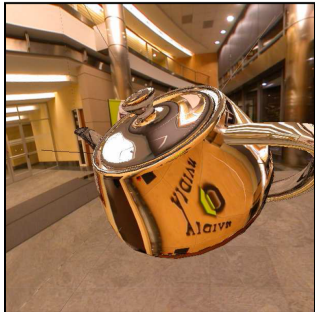
W przypadku gdy używamy mapy sześciennej do zakodowania środowiska rendering punktu na połyskliwej powierzchni wymaga obliczenia kierunku promienia odbitego od danego punktu powierzchni i określenie koloru środowiska.



Wektor odbicia obliczony jest według wzoru:

$$R = I - 2N(N \cdot I).$$

Dla przypomnienia w GLSL ES do obliczenia wektora odbicia używamy funkcji `reflect`.



Obiekt może mieć taki sam stopień połyskliwości w każdym swoim punkcie, ale nie musi. W przypadku różnych połyskliwości w różnych punktach do zakodowania tej informacji możemy użyć tekstury.

Obiekt może mieć taki sam stopień połyskliwości w każdym swoim punkcie, ale nie musi. W przypadku różnych połyskliwości w różnych punktach do zakodowania tej informacji możemy użyć tekstury.

W przypadku mapy środowiska obiekt może odbijać tylko obraz środowiska czyli nie może odbić własnego obrazu.

Nie należy też oczekiwać uzyskania efektu odbić wielokrotnych, np. obrazu dwóch połyskliwych obiektów zawierających odbicia wzajemne.

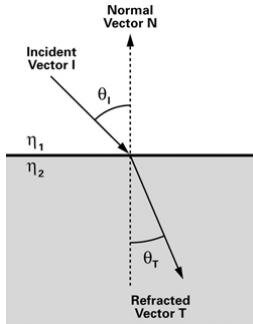
Mapowanie odbić sprawdza się w przypadku obiektów wypukłych lub w większości wypukłych. W przypadku powierzchni płaskich kąty promieni odbitych różnią się zaledwie o kilka stopni przez co na dużej powierzchni mapujemy małą część tekstury.

## Mapowanie załamania

Gdy promień światła przechodzi przez granicę dwóch ośrodków o różnej gęstości, np. powietrze i wodę, zmienia się jego kierunek.

Zmiana kierunku wynika z faktu, że prędkość światła jest mniejsza w ośrodku o większej gęstości. Światło porusza się szybciej w powietrzu a zdecydowanie wolniej w wodzie.

Prawo Snella opisuje co dzieje się z promieniem światła na granicy dwóch ośrodków.



$$\eta_1 \sin \theta_I = \eta_2 \sin \theta_T,$$

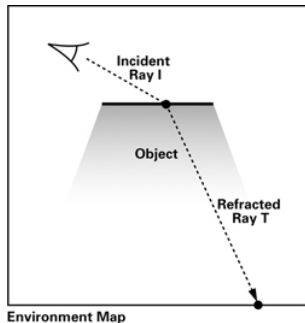
gdzie  $\theta_I$  – kąt padania,  $\theta_T$  – kąt załamania,  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  – współczynniki załamania ośrodków.

Współczynnik załamania określa wpływ ośrodka na prędkość światła. Im jest większy tym prędkość światła jest mniejsza.

Materiał	$\eta$
Próżnia	1.0
Powietrze	1.0003
Woda	1.333
Szkło	1.5
Plastik	1.5
Diament	2.417

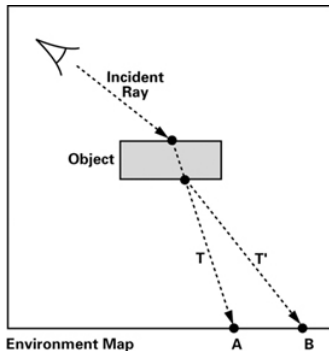
Różne rodzaje szkła mają różne współczynniki załamania. Wartość 1.5 to wartość typowa dla szkła szyby okiennej.

Każdy promień padania prowadzący od oka ulega załamaniu a uzyskany promień załamania wykorzystujemy do odczytania wartości z mapy środowiska.



Zauważmy, że symulujemy tylko pierwsze załamanie.

Promień załamania powinien zostać załamany dwukrotnie.



Załamanie światła jest zjawiskiem złożonym i w większości obrazów przekłamanie jest niezauważalne.

W grafice czasu rzeczywistego często stosujemy różnego rodzaju uproszczenia.



W GLSL do obliczania promienia załamania wykorzystujemy:

```
genType refract(genType I, genType N, float eta);
```

$I$  – kierunek padania (unormowany),  $N$  – normal (unormowany),  
 $eta$  – stosunek  $\eta_1/\eta_2$ .

Wynik obliczany jest następująco:

```
1 k = 1.0 - eta * eta * (1.0 - dot(N, I) * dot(N, I))
2 if( k < 0.0 )
3     return genType(0.0)
4 else
5     return eta * I - (eta * dot(N, I) + sqrt(k)) * N
```

## **Efekt Fresnela**

Gdy światło osiąga granicę dwóch ośrodków część światła jest odbijana od tej granicy a część przenika do drugiego ośrodka. Jest to efekt Fresnela.

Równanie Fresnela określa ile światła jest odbijane a ile załamywane.

Efekt Fresnela dodaje realizmu tworzonym obrazom ponieważ umożliwia pokazanie sytuacji, w których zjawiska odbicia i załamania występują łącznie, tak jak w przypadku rzeczywistych obiektów.

Równanie Fresnela określające współczynnik odbicia jest złożone. Wykorzystamy aproksymację tego równania, która daje podobne wyniki przy znacznie mniejszej liczbie obliczeń.

$$r = \max(0, \min(1, b + s(1 + l \cdot N)^p)),$$

gdzie  $r$  – współczynnik odbicia,  $b$  – przesunięcie,  $s$  – skala,  $p$  – potęga efektu,  $l$  – kierunek padania,  $N$  – normal.

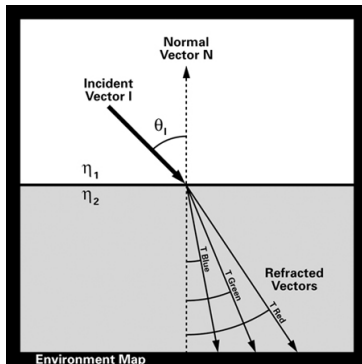
Współczynnik odbicia  $r$  używany jest do zmieszania koloru odbicia  $C_{reflected}$  i koloru załamania  $C_{refracted}$ :

$$C = rC_{reflected} + (1 - r)C_{refracted}.$$

## **Rozszczepienie chromatyczne**

Załamanie zależy nie tylko od normala, kąta padania i stosunku współczynników załamania ośrodków, ale również od długości fali padającego światła. Np. światło czerwone załamuje się bardziej niż światło niebieskie.

Zjawisko to nazywane jest rozszczepieniem chromatycznym lub dyspersją chromatyczną.



Padający promień światła składa się z kilku promieni o różnych barwach (tutaj R, G, B). Każda składowa ma inny współczynnik załamania i traktujemy ją osobno odczytując z mapy środowiska tekssel. Z każdego odczytanego teksela bierzemy odpowiednią składową i otrzymujemy kolor wynikowy.

## Efekt Fresnela i rozszczepienie chromatyczne

