

Grafika Komputerowa

Cienie

Autor: dr inż. Jacek Raczkowski



Cienie

2

- Każdy obiekt może rzucać cień
- Cienie są ważnym elementem obrazu
- Znacząco podnoszą realizm obrazu i pozwalają na lepszą percepcję głębi

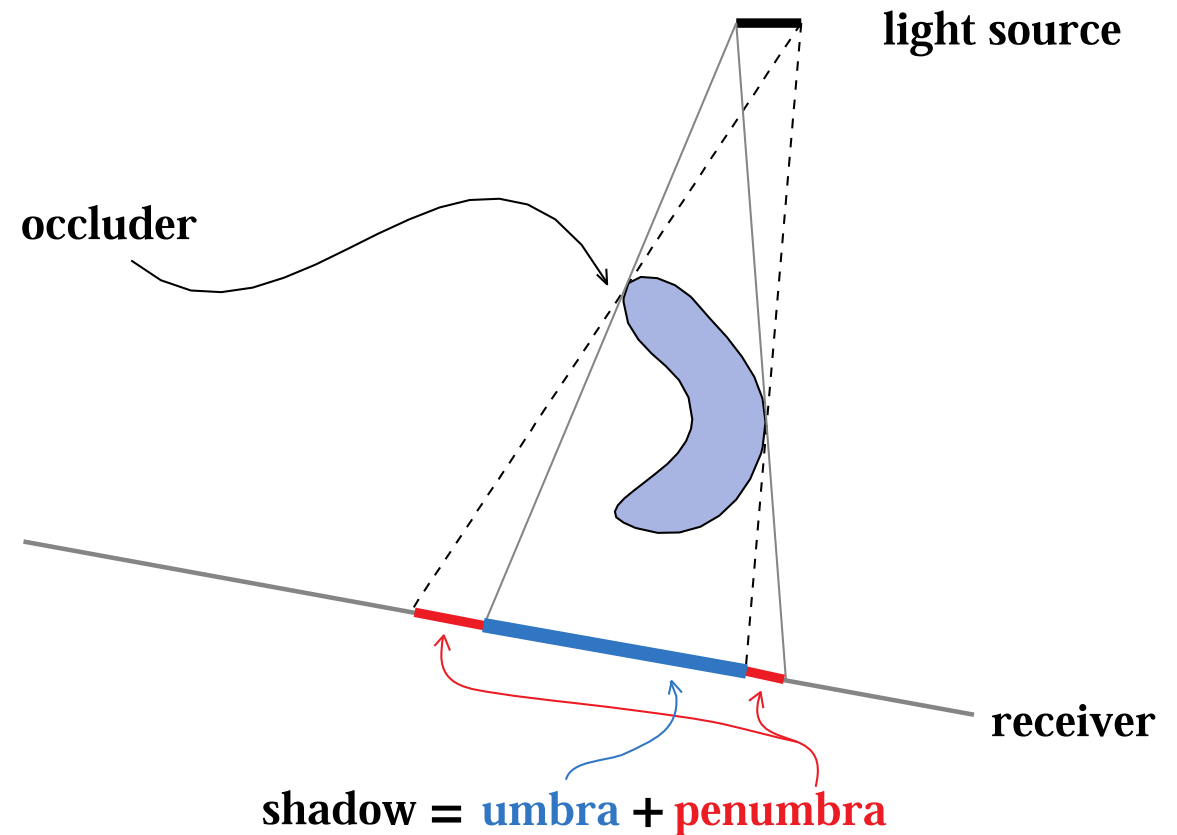


Rodzaje cienia

3

umbra = cień twardy = cień

penumbra = cień miękki = półcień



Cechy cieni i półcieni

4

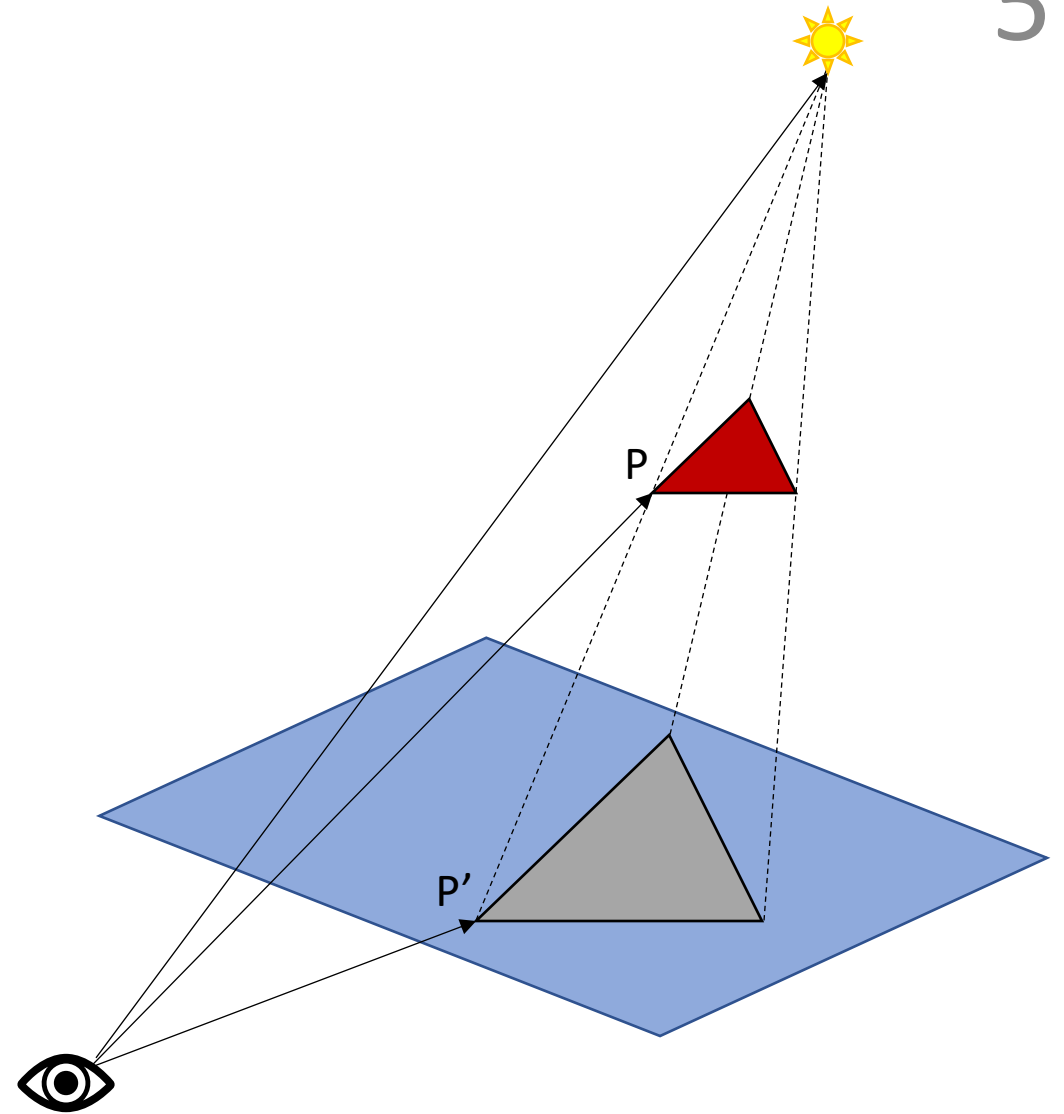
- Istotna jest odległość obiektu rzucającego cień (*occluder*) od obiektu na który cień pada (*receiver*)
- Półcienie są bardziej kosztowne niż cienie
- Brak półcieni może pomniejszać realizm obrazu
- Dla percepcji obrazu ważniejsze od półcieni jest uzyskanie jakiegokolwiek cienia



The image from „Tom Clancy’s The Division”, Ubisoft

Cienie projekcyjne (*projected shadows*)

- Utworzenie obiektu cienia na rzutni
- Macierz cienia: $P' = M \cdot P$
- Obiekt cienia jest renderowany jak inne obiekty sceny



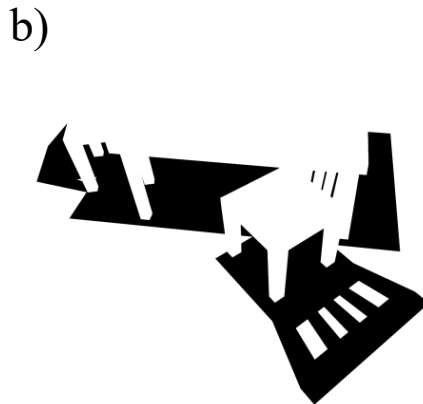
Algorytm 2-przebiegowy

6

Rendering sceny z pełnym
oświetleniem (rys. a)

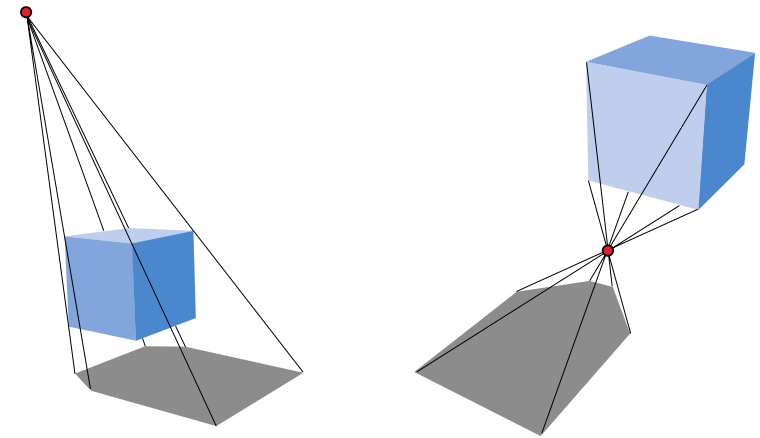


Mnożenie macierzy transformacji
przez macierz cienia
Rendering obiektów cienia z
wyłączonym oświetleniem (rys. b,c)



Na co zwrócić uwagę...

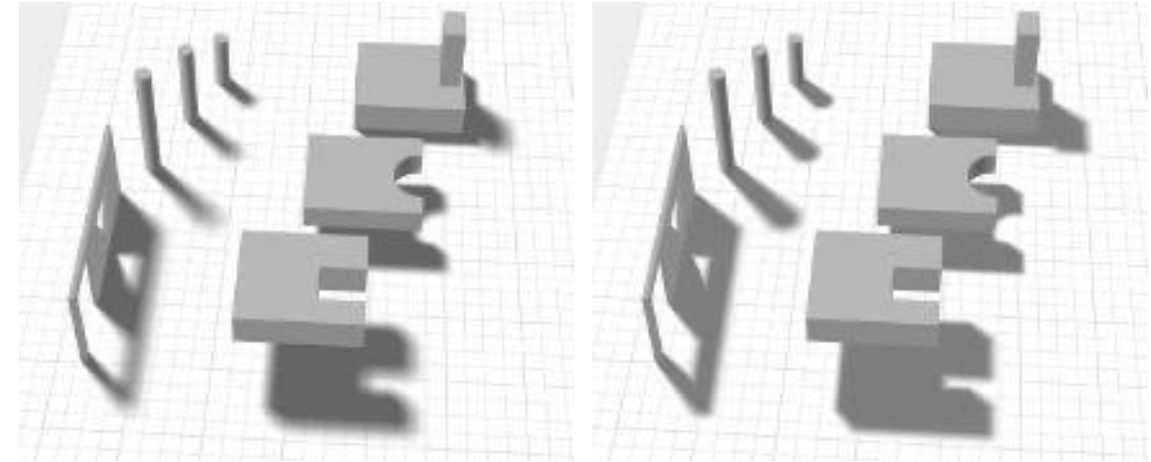
- Łatwo można uzyskać efekt przesłaniania wielokątów cienia przez płaszczyznę rzutowania (warto najpierw narysować rzutnię, a potem wielokąty cienia z wyłączonym z-buforem)
- Obiekt rzucający cień powinien być między światłem a rzutnią, inaczej powstaje tzw. antycień
- Można cienie rysować do bufora tekstury i potem nakładać na rzutnię (to pozwala też rysować cienie na zakrzywionych powierzchniach), trzeba uważać na zmiany wielkości tekstury



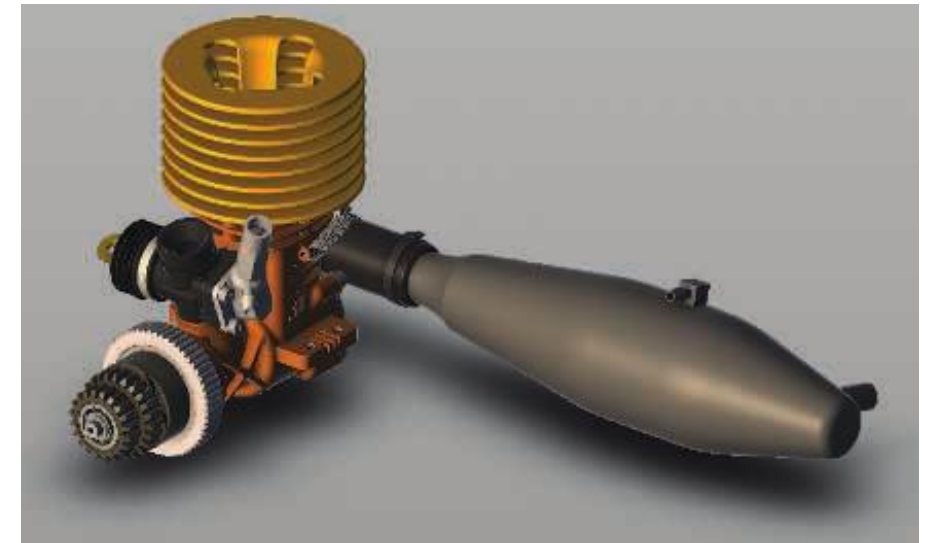
Cienie miękkie

- Aproksymacja źródła powierzchniowego przez zbiór źródeł punktowych, akumulacja w buforze i uśrednienie efektu (uniwersalne, ale kosztowne czasowo)
- Rozmycie ostrych krawędzi cienia
- Rozmycie (filtrowanie) całego cienia
 - stopień rozmycia zależny od odległości obiektu od rzutni
 - artefakty przy bliskiej odległości obiektu i rzutni

8



Source: Real-Time Rendering 4th Edition

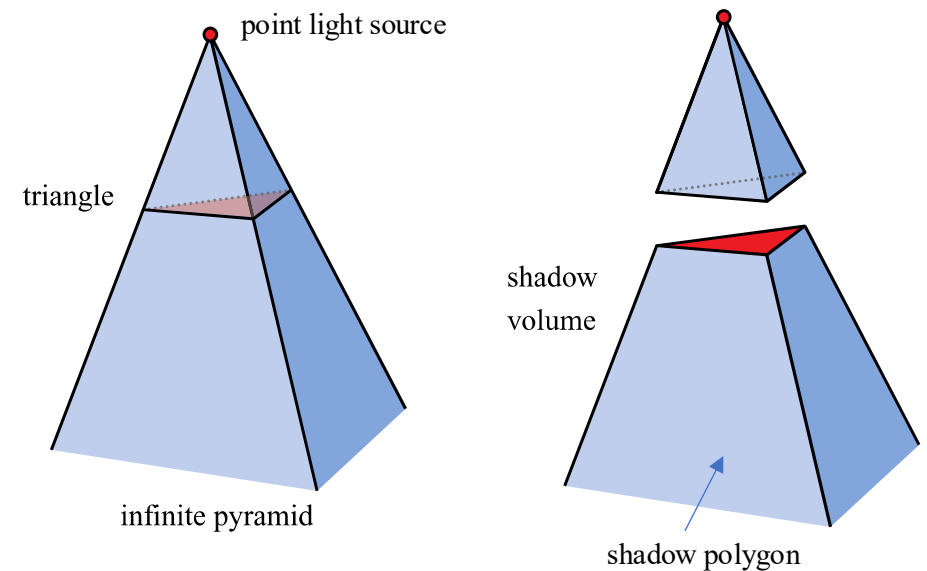


The image generated in Autodesk's A360 viewer

Bryły cienia (*shadow volumes*)

9

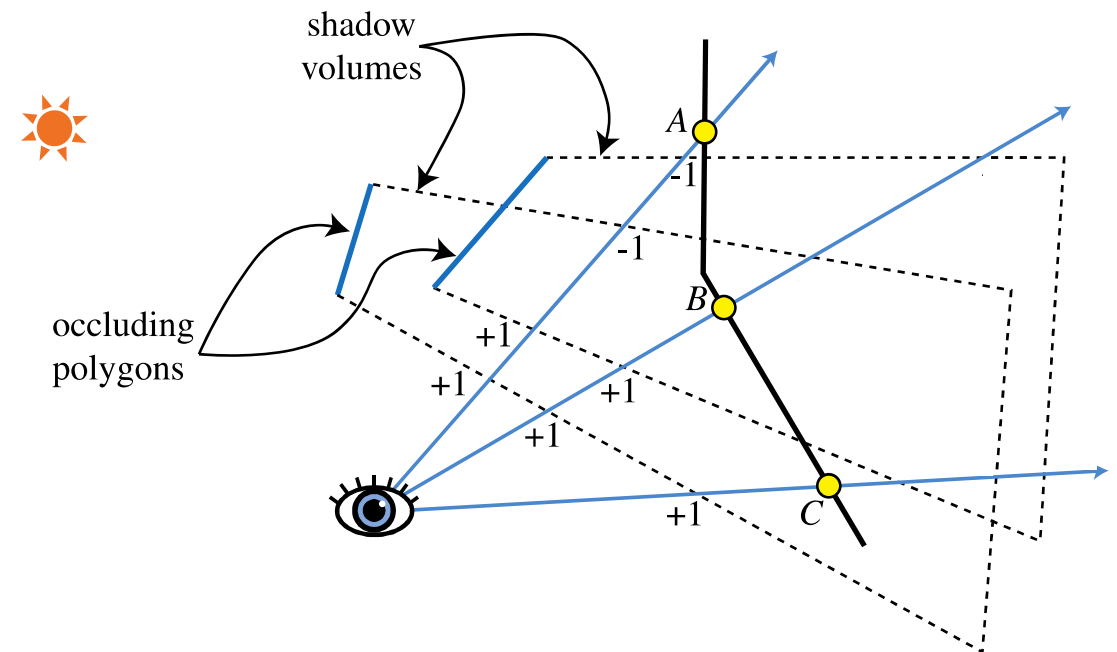
- Bryłę cienia tworzą wielokąty cienia wyznaczone przez źródło światła i obiekt rzucający cień
- Bryła tylko dla wielokątów skierowanych w stronę światła
- „Nieskończona” odległość dolnego ograniczenia bryły definiuje strefę wpływu światła



Algorytm sprawdzenia punktu (*z-pass*)

10

- Prowadzimy promień z **oka do rozpatrywanego punktu** sceny
- Sprawdzamy jakie wielokąty cienia promień przecina
- Jeżeli przednia strona wielokąta (wchodzimy w bryłę cienia) to inkrementujemy licznik
- Jeżeli tylna (wychodzimy z bryły cienia) to dekrementujemy
- Po dotarciu do punktu sceny sprawdzamy licznik:
 - jeśli >0 to punkt w cieniu
 - jeśli $=0$ to punkt oświetlony
- Jeśli oko jest w cieniu, to inicjujemy licznik na wartość równą liczbie brył cienia pokrywających oko



11

-

Implementacja algorytmu z buforem szablonowym

12

- Zerujemy bufor szablonowy
- Rysujemy scenę do bufora ramki bez oświetlenia, wypełniamy z-bufor
- Wyłączamy zapis z-bufora (ale testujemy głębokość) i bufora ramki; rysujemy przednie wielokąty bryły cienia do bufora szablonowego (inkrementacja wartości dla pikseli)
- Dalej rysujemy do bufora szablonowego tylne wielokąty bryły cienia (dekrementacja wartości dla pikseli); rysujemy tylko widoczne piksele – niezakryte przez inne obiekty sceny
- Ponownie rysujemy do bufora ramki całą scenę z pełnym oświetleniem, ale tylko dla pikseli o wartości 0 w buforze szablonowym

Słabości algorytmu

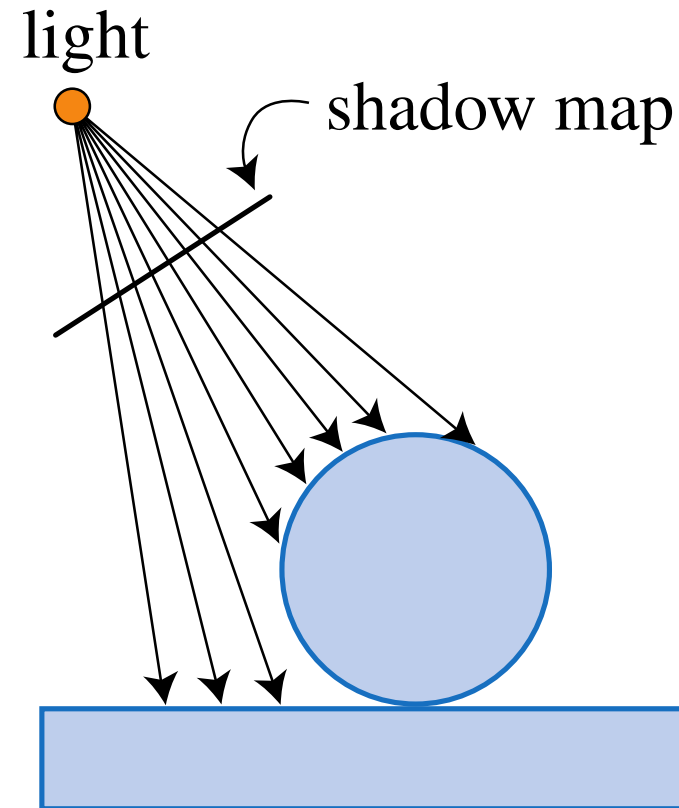
13

- Wszystkie algorytmy tworzenia cieni bazujące na przekształceniach geometrycznych nie są zbyt efektywne
 - powstaje bardzo wiele dodatkowych obiektów w scenie
 - niestabilne czasy obliczeń dla kolejnych ramek nawet przy małych zmianach położenia obserwatora
- Może wrócić do łask, gdy powstaną skuteczniejsze metody akceleracji...

Mapy cieni (*shadow maps*)

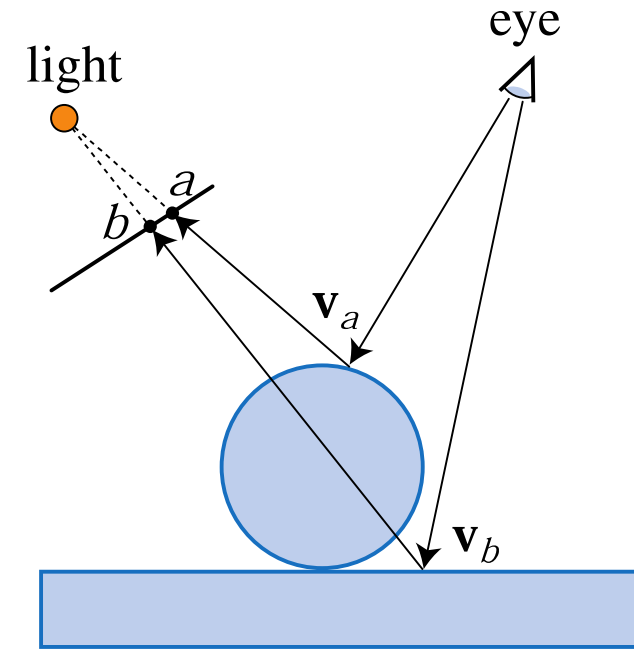
14

- Mapa cieni = specjalna tekstura zawierająca odległości źródła światła od najbliższego obiektu
- Mapa cieni jest tworzona w z-buforze przy założeniu, że punkt obserwacji to źródło światła
- To co „widzi” źródło światła jest oświetlone, reszta jest w cieniu

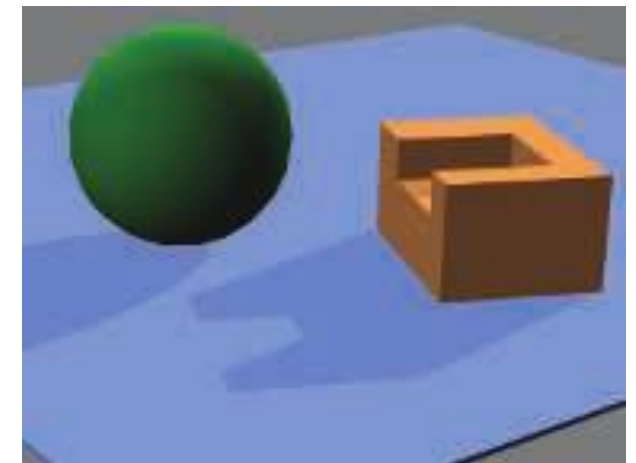
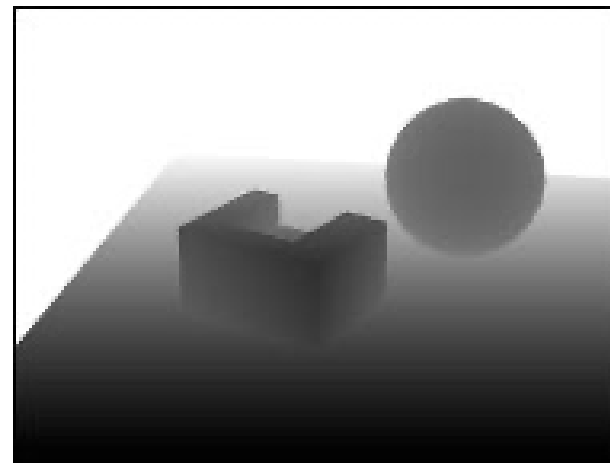


Mapy cieni (*shadow maps*)

- Po utworzeniu mapy cieni scena jest renderowana z punktu widzenia obserwatora
- Dla każdego piksela widzącego renderowany obiekt położenie obiektu jest porównywane z mapą cieni
 - jeśli odległość obiektu od źródła światła jest większa niż zapisana w mapie cieni, to punkt obiektu jest w cieniu
 - w przeciwnym przypadku punkt obiektu jest oświetlony



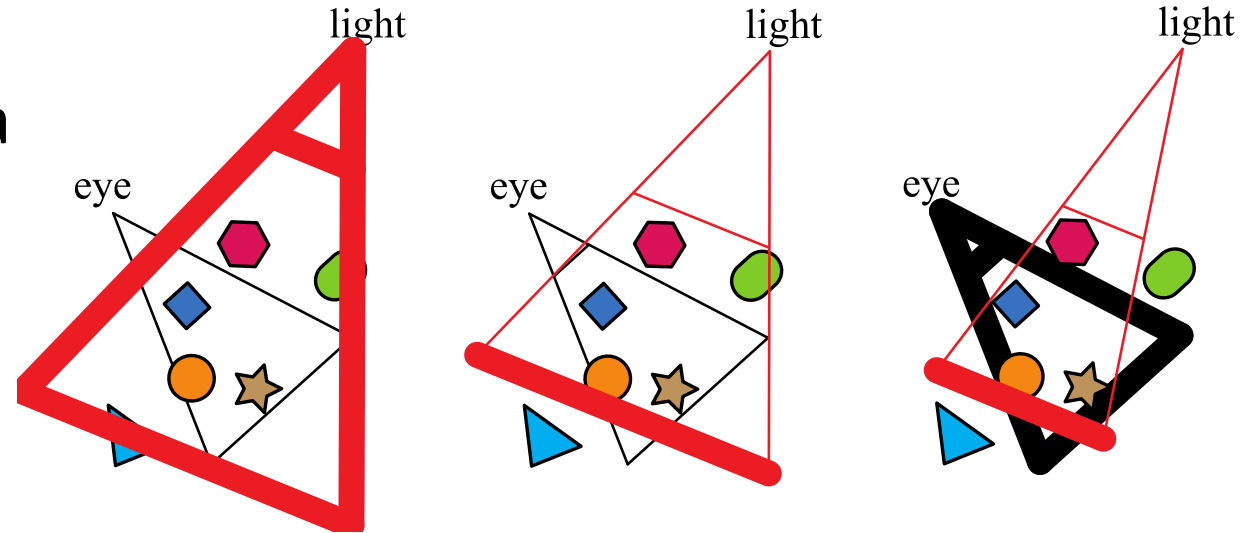
15



Usprawnienia algorytmu

16

- Obiekty nierzucające cienia nie są brane pod uwagę (np. podłoga w pomieszczeniu)
- Obiekty rzucające cienie, to tylko te znajdujące się w piramidzie widzenia źródła światła; pozwala to ograniczyć piramidę widzenia światła



Zalety algorytmu

17

- Implementacja taka jak mapowanie tekstury
- Algorytm jest „przewidywalny”
 - koszt tworzenia mapy cieni jest liniowo zależny od liczby obiektów
 - czas dostępu do mapy jest stały
- Dla scen statycznych, gdzie źródła światła i obiekty nie poruszają się (np. CAD), mapy są tworzone raz i wielokrotnie wykorzystywane



Wady algorytmu

18

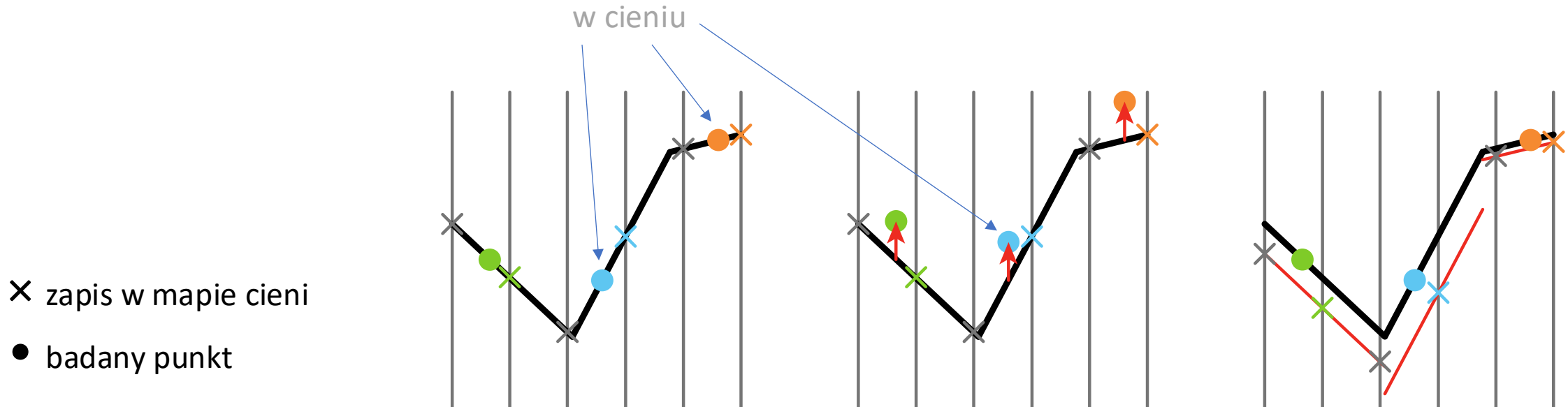
- Jakość cieni zależy od rozdzielczości mapy i numerycznej precyzji z-bufora
- Wrażliwość na aliasing (zwłaszcza w punktach blisko styku obiektów)
- Samocieniowanie – trójkąt błędnie rzuca cień sam na siebie
 - precyzja numeryczna (porównanie odległości)
 - odległość w mapie cieni dla środka piksela pokrywającego większy obszar obiektu
 - Remedium: wprowadzenie drobnego przesunięcia (*bias*) w odległościach w mapie cieni



Jak ustawić przesunięcie

19

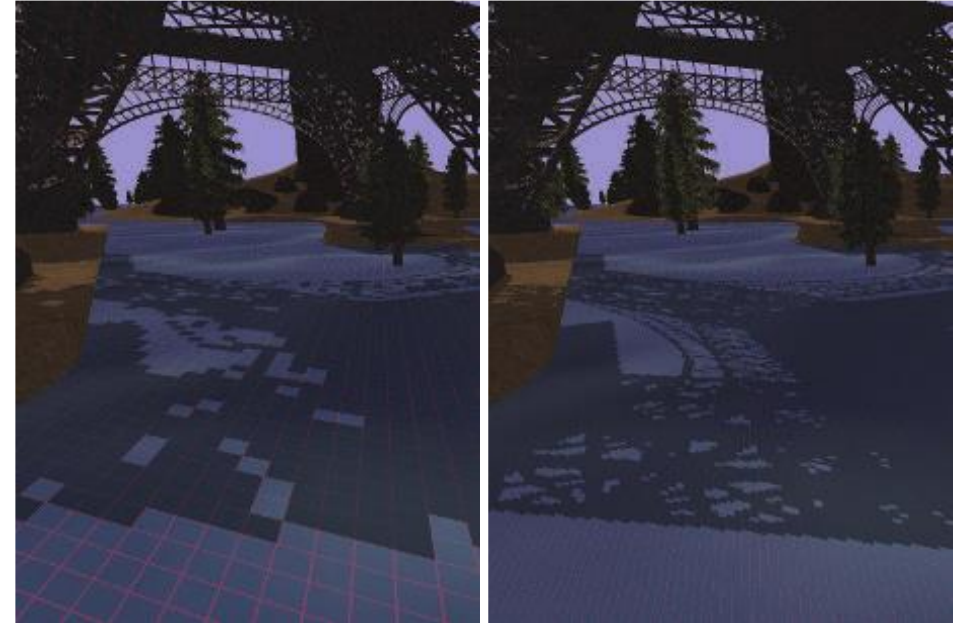
- Bias może być stały, ale...
- Najlepiej uzależnić go od nachylenia płaszczyzny wielokąta
- Przesuwanie krawędzi może powodować „pęknięcia” obiektów (brył)...



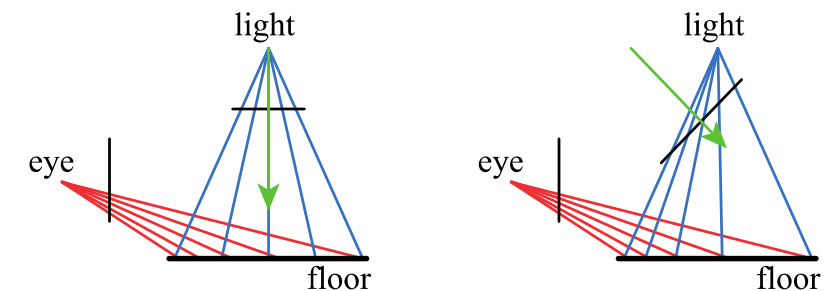
Poprawa rozdzielczości

20

- Różne położenia obserwatora i źródła światła powodują aliasing projekcyjny (*projective aliasing*)
 - Jeden texsel mapy cieni odpowiada wielu pikselom obrazu
- Zwiększanie rozdzielczości mapy cieni
- Pochylenie „ekranu” mapy cieni pozwala lepiej dopasować gęstość próbkowania do widoku
 - liczne algorytmy typu *perspective warping* (PSM, TSM, LiSPSM, ...)



Source: Daniel Scherzer, Vienna University of Technology

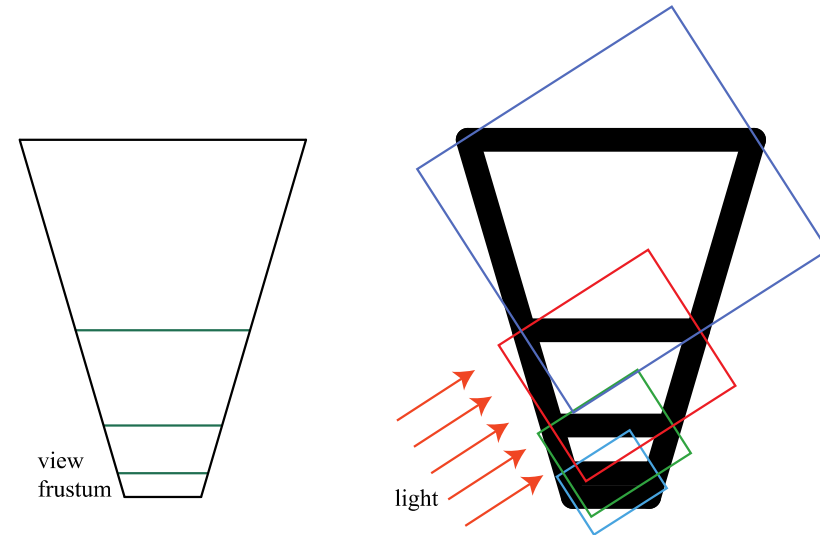


Source: Real-time Rendering 4th Edition

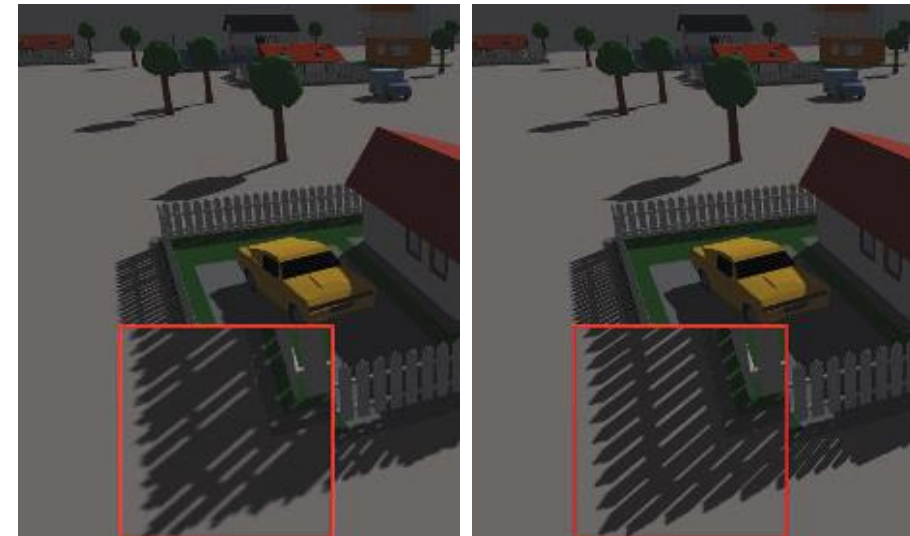
Poprawa rozdzielczości

21

- Inny pomysł to utworzenie wielu map cieni o różnych rozdzielczościach dla różnych fragmentów sceny
- Kaskadowe mapy cieni
 - podział piramidy widzenia na fragmenty
 - oddzielne mapy cienia dla tych fragmentów



Source: Real-time Rendering 4th Edition



Source: Fan Zhang, The Chinese University of Hong Kong

Na co zwrócić uwagę...

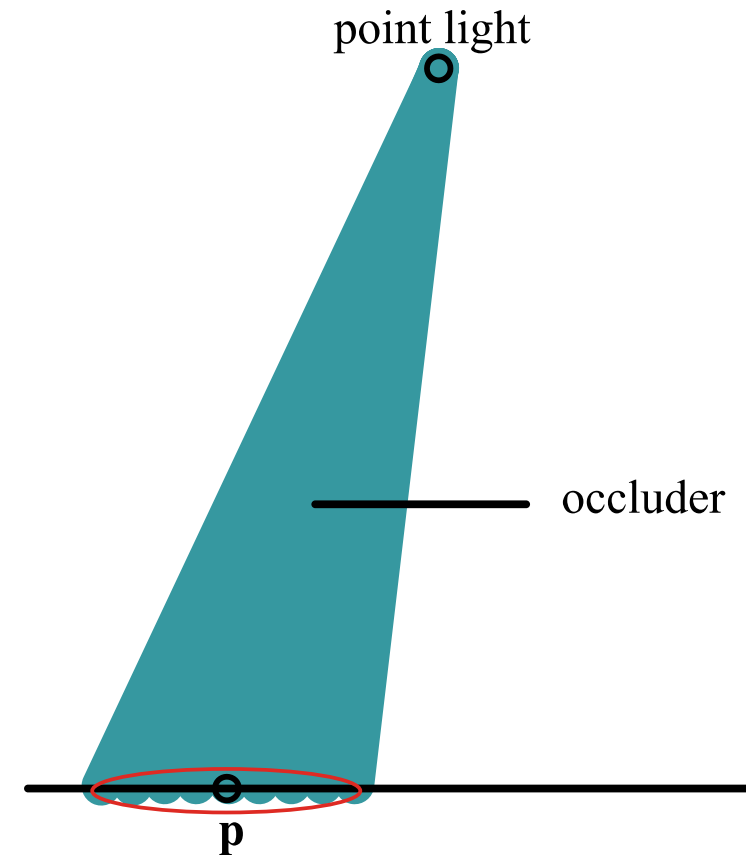
22

- W rzeczywistym świecie mogą być miliony źródeł światła tworzących cienie
- Tylko nieliczne są zauważalne
- Wyświetlając obraz sceny, trzeba zastosować techniki maskowania nieistotnych źródeł światła (np. w funkcji odległości, czy jasności)

Percentage-Closer Filtering

23

- Sposób na uzyskanie półcieni
- Próbujemy mapę cieni nie w jednym punkcie, ale w kilku (np. czterech) sąsiednich punktach
- Dla wyświetlanego punktu ustalamy stopień widzialności przez interpolację liniową
- W efekcie filtrowania uzyskujemy zmiękczone cienie (niefizyczne, ale lepsze niż nic...)



Percentage-Closer Soft Shadows

24

- Obszar próbkowania/filtrowania można uzależnić od odległości obiektu rzucającego cień od obiektu zacienionego
- Cienie dla obiektów dalszych od rzutni są bardziej rozmyte niż dla bliższych

$$\omega_{sample} = \omega_{light} \frac{d_R - d_O}{d_R}$$

cienie twarde



stały obszar próbkowania

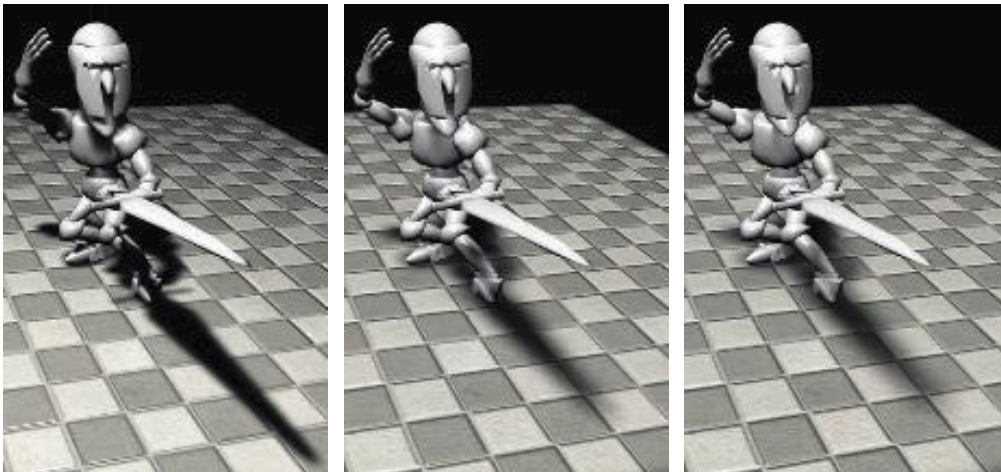


zmienny obszar próbkowania



Filtrowane mapy cieni

- Algorytmy stosujące różne techniki filtrowania próbek w mapie cieni
 - *variance shadow map*
 - *convolution shadow map*
 - *exponential shadow map*
 - *moment shadow mapping*



VSM z rosnącą odległością od źródła światła

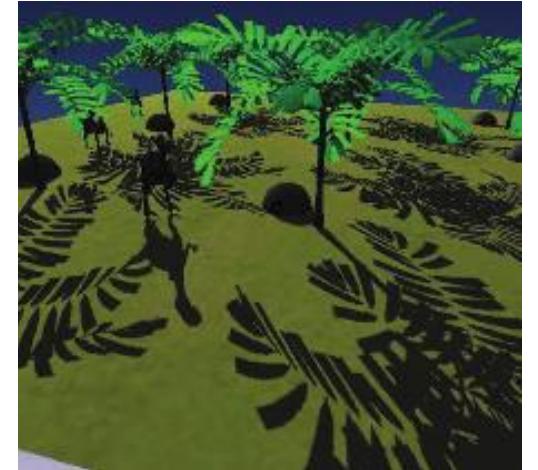
Source: NVIDIA Corp.

25

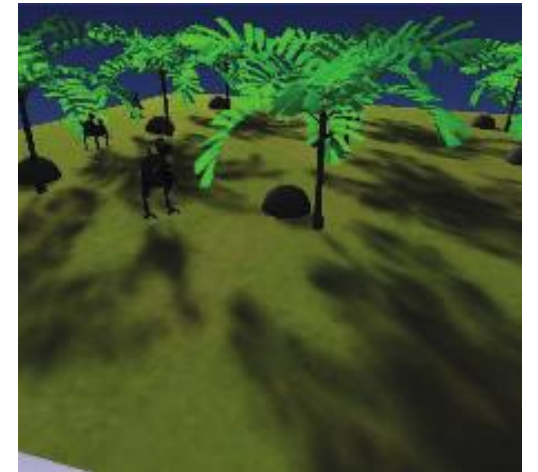
standard



PSM



PCSS



VSM

Source: Real-time Rendering 4th Edition

Cienie wolumetryczne

26

- Obiekty przezroczyste wymagają zapisania w mapie cieni głębokości i współczynnika przezroczystości (*opacity*)
- Samocieniowanie obiektów wolumetrycznych wymaga wielu próbek na różnych głębokościach obiektu z zapisaniem współczynnika przezroczystości i wyboru (interpolacji) między sąsiednimi próbkami dla zadanej głębokości renderowanego punktu



Copyright: Intel Corp.