

Grafika Komputerowa – Światło, cieniowanie i cienie



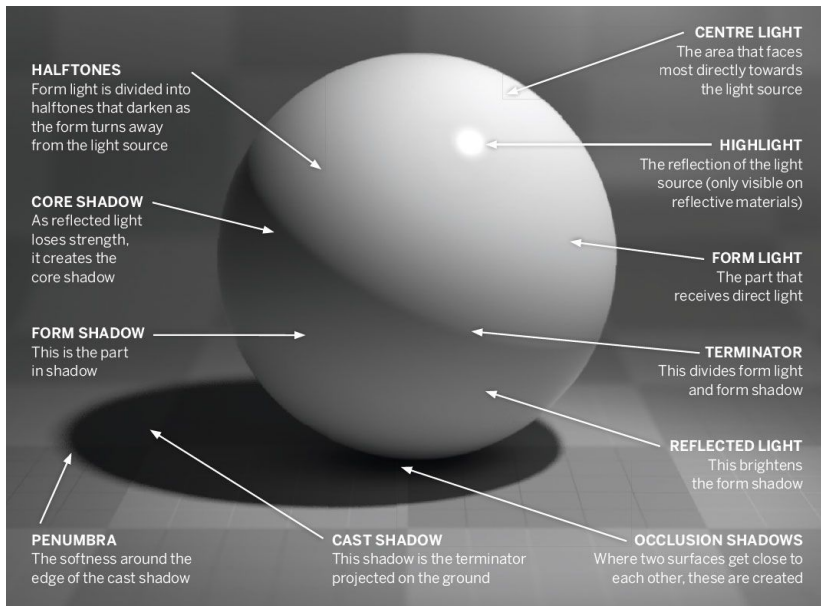
dr inż. Andrzej Czajkowski
Instytut Sterowania i Systemów Informatycznych
Wydział Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki

Plan Wykładu

- 1 Oświetlenie sceny – wprowadzenie
- 2 Oświetlenie źródła światła
- 3 Cieniowanie/Luminancja
- 4 Cienie

Proces oświetlenia sceny jest przedostatnim etapem (przed renderingiem) tworzenia ilustracji bądź animacji 3D. Poprzez poprawną realizację tego procesu możliwe jest uwypuklenie pożądanych elementów na scenie jak i ukrycie niedoskonałości modeli czy niekompletności sceny. Nawet mimo najdoskonalszych modeli czy tekstur to światło odgrywa najistotniejszą rolę w uzyskiwaniu efektów fotorealizmu czy budowania odpowiedniego klimatu/nastroju animacji.

- Światło (ang. Lighting) – źródło światła i sposób (interakcja) w jaki oświetla obiekt
- Cieniowanie/Luminancja (ang. Shading/Illumination) – w jaki sposób obiekt przyjmuje światło inaczej zwane modelem odbić lub luminancji wraz z interpolacją po całej powierzchni obiektu.
- Cienie (ang. Shadows) – w jaki sposób obiekt zaburza promienie światła i jego interakcje z tym samym jak i innymi obiektami.



Oświetlenie – źródła światła

Emitery światła pozwalają oświetlić scenę 3D na różne sposoby:

- Punktowe (point) – światło emitowane z pojedynczego punktu we wszystkich kierunkach. Natężenie światła może maleć wraz z odległością od emitującego punktu (np. pojedyncza żarówka).
- Kierunkowe (directional) – równomierne oświetlenie sceny z jednego kierunku. W odróżnieniu od punktowego nie zmienia swojej intensywności – zakłada, że źródło światła jest w dużej odległości od oświetlanego obiektu (np. światło słoneczne).
- Stożkowe (spotlight) – światło emituje stożkowy snop światła. To światło intensyfikuje się w miarę przybliżania do źródła jak i centrum generowanego snopa światła (np. latarka).
- Ambient – źródło światła typu ambient, które wpływają na elementy obiektów gdy nie są one wystawione na działanie innych źródeł światła. Intensywność niezależna od kierunku, odległości czy wpływu innych obiektów, równomierne na całej scenie. Pozwala widzieć elementy w całkowitej ciemności.

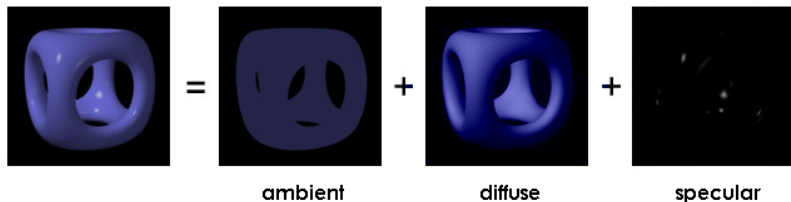
Źródła światła w 3dsmax

W 3dsmax można wyróżnić różne typy światła, ze względu na sposób kontroli można wyróżnić:

- standard lights – proste emitery światła starego typu, pozwalające zrealizować różne rodzaje oświetlenia sceny ze stosunkowo ograniczoną kontrolą. (Free/Target Spotlight, Free/Target Directional Light, Omni, Skylight)
- photometric lights – światła nowego typu bazujące na energii światła (model fizyczny) pozwalają na dokładniejsze zdefiniowanie źródeł światła bazując na fizycznych wartościach jak w świecie rzeczywistym. (Target/Free – Uniform Spherical, Uniform Diffuse, Spotlight, Photometric Web)

Oświetlenie – Lighting interactions

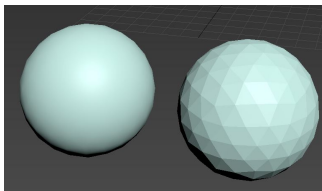
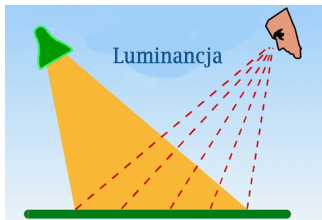
W grafice komputerowej światło składa się przeważnie z wielu komponentów. Końcowy efekt działania tego światła jest wyznaczony jako wypadkowa kombinacji właściwości tego obiektu wraz z tymi komponentami. Do najważniejszych i najczęściej wykorzystanych składowych światła należą diffuse, ambient, oraz specular.



- Diffuse – bezpośrednia luiminacja obiektu, wyłaniająca szczegóły materiału i struktury obiektu poprzez określenie jasności jak i jego koloru. Gdy światło dociera do obiektu jest odbijane w kierunku obserwatora jako funkcja właściwości powierzchni oraz kąta docierającego światła.
- Ambient – rodzaj bezkierunkowego światła działające równomiernie na całą powierzchnie obiektu z uwzględnieniem siły tego oświetlenia jak i właściwości materiału obiektu.
- Specular – składowa światła dająca efekt lśnienia oraz błyszczczenia obiektu (shine, highlights). W odróżnieniu od efektu lustra w odbiciach widoczne są jasne punkty a nie inne obiekty.

Illumination Vs. Shading

- Luminancja (Illumination/lighting model) – określa kolor punktów płaszczyzny na podstawie geometrii obiektu, jego materiały czy właściwości źródła światła.
- Model Cieniowania (Shading model) – wykorzystuje model luminancji do wyznaczenia koloru wszystkich punktów generowanej ilustracji danego obiektu poprzez funkcje interpolacyjne. Działa dla integralnych fragmentów siatki (np. polygonów).



Rodzaje luminancji

Modele oświetlenia (inaczej modele luminancji) są wykorzystywane do odzwierciedlenia działania źródła światła na powierzchni obiektów w procesie renderingu na podstawie właściwości fizycznych światła. Modele te znacznie upraszczają wyznaczenie finalnego wyglądu obiektu w stosunku do reguł jakie panują w rzeczywistym świecie. W procesie tym wyznaczone są wartości koloru obiektów na scenie. Istnieją dwie grupy modeli luminancji:

- metody lokalne (lokalne dla każdego obiektu na scenie)
- metody globalne (dodatkowo oddziaływanie pomiędzy obiektami)

Local/Object oriented illumination

Metody lokalne dotyczą oddziaływania pojedynczego źródła światła na pojedynczy obiekt. Techniki te są znacznie szybsze od metod globalnych ale z drugiej strony nie są one zbyt dokładne i nie zapewniają wszystkich możliwych efektów z rzeczywistego świata.

- Phong illumination model – model ten zakłada, że intensywność światła na obiekcie jest sumą intensywności komponentów światła (diffuse, specular i ambient). Pod uwagę brany jest również kąt pomiędzy obiektem a obserwatorem (w celu położenia pół typu highlight z wykorzystaniem parametru shininess).
- Blinn–Phong reflection model – działa podobnie do modelu Phong’a ale wykorzystuje do określenia lśnień na obiekcie wektor normalny powierzchni a wektory pomiędzy obiektem a światłem i obserwatorem zostają podzielone na pół. Dzięki temu otrzymuje się dokładniejsze wartości w stosunku do rzeczywistego świata i krótszy czas obliczeń.

Global illumination

Algorytmy globalne (Global illumination) w odróżnieniu od lokalnych biorą pod uwagę całą drogę jaką światło musi przebyć na projektowanej scenie. Obliczenia bazują głównie na fizyce i optyce, pozwalając na rozproszenie się czy odbijanie się wiązek światła (light rays) po całej scenie. Algorytmy tego typu wymagają znacznie większej mocy obliczeniowej.

- Ray tracing – źródło światła emituje promienie, które poprzez interakcję z powierzchniami obiektów na scenie (poprzez załamывanie, odbicia czy absorpcję) docierają do obserwatora. W celu optymalizacji procesu wyznaczania widzialnych promieni proces odbywa się wspak – od obserwatora do emitera światła.
- Radiosity – algorytm bazuje na energii oddawanej przez oświetlone obiekty oraz źródła światła. Nie bierze pod uwagę pozycji obserwatora. Wymaga więcej mocy obliczeniowej w stosunku do raytracingu ale w przypadku scen ze statycznym oświetleniem algorytm wykonuje tylko jedną iterację i nie musi być powtarzany w kolejnych klatkach niezależnie od zmian pozycji obserwatora.

Cieniowanie (Polygonal Shading)

Cieniowanie obiektów odbywa się w procesie rasteryzacji (skończona rozdzielczość) gdzie model 3D jest zamieniany na dwuwymiarowy obraz złożony z pikseli. Algorytmy cieniowania wykorzystują model luminancji wraz z geometrią siatki do określenia jak powinien wyglądać każdy piksel generowanego obrazka. Pod uwagę brane są również takie aspekty jak lokalizację wierzchołków, wektory normalne oraz dodatkowo informację o teksturze czy mapach typu bump.

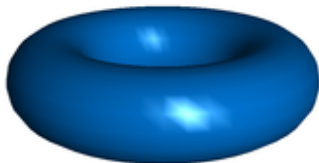
Cieniowanie płaskie – Flat shading

Cieniowanie płaskie to najprostszy algorytm cieniowania gdzie określony dla poligonu kolor jest równomiernie rozprowadzony po jego powierzchni. Ten typ cieniowania jest niezwykle wydajny pod kątem obliczeniowym ponieważ określanie koloru dla każdego poligonu jest wykonywane jednorazowo dla każdego przejścia algorytmów renderingu.



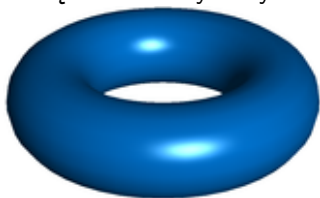
Gouraud shading

Inaczej cieniowaniem na zasadzie interpolowania jasności polega na przypisywaniu punktom cieniowanego wielokąta jasności i koloru obliczonej poprzez interpolację wartości odpowiednich dla każdego wierzchołka. W tym celu kolor wierzchołka określa się z wykorzystaniem średniej wektorów normalnych otaczających go poligonów. Po wyznaczeniu jasności i koloru dla każdego wierzchołka obiektu z wykorzystaniem dowolnego modelu luminancji wyznaczana jest jasność na krawędziach pomiędzy wierzchołkami a finalnie wyznaczane jest cieniowanie wewnątrz poligonu z wykorzystaniem interpolacji.

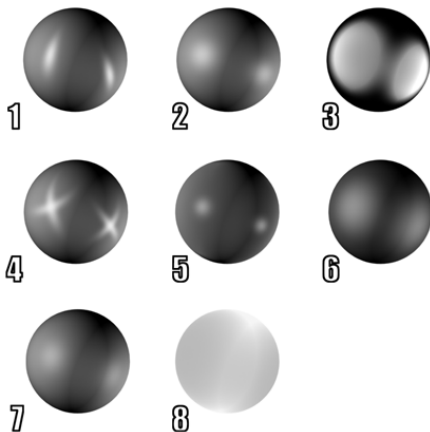


Phong shading

Podobnie jak cieniowanie Gourarda jest to algorytm cieniowania interpolowanego, gdzie wartości koloru każdego wierzchołka są rozprowadzane w odpowiedni sposób na całej powierzchni obiektu. Kluczowa różnica polega na kolejności wykonywania operacji. W cieniowaniu Phong'a wartości uśrednionych wektorów normalnych dla każdego wierzchołka są wpiery interpolowane po całej powierzchni obiektu a dopiero potem wyliczane są cienie z wykorzystaniem modelu luminancji.

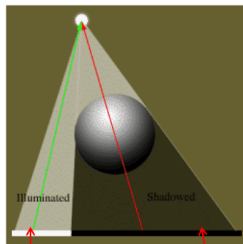


Cieniowanie w 3dsmax



1. Anisotropic/ 2. Blinn/ 3. Metal / 4. Multi-layer/ 5. Oren-Nayar-Blinn/
6. Phong/ 7. Strauss/ 8. Translucent

Cienie w obrazie finalnym pełnią niezwykle istotną rolę zarówno w procesie renderowania ilustracji jak i samej animacji (pozwalają dostrzec głębie jak i ruch obiektów). W celu poprawnego wygenerowania cieni wymagane są znaczne nakłady mocy obliczeniowej. W przypadku luminancji dość ciężko zauważyć odstępstwa od rzeczywistego świata a w przypadku błędów związanych z cieniem jest to mocno zauważalne. Cienie określają brak bezpośredniego oświetlenia poprzez zagrodzenie trasy lotu promieni świetlnych przez inny obiekt.



Use ambient +
diffuse + specular
components

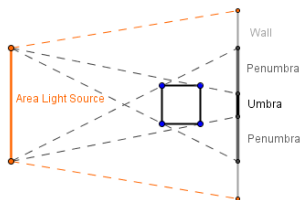
Use just ambient
component

Rodzaje cieni:

- Cienie twarde (hard shadows) – cienie o wyrazistych krawędziach równomiernie zaciemniające przestrzeń cienia (Umbra).
- Cienie miękkie (soft shadows) – cienie o rozmytych krawędziach zwiększające natężenie ciemności w kierunku centrum cienia (Umbra+Penumbra).

Definicje związane z cieniami:

- Umbra — pełne zaciemnienie.
- Penumbra – półcień w częściowo zaciemnionej strefie.
- Antumbra – półcień w strefach gdzie nakłada się na siebie wiele półcieni.

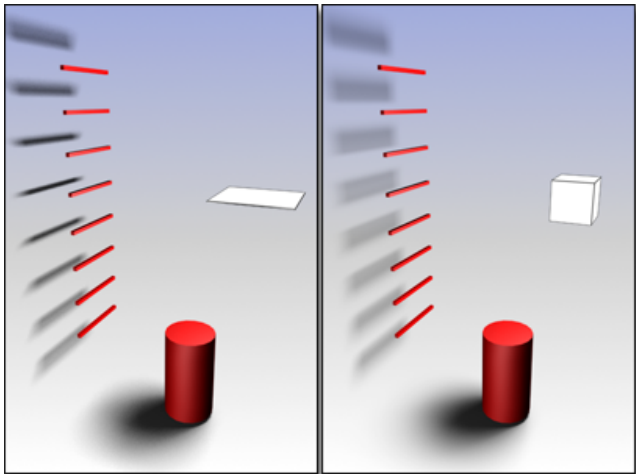


Shadow Map

Cień typu shadow map jest to wygenerowana w trakcie procesu prerenderingu tekstura-bitmapa symulująca cień, nałożona na obiekt w miejscu padania rzeczywistego cienia. Cienie tego typu nie wspierają efektów przezroczystości czy prześwitywania. Z drugiej strony poprawnie generują cienie miękkie w odróżnieniu od cieni typu ray-traced. Są również mniej dokładne ale prostsze obliczeniowo. Każde źródło światła generuje swój cień typu shadow map. Cienie te wymagają dostrojenia ze względu na charakter bitmap (dopasowanie rozdzielczości/samplingu w zależności od dystansu między obserwatorem a cieniem).

Area shadow

Cienie typu powierzchniowego (Area shadows) są generowane przez źródła światła które mają powierzchnie lub objętość. Kształt cienia jest więc zależny od kształtu źródła światła.



Ray-Traced Shadows

Cienie generowane z wykorzystaniem algorytmów śledzenia promieni są bezpośrednio generowane w procesie renderingu (shadow mapy w prerenderingu). Działanie polega na rzutowaniu promienia z każdego generowanego piksela dla obiektów na scenie w kierunku źródła światła. W przypadku przecięcia toru lotu promienia przez inny obiekt generowane jest zaciemnienie. Cienie tego typu zawsze generują twarde krawędzie cienia (hard shadows). Cienie tego typu są dokładniejsze i niż shadow mapy kosztem złożoności obliczeniowej. Poprawnie generują cienie dla obiektów przezroczystych czy prześwitujących.

Cienie w 3dsmax

Shadow Type	Advantages	Disadvantages
Advanced Ray-Traced	<p>Supports transparency and opacity mapping.</p> <p>Uses less RAM than standard ray-traced shadows.</p> <p>Recommended for complex scenes with many lights or faces.</p>	<p>Slower than shadow maps.</p> <p>Does not support soft shadows.</p> <p>Processes at every frame.</p>
Area Shadows	<p>Supports transparency and opacity mapping.</p> <p>Uses very little RAM.</p> <p>Recommended for complex scenes with many lights or faces.</p> <p>Supports different formats for area shadows.</p>	<p>Slower than shadow maps.</p> <p>Processes at every frame.</p>
Ray-traced Shadows	<p>Supports transparency and opacity mapping.</p> <p>Processes only once if there are no animated objects.</p>	<p>Can be slower than shadow maps.</p> <p>Does not support soft shadows.</p>
Shadow Maps	<p>Produces soft shadows.</p> <p>Processes only once if there are no animated objects.</p> <p>Fastest shadow type.</p>	<p>Uses a lot of RAM. Does not support objects with transparency or opacity maps.</p>