

## CIEŃ I CIENIOWANIE W GRAFICE KOMPUTEROWEJ

Maria HELENOWSKA-PESCHKE

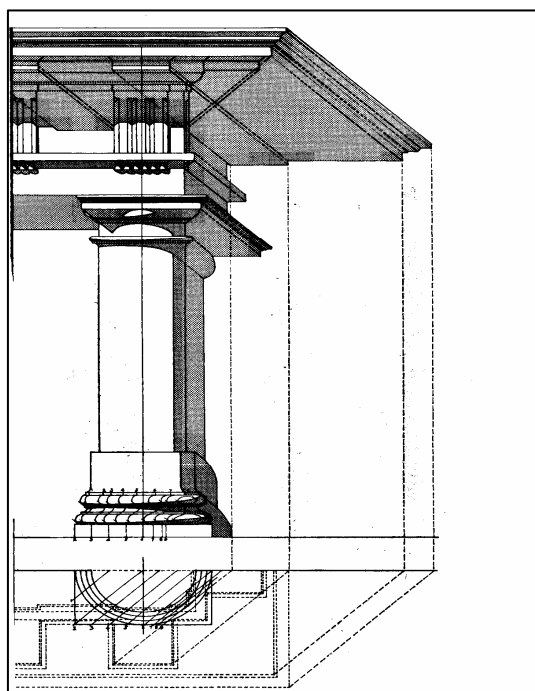
Politechnika Gdańska, Zakład Technik Wizualnych  
ul. Narutowicza 11, 80 – 292 GDAŃSK, POLAND  
email: mhelen@pg.gda.pl

**Streszczenie.** Współcześnie grafika komputerowa umożliwia tworzenie światłocieni z powodzeniem symulujących efekty oświetlenia obiektów występujące w świecie rzeczywistym. W artykule krótko przedstawiono podstawowe algorytmy wyznaczania cieni oraz możliwości kreowania cieni w 3D Studio – popularnym programie typu CAD.

**Słowa kluczowe:** grafika komputerowa, cieniowanie, cienie, wizualizacja architektoniczna.

### 1. Wprowadzenie

Ważnym elementem rysunków architektonicznych są cienie, które uplastyczniają rysunek, ułatwiają odczytanie trzeciego wymiaru i kształtów obiektów. Na studiach technicznych do kształcenia umiejętności wykreślonego konstruowania cieni przywiązywano duże znaczenie już za czasów Gaspard'a Monge'a. Rysunek 1 pochodzi z około 1920 roku, ale równie dobrze mógł powstać w słynnej Ecole des Beaux Arts pod koniec XIX wieku jak i w naszych czasach (na przykład na ćwiczeniach z geometrii wykreślnej Wydziału Architektury Politechniki Gdańskiej). Współcześnie architekci i plastycy przedstawiając swoje projekty mogą korzystać z programów CAD, które umożliwiają



Rys.1 Wykreślona konstrukcja cienia elementu architektonicznego, ok. 1920

automatyczne generowanie światłocieni w trójwymiarowych scenach. Przystrojenie umiejętności tworzenia fotorealistycznych wizualizacji z użyciem wirtualnych cieni wymaga nie mniejszego trudu niż opanowanie konstrukcji wykreślonych. Poniższy tekst stanowi próbę pokazania różnicy między tworzeniem cieni w rysunku odręcznym a wizualizacji komputerowej. Omówienie ogranicza się do monochromatycznych światła i powierzchni.

### 2. Oświetlenie i cieniowanie

W grafice komputerowej stosuje się kilka modeli oświetlenia umożliwiających modelowanie wielu sposobów oddziaływania światła z obiektami (sposobów cieniowania). Popularne modele oświetlenia obejmują czynniki określające barwę powierzchni w danym punkcie na podstawie położenia, orientacji oraz charakterystyki powierzchni (barwa, tekstura, odbicia) i oświetlających je światła. Programiści tworzący algorytmy cieniowania kierują się prawami opty-

ki, właściwościami rzeczywistych materiałów a także potrzebą uproszczenia obliczeń i możliwościami sprzętu [1]. Algorytmy cieniowania nie posiadają swoich odpowiedników wykreślonych, a obliczenia dotyczą określenia jasności punktu obiektu. Proste modele oświetlenia

biorą pod uwagę jeden punkt powierzchni i źródła światła oświetlające go bezpośrednio. W ogólnych modelach oświetlenia (rekursywne śledzenie promieni, metoda energetyczna) bierze się pod uwagę odbicia światła między wszystkimi powierzchniami, a ponadto uwzględnia załamania i odbicia.

Dla powierzchni matowych jasność punktu zależy od kąta między kierunkiem od źródła światła i normalną do powierzchni (tzw. odbicie Lambertowskie). Powierzchnia prostopadła do padających promieni jest jasno oświetlona, natomiast wraz ze wzrostem nachylenia powierzchni w stosunku do promieni jej oświetlenie jest słabsze. Stosunek natężenia światła widziany przez obserwatora jest niezależny od kierunku patrzenia. Równanie oświetlenia ma postać:

$$I = I_a k_a + f_{att} I_p k_d \cos \nu,$$

gdzie:  $I_p$  – natężenie światła punktowego,  $I_a$  – natężenie światła otoczenia,  $k_d$ ,  $k_a$  – współczynniki odbicia materiału,  $\nu$  - kąt między normalną do powierzchni a kierunkiem do źródła światła,  $f_{att}$  - współczynnik tłumienia. Model oświetlenia Phong'a pozwala na generowanie odbić zwierciadlanych dla obiektów odbijających. W równaniu oświetlenia uwzględnia się kąt między kierunkiem odbicia a kierunkiem do obserwatora ponieważ powierzchnia błyszcząca odbija światło niejednakowo w różnych kierunkach.

Równanie oświetlenia w modelu Phong'a ma postać:

$$I = I_a k_a + f_{att} I_p [k_d \cos \nu + W(\nu) \cos^n \alpha],$$

gdzie:  $W(\nu)$  – stosunek natężenia światła odbijanego zwierciadlanie do natężenia światła padającego,  $\alpha$  - kąt między kierunkiem obserwatora a kierunkiem odbicia,  $n$  – wykładnik odbicia zwierciadlanego charakterystyczny dla danego materiału. Wielkość rozświetlenia widziana przez obserwatora jest zależna od kierunku patrzenia.

Za pomocą modelu oświetlenia określana jest jasność poszczególnych punktów, natomiast barwa każdego wielokąta powierzchni (powierzchnie krzywoliniowe są aproksymowane za pomocą siatki wielokątów) wyznaczana jest indywidualnie na podstawie modelu cieniowania. W zależności od modelu cieniowania model oświetlenia jest wykorzystywany dla każdego piksela w obrazie lub dla niektórych, a dla innych na zasadzie interpolacji. Modele cieniowania mają wpływ na prędkość i realizm sceny. Podstawowe modele cieniowania Gourauda i Phong'a wykorzystują informacje z sąsiednich wielokątów dla cieniowania powierzchni gładkiej.

Dzięki różnorodności modeli oświetlenia i cieniowania możliwe jest tworzenie różnych obrazów tej samej sceny (pseudo lub fotorealistycznych).

### 3. Cienie rzucone

W metodach generowania cieni rzuconych programiści wykorzystują idee geometrii rzutowej. Algorytmy wyznaczające cienie rzucone określają, które powierzchnie mogą być widziane ze źródła światła.

W metodzie przeglądania wierszy krawędzie wielokątów, które mogłyby potencjalnie rzucać cień są rzutowane na wielokąty przecinające bieżącą przeszukiwaną linię obrazu. Aby nie obliczać rzutów każdego wielokąta na każdy wielokąt wykorzystuje się wstępne przetwarzanie. Dla punktowego źródła światła polega to na rzutowaniu wszystkich wielokątów na kulę otaczającą to źródło. Środkiem rzutu jest punkt w którym znajduje się źródło światła (środek kuli). Pary rzutów, które się nie pokrywają mogą być wyeliminowane co umożliwia ograniczenie liczby par wielokątów w obliczeniach.

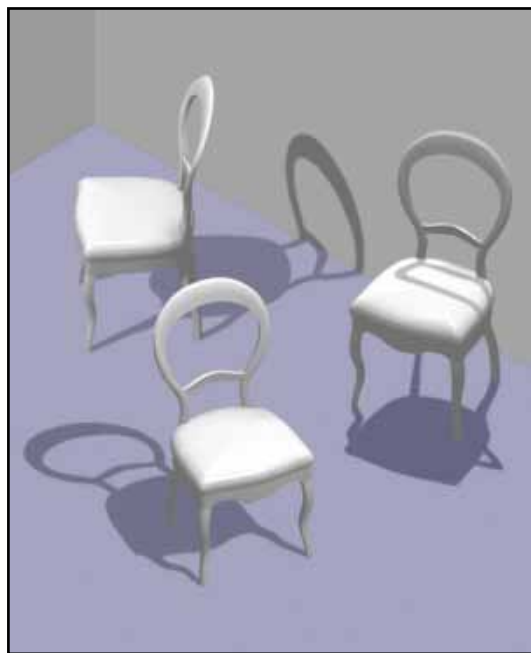
Metoda opracowana przez Crow'a polega na tworzeniu dla danego źródła światła bryły cienia ograniczonej przez czworokąty cienia. Boki wielokątów cienia są zdefiniowane przez krawędzie sylwetki obiektu względem źródła światła i linie (promienie) wychodzące ze źródła



światła i przechodzące przez końce tych krawędzi. Odległość podstawy bryły cienia jest zależna od sfery wpływu źródła światła i tzw. bryły widzenia. Wielokąt cienia mają normalne skierowane na zewnątrz bryły cienia i również są traktowane jako rzucające cień. Z punktu widzenia obserwatora wielokąt skierowany do przodu i rzucający cień powoduje, że obiekt poza nim jest w cieniu. W ogólnym przypadku wielokąt skierowany do tyłu kasuje wpływ wielokąta przedniego. Jeżeli wektor z punktu obserwacji do punktu na obiekcie przecina więcej przednich niż tylnych wielokątów cienia to badany punkt jest w cieniu.

#### 4. Możliwość kreowania cieni w programie CAD

Reguły, które rządzą wirtualnymi cieniami próbują naśladować te panujące w świecie rzeczywistym, jednak właściwości światła w grafice komputerowej różnią się od właściwości światła fizycznego. Uzyskanie efektu głębi, opisanie kształtów, stworzenie nastroju obrazu wymaga odpowiednich światłocieni, a więc starannego rozmieszczenia świateł zarówno ogólnych jak i modelujących. W praktyce nie zawsze scena oddająca realistycznie wszystkie efekty świetlne, które powstałyby w świecie rzeczywistym jest użyteczna dla projektanta (projekt musi być czytelny). Umieszczenie światła nie musi oznaczać, że przeszkody napotkane przez promienie będą rzucały cień, ponieważ w grafice komputerowej generowanie cieni nie jest przymusowe. W scenie można umieścić kilka źródeł światła symulując oświetlenie pochodzące z odbić od rozmaitych powierzchni. Światło symulujące efekt odbicia ma za zadanie rozpraszać cienie na samych obiektach samo zaś nie powinno rzucać cienia. Światła modelujące pokazują relację między obiektami w scenie i określają kształt obiektu. Wygenerowanie cienia rzuconego przez przedmiot na płaszczyznę pozwala określić czy przedmiot leży na niej czy jest zawieszony gdzieś w przestrzeni. Grafika komputerowa umożliwia stosowanie w jednej scenie świateł rzucających i nie rzucających cienie. Użytkownik może również okre-



Rys. 2 Nierzeczywiste cienie w scenie 3D.

Oprac. autorki

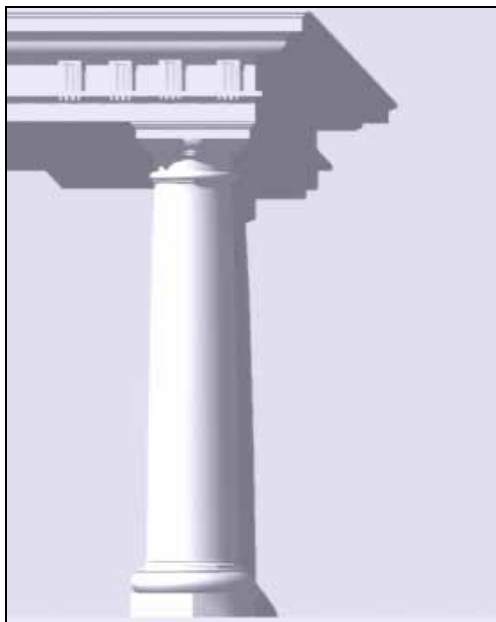
ślać to czy przedmiot będzie rzucał cień na inne obiekty lub czy będzie przyjmował cień od innych obiektów. Daje to możliwość stwarzania przedziwnych efektów. Przykład skrajnie nierzeczywistego oświetlenia pokazuje Rys. 2.

W świecie rzeczywistym światło odbite oświetla obiekty rozmywając cień. Również w grafice komputerowej istnieje możliwość dopasowywania ostrości granicy cienia i jego natężenia. W programie 3D Studio użytkownik ma do wyboru dwie metody generowania cieni: śledzenia promieni i mapowania. Pierwsza z nich - Raytrace - tworzy cienie o ostrych krawędziach i jest przydatna do symulowania światła słonecznego (Rys. 3). Metoda Shadow Map tworzy bardziej naturalne cienie o miękkich krawędziach i lepiej nadaje się do modelowania wnętrza (Rys.4). Mapy o mniejszej rozdzielczości tworzą miękkie cienie ale mogą tworzyć błędy np. odciąganie cienia od obiektu.

Wirtualne cienie wykorzystuje się w pracy nad detalem, obiektem architektonicznym, jak również w opracowaniach w skali urbanistycznej (wirtualne modele miast). Podczas projektowania architektury analizuje się w jaki sposób budynki zostaną oświetlone przez promienie słoneczne (układ cieni na elewacji ma znaczenie nie tylko estetyczne ale i praktyczne). Programy dla architektów posiadają funkcje pozwalające na symulację

oświetlenia słonecznego i jego animację. System Sunlight programu 3D Studio składający się z kompasu i związanego z nim światła kierunkowego pozwala na wybór geograficznej lokalizacji, pory roku i godziny (program generuje cienie nawet wtedy, gdy zgodnie z przyjętymi danymi słońce zaszło i świeci spod ziemi!).

W grafice komputerowej nie tworzy (rysuje) się cieni tylko światło, a następnie blokuje jego ścieżkę w scenie. Cienie nie powodują, że powierzchnie są ciemniejsze, ale zapobiegają aby nie były jaśniejsze (na powierzchni bardzo oświetlonej rzucany cień jest mało widoczny).



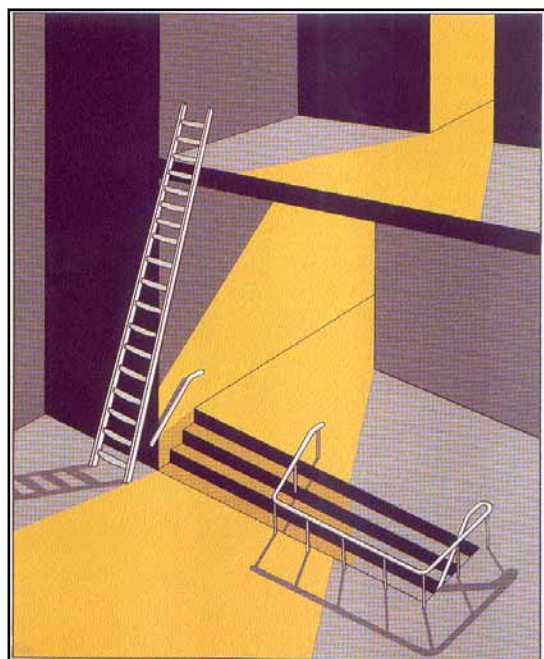
Rys. 3 Cień typu Ray Trace. Oprac. Autorki



Rys. 4 Cień typu Shadow Map. Oprac. autorki

## 5. Cienie w złudnej przestrzeni

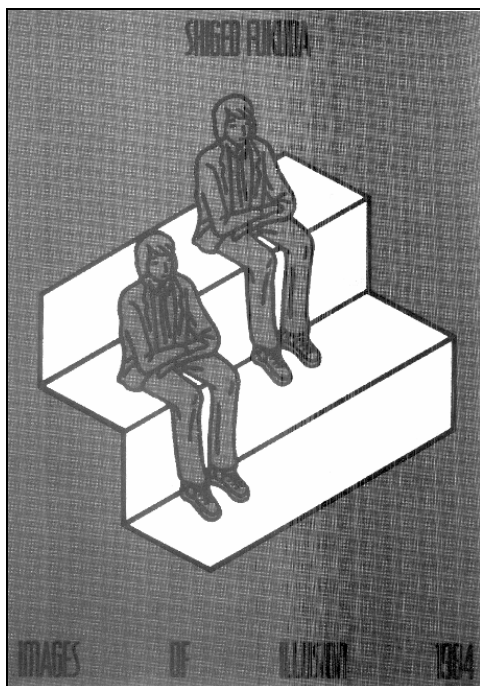
Czytanie rysunku to złożony proces, w którym dwuwymiarowa reprezentacja przetwarzana jest w przydatne dla oglądającego informacje 3D. Dla tego procesu duże znaczenie ma



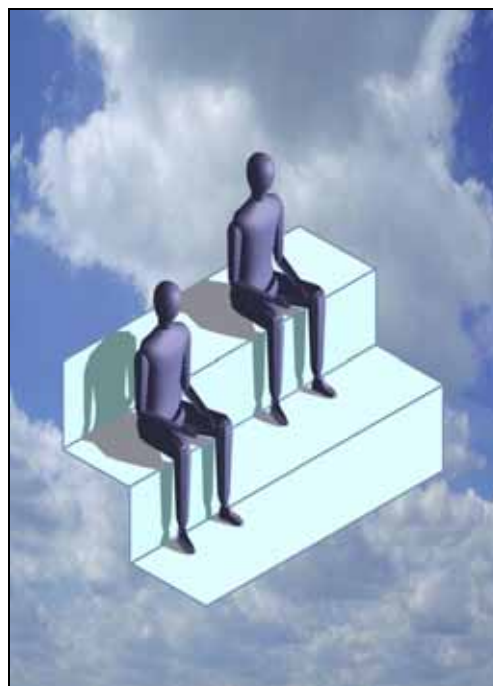
Rys. 5 Fred van Houten "Schody", alternatywna interpretacja rysunku

doświadczenie i wiedza zmagazynowane w umyśle oglądającego. Światłocienie odgrywają ogromną rolę w widzeniu stereoskopowym [2]. W sztuce bywa, że zapis przestrzeni może dotyczyć obiektów przestrzennie iluzorycznych i zawierać informacje sprzeczne z naszym doświadczeniem, które nie pozwalają na jednoznaczną interpretację trzech wymiarów (np. prace M.C. Eschera, B. Ernsta) [3]. Cienie w pracy Fred van Houten "Schody" pomagają artyście zwieść widza i urealnić niemożliwy świat, świat w którym nie obowiązują reguły geometrii trójwymiarowej (Rys.5). Również grafika komputerowa pozwala na wizualizację nieprzestrzeni. Na (Rys.6) pokazano temat grafiki Shigeo Fukuda "Images of Ilusion" pokazującej schody zbudowane z płaszczyzn o równocześnie pionowym i poziomym położeniu. Dodatkowy kontekst w postaci osób siedzących pogłębia tę niejednoznaczność interpretacji obrazu.





Rys. 6 Fukuda S. "Images of Ilusion", 1984



Rys. 7 Iluzoryczny model 3D. Oprac. autorki

Rysunek po prawej (Rys. 7) przedstawia iluzoryczną scenę wymodelowaną w programie 3D Studio. Cienie rzucone na nie-schody przez postacie podkreślają sugestię więcej niż jednej przestrzeni trójwymiarowej równocześnie.

### Podsumowanie

Doceniając znaczenie jakie mają światłocienie w percepcji i kreowaniu przestrzeni graficy komputerowi tworzą coraz doskonalsze narzędzia do ich generowania. Już obecnie programy komputerowe dają wiele możliwości tworzenia światłocieni tak by służyły określonym potrzebom użytkownika - czytelnemu zapisowi idei w projektowaniu lub kreowaniu iluzji w sztuce.

### Literatura

- [1]. FOLEY J. D., VAN DAM A., FEINER K.S., HUGHES J.F., PHILLIPS R. L.: *Wprowadzenie do grafiki komputerowej*. WNT, Warszawa 1995.
- [2]. PUERTA A.M.: *The power of shadows: shadow stereopsis*. Opt. Soc. Am. A, Vol. 6, No. 2 February 1989/J.
- [3]. ERNST B.: *Optical Ilusion*, Taschen, 1992.

## SHADES AND SHADOWS IN COMPUTER GRAPHICS

Contemporary computer graphics has an ability to create shade and shadows which successfully stimulate light effects in real world. In the paper basic algorithms for creating shade and shadows are shortly presented as well as shade and shadow options in 3D Studio – the popular CAD program.

Recenzent: dr hab. inż. arch. Jerzy MROCZKOWSKI, prof. PWr

Wpłynęło do Redakcji w marcu 2003 r.

