



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



POLITECHNIKA WARSZAWSKA

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Dariusz Sawicki

**Śledzenie promieni
w grafice komputerowej**

Warszawa 2011

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

 **PROGRAM ROZWOJOWY**
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Politechnika Warszawska
Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i
Systemów Informacyjno Pomiarowych



Spis treści

Rozdział 1.

Wprowadzenie	6
1.1. Śledzenie promieni a grafika realistyczna	6
1.2. Krótka historia śledzenia promieni	8
1.3. Podręcznik	10
1.4. Literatura	12

Rozdział 2.

Śledzenie promieni – podstawy	14
2.1. Idea metody	14
2.2. Śledzenie klasyczne (Whitteda)	19
2.3. Literatura	20

Rozdział 3.

Problem przecięcia – rozważania ogólne	22
3.1. Geometria promienia	22
3.2. Przecięcie a rozwiązanie odpowiedniego równania lub układu równań	23
3.3. Zastosowanie klasycznych metod numerycznych	26
3.4. Eliminacja zmiennych i upraszczanie zadania	28
3.5. Problem błędów zaokrągleń	29
3.6. Powierzchnie algebraiczne, równanie drugiego, trzeciego i czwartego stopnia.	31
3.7. Literatura	32

Rozdział 4.

Problem przecięć – przypadki szczególne	34
4.1. Przecięcie z płaszczyzną i obiektami płaskimi.	35
4.1.1. Promień – płaszczyzna	35
4.1.2. Promień – wielokąt	36
4.1.3. Promień – trójkąt	37
4.1.4. Promień – czworokąt, prostokąt.	38
4.1.5. Promień – koło	40
4.2. Przecięcie z wielościanem.	40
4.3. Przecięcie z powierzchnią drugiego stopnia	42
4.3.1. Promień – sfera	42
4.3.2. Promień – walec	44
4.4. Przecięcie z powierzchnią wielomianową, powierzchnie Beziera, B-sklejane i NURBS.	46
4.6. Literatura	47



Rozdział 5.

Modelowanie odbicia i przenikania światła	. . .	49
5.1 Reakcja światła z materia:	. . .	49
5.2 Podstawowe wielkości fotometryczne	. . .	54
5.3 Funkcja rozkładu współczynnika odbicia dwukierunkowego (funkcja BRDF)	. . .	55
5.4 Modele odbicia światła	. . .	56
5.4.1. Model odbicia Phonga	. . .	58
5.4.2. Model Cooka-Torrance'a	. . .	60
5.4.3. Model Warda	. . .	61
5.4.4. Model Orena-Nayara	. . .	62
5.4.5. Model Ashikhmina-Shirleya	. . .	63
5.4.6. Model He-Torrance'a-Silliona-Greenberga, (model HTSG).		64
5.4.7. Porównanie właściwości wybranych modeli.	. . .	65
5.5 Przenikanie a załamanie światła. BRDF, BTDF, BSSRDF, BSDF.	. . .	65
5.6 Inne metody opisu odbicia światła	. ..	66
5.7 Literatura	. . .	67

Rozdział 6.

Metody przyspieszania śledzenia promieni	. . .	71
6.1 Metody redukcji liczby promieni.	. . .	72
6.2 Metody redukcji obliczeń związanych ze śledzeniem pojedynczego promienia	. . .	73
6.3 Zmniejszenie liczby testów	. . .	74
6.3.1 Hierarchia brył otaczających	. . .	74
6.3.2. Podział przestrzeni	. . .	76
6.4 Zmniejszenie kosztów wyznaczania cieni	. . .	78
6.5 Promienie uogólnione	. . .	79
6.6 Przetwarzanie równoległe i metody sprzętowe	. . .	79
6.7 Literatura	. . .	80

Rozdział 7.

Problem oświetlenia globalnego	. . .	82
7.1 Ogólne równanie renderingu Kajyia	. . .	82
7.2 Typy odbić wzajemnych i notacja Heckberta	. . .	84
7.3 Problem rzeczywistego źródła światła	. . .	85
7.4 Rozwiązania zadania oświetlenia globalnego	. . .	87
7.5 Problem cienia. Umbra, penumbra	. . .	88
7.6 Literatura	. . .	89



Rozdział 8.

Całkowanie Monte Carlo w śledzeniu promieni	91
8.1 Całkowanie Monte Carlo	91
8.2 Wariancja i szacowanie błędu estymacji	92
8.3 Generowanie próbek	93
8.3.1 Metoda funkcji odwrotnej do dystrybuanty	94
8.3.2 Metoda eliminacji próbek (niepasujących)	96
8.4 Poprawa efektywności	97
8.5 Literatura	98

Rozdział 9.

Śledzenie stochastyczne	99
9.1. Śledzenie promieni jako próbkowanie	99
9.2. Próbkowanie piksela	101
9.3. Śledzenie ścieżek i śledzenie dwukierunkowe	102
9.4. Rosyjska ruletka	103
9.5. Próbkowanie Metropolis	104
9.6. Monte Carlo a Quasi Monte Carlo	105
9.7. Literatura	106

Rozdział 10.

Mapowanie fotonowe	108
10.1. Mapowanie fotonowe – idea metody	109
10.2. Interakcja fotonu z powierzchnią obiektu sceny	109
10.3. Rozkład fotonów na powierzchni, kaustyki	111
10.4. Przechowywanie fotonów	113
10.5. Literatura	114

Rozdział 11.

Wirtualna kamera	116
11.1. Śledzenie promieni a rzutowanie	116
11.2. Rodzaje i właściwości rzutowania	116
11.3. Układy współrzędnych związane z rzutowaniem	119
11.4. Ostrosłup widzenia	120
11.5. Wirtualna kamera	123
11.6. Literatura	125

Rozdział 12.

Śledzenie promieni a metoda bilansu energetycznego	126
12.1. Wprowadzenie	126



12.2.	Idea metody bilansu energetycznego.	.	.	.	127
12.3.	Równanie bilansu energetycznego	.	.	.	128
12.4.	Współczynnik sprzężenia	.	.	.	129
12.5.	Rozwiązanie równania bilansu energetycznego	.	.	.	129
12.6.	Śledzenie promieni a metoda energetyczna – porównanie metod	.	.	.	130
12.7.	Metody hybrydowe.	.	.	.	131
12.8.	Literatura	.	.	.	132

Dodatek A1

Elementy algebry liniowej i operacje macierzowe w grafice komputerowej					
		.	.	.	133
D1.1	Współrzędne jednorodne i operacje macierzowe	.	.	.	133
D1.2	Kwaterniony i realizacja obrotów w grafice komputerowej	.	.	.	140
D1.3	Opis macierzowy rzutowania	.	.	.	141