PHOTON TRACING

Václav HOŠEK, Bachelor Degree Programme (3)
Dept. of Computer Graphics and Multimedia, FIT
E-mail: xhosek04@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Ing. Adam Herout

ABSTRACT

In computer graphics, photon mapping is a global illumination algorithm based on ray tracing used to realistically simulate the interaction of light with different objects. Specifically, it is capable of simulating the refraction of light through a transparent substance, such as glass or water, diffuse interreflections between illuminated objects, and some of the effects caused by particulate matter such as smoke or water vapor. It was developed by Henrik Wann Jensen

1 ÚVOD

Photon Tracing je metoda realistického zobrazování scén. Je alternativou k metodě radiozity a čistého Monte Carlo ray tracingu. Jako první ji implementoval Henrik Wann Jensenen.

Hlavní výhoda této metody je, že se jedná o globální zobrazování scén. Umožňuje efektivně využívat všechny typy BRDF(metoda řeší přímé i nepřímé osvětlení, míchání barev, odrazy, lomy, zrcadla a kaustiky, což je světlo vzniklé průchodem průhledným objektem). Další velkou výhodou je rychlost metody, je mnohem rychlejší než radiozita. Vygenerování jednoduché scény zabere jen několik minut.

Mezi nevýhody metody patří jemná ztráta věrnosti obrazu, scéna je jakoby mírně rozmazaná. Tato nevýhoda se dá dost úspěšně potlačit filtry a lepšími generátory čísel náhodného rozložení.

2 ROZBOR

Jedná se o dvouprůchodovou metodu, kdy v prvním průchodu jsou ze všech zdrojů světel ve scéně vystřelovány fotony. Tyto fotony putují scénou, odráží se, lámou se, ztrácí energii, pohlcují se. Pohlcené fotony jsou ukládány do fotonové mapy. Ta je využívána při druhém průchodu. Druhá část photon tracingu se hodně podobá klasickému ray tracingu. Vrhají se paprsky z oka přes projekční rovinu do scény. Při výpočtu výsledné barvy se započítají informace z fotonové mapy.

U každé metody zobrazování scén je nutné mít matematicko–fyzikální popis. Tato metoda se drží zobrazovací rovnice. Zahrnuje rovnováhu přenosu světla ve scéně a lze ji použít pro výpočet osvětlení v libovolném bodě scény. Výstupní jas L v bodě x ve směru *w* je dán vztahem

$$L(x,w) = L_e(x,w) + L_r(x,w)$$

kde L_e je světlo vyzářené a L_r je světlo odražené od všech ostatních těles. Pokud do rovnice dáme informaci z fotonové mapy dostáváme:

$$L_r(x,w) \approx \frac{1}{\pi r^2} \sum_{1}^{N} fr(x,w',w)\Delta\Phi_p(x,w_p)$$

fr je funkce BRDF popisující materiál, delta je energie fotonu ve směru w, N je počet všech fotonů v odhadu koule.

Tento vztah však způsobuje jisté problémy v rozích stěn, kde okolo bodu *x* není čistě rovná plocha pr^2, nebo na krajích volných ploch, kde obsah je menší než pr^2.

3 IMPLEMENTACE

Při vlastní implementaci jsem se držel Jensenova návrhu. Proton tracing jsem napsal v C/C++, pro načtení scény se využívá xml souboru. Program běží na platformách linux/windows.

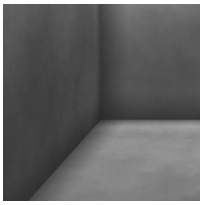
V první části algoritmu generuji fotony. Počítám průsečíky se scénou. To co se s fotonem stane při nárazu do objektu mi řeší metoda Monte Carlo, rozhodne se jen pomocí vlastností materiálu. Na zrcadlech jsou fotony odraženy podle zákona odrazu. Na průhledném povrchu je foton lámán. Při kolizi s difusním materiálem je foton pohlcen a vyzářen s menší energií. Toto zajišťuje color blending (míchání barev).

Před druhou částí je nutné optimalizovat fotonovou mapu pro rychlé vyhledávaní. Fotonová mapa obsahuje několik stovek tisíc fotonů, je tedy jasné, že na kvalitě uspořádání mapy závisí rychlost celého algoritmu. Pro fotonovou mapu se hodně často používá KD-Strom. Jedná se o modifikovaný binární vyhledávací strom. Data v něm jsou však body v prostoru(tři dimenze). Při operacích se stromem je nutné toto brát v úvahu. Složitost KD-stromu je logaritmická.

Druhá část, rendering, je hodně podobná ray tracingu. Výsledná barva pixelu, se počítá pomocí Phonga. Ale difusní osvětlení je spočítáno z fotonové mapy. Pro každý bod je zjištěno kolik je v jeho okolí fotonů a z toho je následně vyřešeno osvětlení. Lom a odraz se řeší jako u ray tracingu.

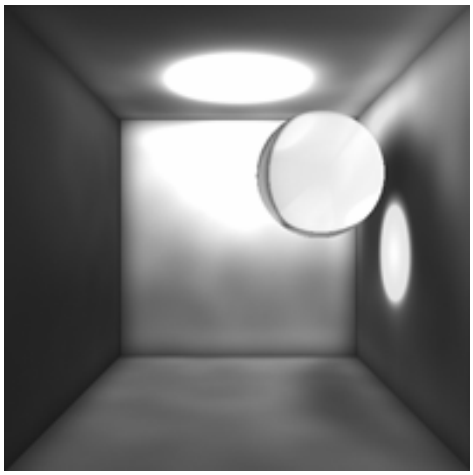
Při výpočtu difusního osvětlení vzniká problém v rozích scény, kde se potkává více objektů. Do okolí bodu, pro který je osvětlení počítáno, jsou zahrnuty i fotony, které patří jinému objektu. Tato skutečnost způsobí vyšší osvětlení v rozích scény.

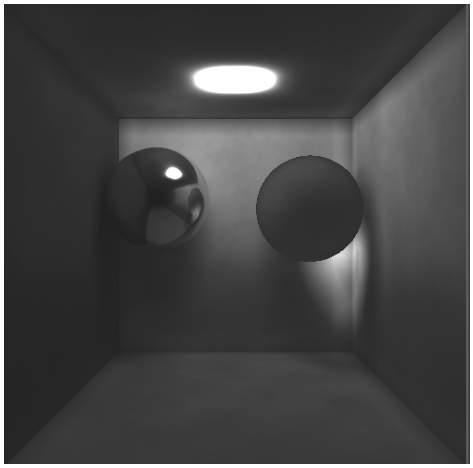
Problém jsem odstranil váhováním a vyloučením fotonů. Bližším fotonům je přiřazena větší váha než fotonům vzdáleným. Pro určení zda foton patří do objektu či ne, používám normály. Každý foton v sobě nese informaci o normále objektu, na který dopadl.



Obr. 1: *a)bez filtru* *b) váhování a vyloučení nežádoucích fotonů*

4 VÝSLEDKY





Obr. 2: *a)lom, kaustika, měkký stín* *b) odraz, lom slabá kaustika, měkké stíny*

5 ZÁVĚR

Metoda poměrně úspěšně generuje globální osvětlení scén. V budoucnu bych ji chtěl rozšířit o kaustikovou fotonovou mapu, která kaustiky více zaostří. Zobrazení scén na Pentiu 2.4 GHz, 512Mb RAM zabere 10-15 min. Tento důležitý časový faktor by chtělo snížit (pomocí ASM,SSE).

PODĚKOVÁNÍ

Ing. Adam Herout, Ph.D., vedoucímu projektu za odborné konzultace.
Lukaš Jezný, za konzultace při řešení problémů v globálním osvětlovacím modelu.

LITERATURA

[1] Tuháček J., Fotorealistická vizuální technika sledování fotonů, 2003, diplomová práce ČVUT, http://www.cgg.cvut.cz/publications/diplom/TuhacekJiri

[2] Per H. Christensen Pixar, Henrik Wann Jensen Stanford University A Practical Guide to Global Ilumination using Photon Mapping, http://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall02/cs526/papers/course43sig02.pdf