BI-DIRECTIONAL PATH TRACING

Lukáš JEZNÝ, Bachelor Degree Programme (3)
Dept. of Computer Graphics, FIT, BUT
E-mail: xjezny00@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Ing. Adam Herout

ABSTRACT

Path tracing is a technique by James Kajiya when he presented his paper on the Rendering Equation in the 1980s. The main goal of path tracing is to fully solve the rendering equation. A form of ray tracing whereby each ray is recursively traced along a path until it reaches a light emitting source where the light contribution long the path is calculated. This recursive tracing helps for solving the lighting equation more accurately than conventional ray tracing. A variation of this algorithm is to trace rays in the opposite direction, from light sources to the camera, this is called light tracing. Furthermore these two algorithms can be combined to enhance the image results and which is called bi-directional path tracing.

1 ÚVOD

Path Tracing je jedna z metod realistického zobrazování založených na sledování paprsku. Na rozdíl od deterministického ray tracingu je path tracing založen na výpočtu integrálu zobrazovací rovnice. K výpočtu rovnice se obvykle používá odhad založený na Monte Carlo integraci.

2 ROZBOR

Zobrazovací rovnice je fundamentální vztah pro všechny metody globálního osvětlování. 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 zahrnem vlastnosti materiálu, dostáváme následující vztah,

$$L(x,w) = L_e + \int_{\Omega} f(x,w,w')V(x,x')L_i(x,w')(w' \bullet n)dw'$$

kde *f* popisuje vlastnost materiálu v bodě x mezi směry *w* a *w´* (např. BRDF), V je viditelnostní funkce, který nabývá hodnot 0,1 v závislosti na viditelnosti bodů x a x´, L_i je příchozí světlo ze směru w´. L_r je pak integrál přes všechny příchozí směry.

Světlo se při průchodu scénou několikrát odráží, proto musíme rovnici přepsat do rekursivního vztahu $L=L_e+TL$. Tranzitivím uzávěrem této rekursivní rovnice dostáváme Neumannovu řadu.

$$L = L_e + TL_e + T^2 L_e \ldots = \sum_{m=0}^{\infty} T^m L_e$$

Neumannova řada v přirozené výkladu říká, že výsledné světlo se skládá z přímého osvětlení a z osvětlení z prvního, druhého, třetího, … odrazu (tzv. nepřímé osvětlení).

3 PATH TRACING

Pro implementaci složitého integrálu zobrazovací rovnice se používá numerického odhadu pomocí metody Monte Carlo. Integrál všech směrů se nahradí pouze několika vzorky, u nichž se pak provede vážený součet jejich příspěvků. Všechny cesty dle Neumannovy řady také nahradíme pouze součtem cest délek 1 až n. Výsledný návrh algoritmu pro obousměrný path tracing může vypadat následovně:

Pro každý pixel projekční roviny

- Pro počet vzorků na pixel
  - Generuj náhodně cestu od světla délky L
  - Generuj náhodně cestu od kamery délky E
  - Vytvoř cesty délky 1 až L+E, zkombinováním cest od světla a kamery
  - Vypočti přínos světla z těchto cest
- Vypočti vážený součet všech vzorků pixelu projekční roviny

3.1 POZNÁMKY K IMPLEMENTACI

Při návrhu Path-traceru jsem vycházel z výše uvedeného algoritmu. Při výběru programovacího jazyka byl kladen důraz na rychlost. Proto byl zvolen jazyk C++.

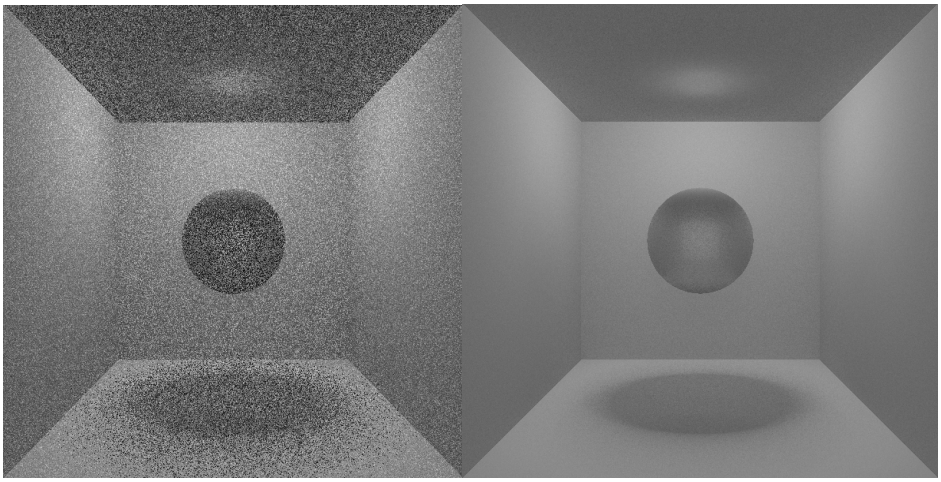
Jako základní geometrická primitiva scény byly použity koule a roviny. Jednou z nejzatíženějších částí při path tracingu je výpočet průsečíku paprsku s tělesem. Zatím není prováděna žádná optimalizace, ale do budoucna se chystá pro výpočty využít vkládaný assembler a instrukce SSE.

Nejproblematičtější partií při Path tracingu je generování náhodných paprsků. Pokud jsou v scéně použity pouze difúzní povrchy, u kterých je pravděpodobnost odrazu ve všech směrech stejná, stačí generovat paprsky s rovnoměrným rozložením. Vše funguje bez problému. Ovšem pokud se ve scéně vyskytují silně odrazivé materiály (zrcadla apod.), nelze použít k výběru paprsku generátory rovnoměrných rozložení. Nejdříve jsem používal stejné generátory pro difúzní i odrazové materiály, ale odrazivé materiály měly černou barvu a velmi málo bodů na objektu mělo správnou barvu. To bylo způsobeno malým počtem správně odražených paprsků. Proto pokud paprsek narazí na silně vyleštěný povrch, je odraz volen podle Gaussova rozložení se středem v přesném odrazu. Touto volbou se velmi potlačil šum na objektech z lesklých materiálů. Ovšem při vzorkování podle jiného než rovnoměrného rozložení je paprsky třeba váhovat podle daného rozložení.

Pro urychlení výpočtu bylo použito předpočítávání přenosu energie (dle BRDF) při generování cesty od světla a cesty od kamery. Při spojení cest je hodnota přenosu energie přepočtena pouze v místě spojení cest.

4 VÝSLEDKY

Hlavním problémem metody path tracing je šum v obraze, který vzniká generováním „špatných“ cest. Pokud použijeme málo vzorků na pixel, často dochází k tomu, že pro odhad integrálu se použijí špatné cesty, ale například u vedlejšího pixelu se použijí přínosnější cesty. Takto vzniká téměř neodstranitelný šum. Metody k potlačení tohoto šumu jsou například volba odražených paprsků při generování cest v závislosti na vlastnosti materiálu (viz. kap. 3.1) nebo prosté zvětšení počtu vzorků na pixel. Druhá, jednodušší možnost vede ovšem k velké časové náročnosti. V porovnání s klasický raytracingem roste u path tracingu časová náročnost lineárně s počtem vzorků na pixel.



Obr. 1: *a) 1 vzorek na pixel, b) 100 vzorků na pixel*

U předchozích obrázků lze dobře pozorovat hlavní přednost path tracingu, což je nepřímé osvětlení, které lze pozorovat ve stínu vrženém koulí (měkké stíny). Ovšem lze také pozorovat šum, který je patrný i když vytváříme odhad 100x pro jeden pixel.

PODĚKOVÁNÍ

Ing. Adam Herout, Ph.D., vedoucímu projektu za odborné konzultace

Václav Hošek, za pomoc při řešení dílčích problémů.

LITERATURA

[1] Tuháček J., Fotorealistická vizuální technika sledování fotonů, 2003

[2] http://en.wikipedia.org , Path Tracing