

Poznámky z předmětu NPGR010

Počítačová grafika III

Irradiance Cache

19.12.2011

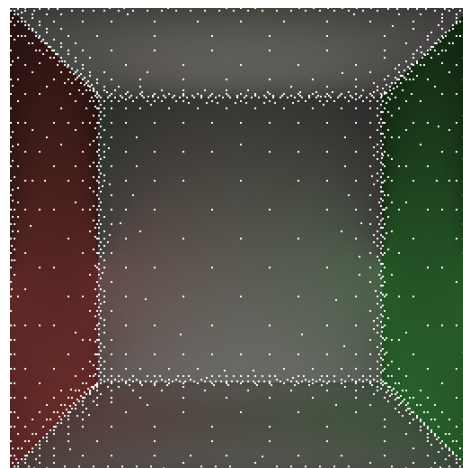
Úvod

V této přednášce se budeme zabývat zejména zlepšením efektivity výpočtu. Jendou z oblastí, kde lze částečně ušetřit je výpočet difuzního nepřímého osvětlení. Doposud jsme v *Monte Carlo* metodách počítali osvětlení pro každý bod scény, na který jsme při průchodu metodou *Path Tracing* narazili. Jako příklad uvedu *Final Gathering* u *Photon Mapping* technik, který je ze své podstaty enormně pomalý.



Irradiance Caching

Pokud budeme vycházet z předpokladu, že se barva difuzní roviny mění pozvolna a plynule, dojdeme k závěru, že není třeba výpočtu osvětlení této plochy pro každý bod, ale namísto toho lze v mnoha případech osvětlení aproximovat. Skokové změny nepřímého osvětlení difuzních ploch se nachází prakticky výhradně v místech, kde se mění geometrie. Bude tedy naším úkolem tyto geometrie identifikovat. Snahou je nepočítat osvětlení pro každý bod zvlášť, nýbrž jen pro několik vhodně zvolených bodů a ve zbytku scény pak z těchto bodů interpolovat.

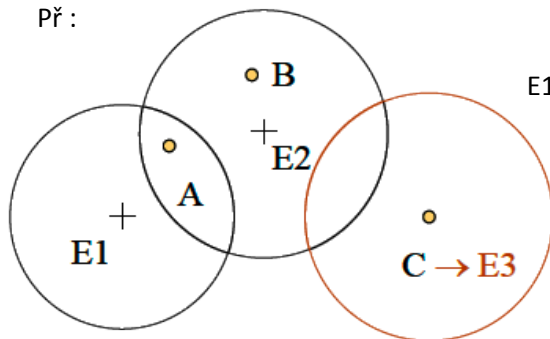


Algoritmus

K výpočtu irradiance cache se používá líné vyhodnocení. Tj. pokud chci spočítat osvětlení nějakého bodu:

- Podívám se do irradiance cache
 - Poté buď interpoluji z hodnot nalezených v cache,
 - nebo počítám novou hodnotu, kterou následně do irradiance cache uložím.

Př :



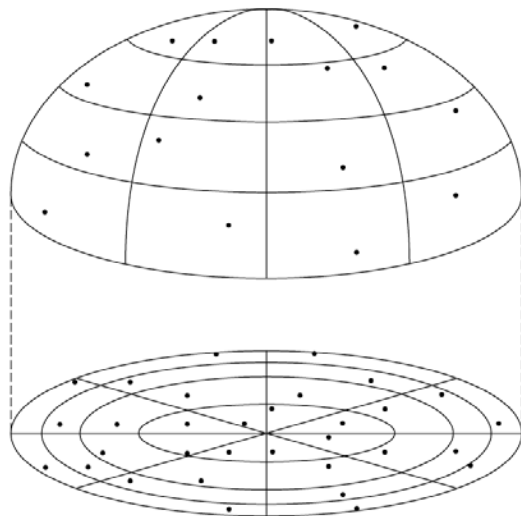
E1, E2 jsou záznamy v irradiance cache, každý se svým poloměrem platnosti,
A – lze interpolovat z E1 a E2,
B – z E2,
C – je třeba spočítat a uložit do cache

Vyhodnocení nového záznamu do cache :

Irradianci v místech kde nemůžu interpolovat ze záznamů v cache, spočtu vrháním sekundárních paprsků (500-5000). Při vyhodnocení sekundárních paprsků:

1. Vyhodnocuji přímé osvětlení pouze
2. *Path Tracingem* pokračuji dál
3. *Photon Mapping*
4. Dotazy do předchozí irradiance cache (zle mít pro každou úroveň rekurze jinou cache)
 - Z příchozí radiance vyhodnotím irradianci.
 - Povrch musí být difuzní

Pro vrhání sekundárních paprsků se typicky používá *Monte Carlo* se stratifikací (jitterring) podle θ a ϕ . Viz obr.



Irradianci pak spočteme dle známého :

$$E(\mathbf{p}) = \int L_i(\mathbf{p}, \omega_i) \cos \theta_i d\omega_i$$

Forma *Monte Carlo* estimátoru :

$$E(\mathbf{p}) \approx \frac{1}{MN} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{f(\theta_{j,k}, \phi_{j,k})}{p(\theta_{j,k}, \phi_{j,k})}$$

Kde sčítám podle ϕ a θ integrál dělím hustotou pravděpodobnosti.

Integrand :

$$f(\theta, \phi) = L(\theta, \phi) \cos \theta$$




$$p(\theta, \phi) = \frac{\cos \theta}{\pi}$$

po dosazení tedy :


$$E(\mathbf{p}) \approx \frac{\pi}{MN} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} L_{j,k}$$

(pozn. ~~Pro použití Multiple Importance Sampling je třeba vážit $\cos \phi$.~~)

Adaptivní odhad poloměru platnosti R_i

Tam kde se gradient irradiance mění pomalu, stačí malá hustota vzorků. Hustotu lze tedy odhadovat adaptivně dle přítomnosti geometrie  ve scéně. Při určování poloměru platnosti se používá např. průměr délky všech sekundárních paprsků (lze použít také minimum, ale pak je třeba vynechat paprsky s velkým úhlem od normály). Tímto způsobem lze efektivně omezit poloměr platnosti v místech konvexní geometrie. Dalším způsobem, jak detekovat přítomnost geometrie je porovnávání normál. Těmito dvěma technikami lze detekovat geometrii ve většině případů. Snad jedinou výjimkou je protipříklad, ke kterému se vrátíme níže.

Pro interpolaci ze vzorků v cache tak použijeme následující formuli :

$$E(\mathbf{p}) = \frac{\sum_{i \in S(\mathbf{p})} E_i(\mathbf{p}) w_i(\mathbf{p})}{\sum_{i \in S(\mathbf{p})} w_i(\mathbf{p})} $$

Kterou sčítáme příspěvky záznamů v irradiance cache přes všechny nenulové váhy. Pro určení vah pak máme následující předpis:

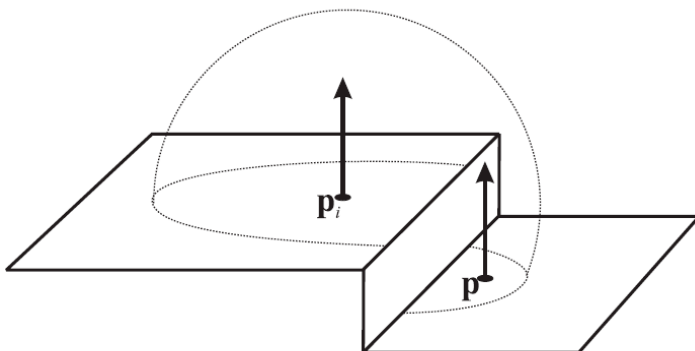
$$w_i(\mathbf{p}) = 1 - \kappa \max \left\{ \frac{\|\mathbf{p} - \mathbf{p}_i\|}{\text{clamp}(2R_i, R_{\min}, R_{\max})}, \frac{\sqrt{1 - \mathbf{n} \cdot \mathbf{n}_i}}{\sqrt{1 - \cos 10^\circ}} \right\}$$

Kde κ je váha, R_i je průměr délek vržených sekundárních paprsků (poloměr platnosti), R_{\min} je minimální poloměr (typicky se nastavuje na velikost pixelu), R_{\max} je maximální poloměr (Př. $20 \times R_{\min}$) a výraz $1 - \mathbf{n} \cdot \mathbf{n}_i$ dává odklon od normály (detekce geometrie).

Jediný problematický případ, který může nastat a musí se ošetřit zvlášť, znázorňuje schéma vpravo.



Pro tyto případy je třeba explicitně testovat viditelnost mezi body.



Pozn. Aby se při výpočtu hodnot irradiance cache nevyskytovaly nepravidelnosti, nepostupujeme při výpočtu po řádkách, nýbrž hierarchicky od rohů půlení. Tímto způsobem zaručíme mnohem pravidelnější rozmístění vzorků cache ve scéně.

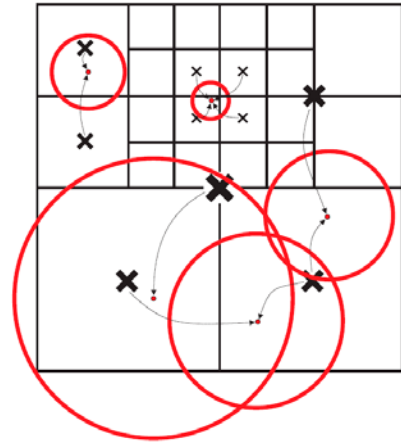
Datová struktura irradiance cache

Datová struktura irradiance cache musí být vhodná pro inkrementální přidávání záznamů a pro rychlé vyhledání překrytu k danému bodu v prostoru pro zadaný bod.

Záznam irradiance cache by měl obsahovat :

- pozici
- normálu
- poloměr platnosti
- hodnotu irradiance a
- gradienty vzhledem k posunutí a rotaci.

Nejvhodnější datovou strukturou splňující tyto požadavky se ukázal být **Octree**. Do každého uzlu stromu ukládám všechny koule, které tento pronikají. Vzniká tak vysoká redundance záznamů, která pomáhá rychlejšímu vyhodnocení dotazu. Přitom větší koule ukládám ve vyšších patrech, menší v nižších (řádově srovnatelné s velikostí uzlu). Při vyhledávání pak procházíme stromem od kořene do uzlu, kde se zadaný bod nachází a po cestě sbíráme v každém uzlu, který navštívíme, informace o potenciálně proniknutých koulích. Průniky zadaného bodu s nalezenými koulemi vyhodnocujeme, u pozitivních nálezů kontrolujeme normály, ~~testujeme viditelnost~~, atd...



Gradients jsou v irradiance cache obsaženy z důvodu problémů s plynule se měnícími gradienty irradiance (př. oblé plochy). Gradient vůči posunutí určuje změnu irradiance v jednotlivých směrech v souřadném systému normály, gradient vůči rotaci určuje změnu irradiance ve směrech rotace podle jednotlivých os otáčení v souřadném systému normály. Tyto hodnoty odhadujeme z hodnot příchozích radiancí při vzorkování hemisféry. Při interpolaci se pak používají ve formě Taylorova rozvoje 1. řádu. (Details implementace viz materiály k přednášce)

Závěrem

Zajímavou aplikací *Irradiance Cache* je například metoda *Ambient Occlusion*, která se snaží odhadnout míru zastínění geometrie samu sebou.

Mějme na paměti, že metoda *Irradiance Cache* je metoda **nekonzistentní** a **vychýlená** (biased). Přesto ale dává velmi uvěřitelné výsledky v mnohem rozumnějším čase v porovnání s ostatními přístupy.