

## Poznámky z předmětu NPGR010

### Počítačová grafika III

#### Irradiance Cache

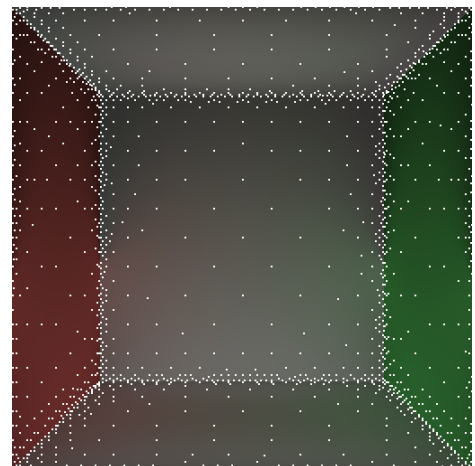
19.12.2011

#### 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. Metoda *Final Gathering* funguje na principu vrhání mnoha (500-5000) sekundárních paprsků, které na místě dopadu sbírají informace z fotonové mapy. Pomocí těchto sekundárních paprsků je pak počítáno difuzní osvětlení pro daný bod ve scéně. Protože se tento postup opakuje pro každý vržený paprsek do scény, je tento postup výpočetně náročný. Optimalizací takovéto situace se budeme zabývat v dnešní lekci.

#### 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



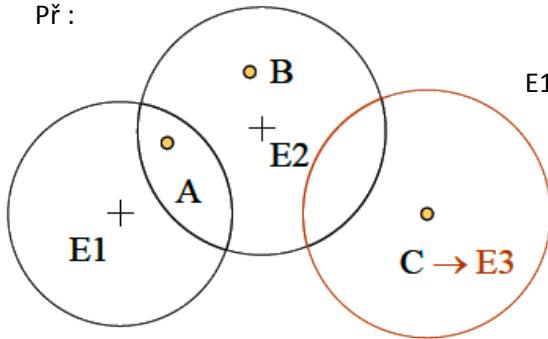
výhradně v místech, kde se mění geometrie. Bude tedy naším úkolem tyto geometrie identifikovat. Snahou je nepočítat osvětlení pro každý bod zvlášť, nýbrž jen pro několik vhodně zvolených bodů a ve zbytku scény pak z těchto bodů interpolovat.

## 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 :



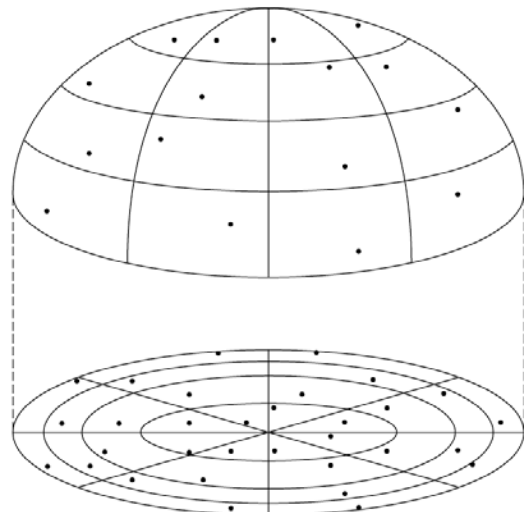
E1, E2 jsou záznamy v irradiance cache, každý se svým poloměrem platnosti,  
 A – lze interpolovat z E1 a E2,  
 B – z E2,  
 C – je třeba spočítat a uložit do cache

## Vyhodnocení nového záznamu do cache :

Irradianci v místech kde nelze interpolovat ze záznamů v cache, spočtu vrháním sekundárních paprsků (500-5000). Při vyhodnocení průniků sekundárních paprsků se scénou můžu volit jednu z následujících metod :

1. Vyhodnocuji přímé osvětlení pouze
2. *Path Tracingem* pokračuji dál
3. *Photon Mapping*
4. Dotazy do předchozí irradiance cache ( lze 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 (jittering) podle  $\theta$  a  $\phi$ . 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  $\phi$  a  $\theta$  integrál dělím hustotou pravděpodobnosti.

Integrand :

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

Hustota pravděpodobnosti :

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

po dosazení tedy :

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

## Adaptivní odhad poloměru platnosti $R_i$

Pokud se v typické scéně (tj. bez kaustik) snažíme spočítat nepřímé osvětlení pro daný bod, lze okolní geometrii, která je zdrojem tohoto osvětlení považovat za sekundární světelný zdroj. Z toho vycházejí, můžeme usuzovat na velikosti gradientu irradiance v počítaném bodě dle vzdálenosti okolní geometrie. Je tedy jasné, že za nepřítomnosti proximální okolní geometrie se bude irradiance na daném místě měnit jen velmi pomalu. A právě pro tyto případy nám stačí poměrně malá hustota vzorků irradiance s tím, že interpolované hodnoty mezi těmito vzorky budou vykazovat minimální odchylku od skutečné hodnoty. Hustotu vzorků lze tedy odhadovat adaptivně dle přítomnosti geometrie ve scéně. Vzdálenost od vzorku, ve které lze tento použít pro interpolaci nazveme poloměrem platnosti. 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 :

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

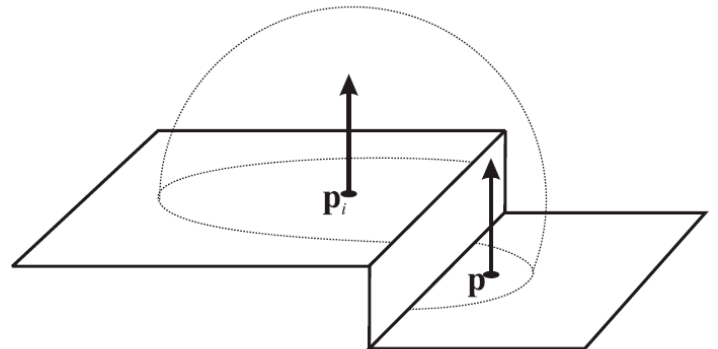
Kterou sčítáme pro daný bod  $\mathbf{p}$  ve scéně vážený průměr  $E(\mathbf{p})$  příspěvků záznamů v irradiance cache  $E_i(\mathbf{p})$  přes množinu  $S(\mathbf{p})$  všech vah  $w_i(\mathbf{p})$  nenulové hodnoty.

Pro určení jednotlivých 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  $\mathbf{p}$  je bod ve scéně, pro který osvětlení počítáme,  $\mathbf{p}_i$  je bod ze záznamu v cache,  $\kappa$  je uživatelsky nastavitelný parametr, který ovlivňuje přesnost interpolace (při malých hodnotách se blížíme aritmetickému průměru, při velkých má přítomnost geometrie větší vliv na interpolaci),  $R_i$  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.  $20 \times R_{min}$ ), výraz  $1 - \mathbf{n} \cdot \mathbf{n}_i$  dává odklon od normály (detekce geometrie) a faktor  $1 - \cos 10^\circ$  způsobí, že se pro odklon od normály větší než  $10^\circ$  nebude interpolovat.

Jediný problematický případ, který může nastat a musí se ošetřit zvlášť, znázorňuje schéma vpravo. V takovéto konfiguraci nastává situace, při níž se normály shodují a délka sekundárních paprsků vržených z bodu  $\mathbf{p}_i$  není ovlivněna přítomností geometrie, tudíž sahá poloměr platnosti až za hranu. Při výpočtu osvětlení v bodu  $\mathbf{p}$  se tedy neuváží přítomnost hrany.



Z tohoto důvodu je třeba tyto případy explicitně testovat na viditelnost mezi danými body.

V obráceném případě tento problém nenastane, neboť by se přítomnost hrany projevila na délce sekundárních paprsků a tedy i na poloměru platnosti.

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

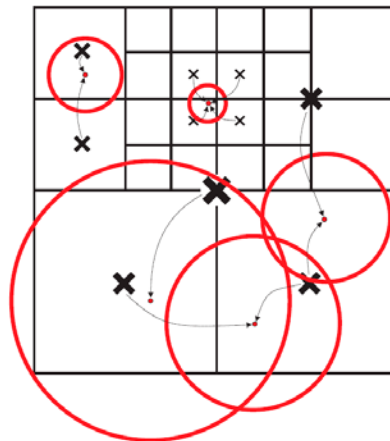
## Datová struktura irradiance cache

Datová struktura irradiance cache musí být vhodná pro inkrementální přidávání záznamů a pro rychlé vyhledání překrytu koulí v prostoru pro zadaný bod. Koulemi je zde reprezentována množina bodů v prostoru, pro něž má záznam nenulovou váhu.

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 koullemi vyhodnocujeme, u pozitivních nálezů kontrolujeme normály, atd...



Gradienty 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 přichozích radiancí při vzorkování hemisféry. Při interpolaci se pak používají ve formě Taylorova rozvoje 1. řádu. (Detaily 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.