

Základy počítačové grafiky

Radiozita

Jiří Havel

Michal Španěl

Ústav počítačové grafiky a multimédií

Fakulta informačních technologií

Vysoké učení technické v Brně

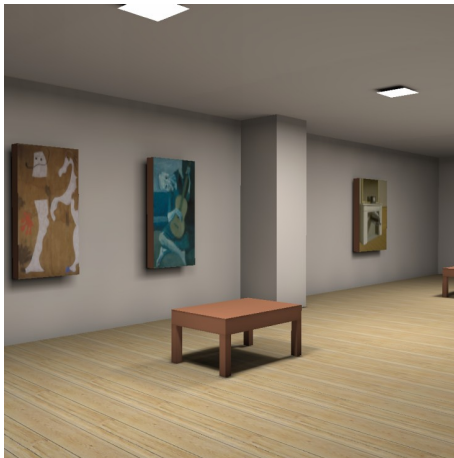
Brno 2013

Cíl

Cílem této přednášky je seznámit se s komplexní numerickou metodou řešení globálního osvětlení v uzavřené scéně - metodou Radiozita.

Opakování

Jakou metodou byla generována tato scéna? A proč?



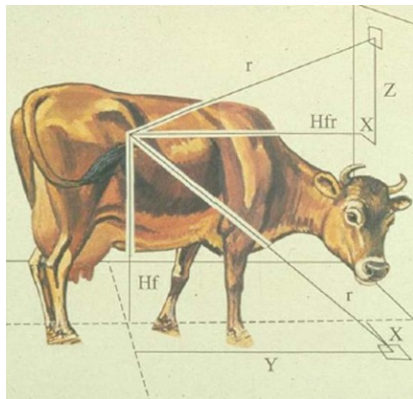
Přehled dosavadních metod

- Objektová metoda:
 - Typický zástupce - OpenGL, Direct3D
 - Explicitní řešení viditelnosti pomocí Z-buffer
 - Neřeší se žádné stíny a odrazy okolí na povrchu
 - Neřeší se žádné sekundární světlení
- Obrazová metoda:
 - Typický zástupce - Ray-tracing
 - Implicitní řešení viditelnosti
 - Automatické řešení stínů (ostré) a odrazů okolí na povrchu
 - Neřeší se žádné sekundární světlení
- Komplexní metoda:
 - Typický zástupce - Radiozita
 - Neřeší se zobrazení
 - Automatické stíny (měkké), odrazy podle metody zobrazení
 - Globální řešení světlení

Radiozita

Charakteristika

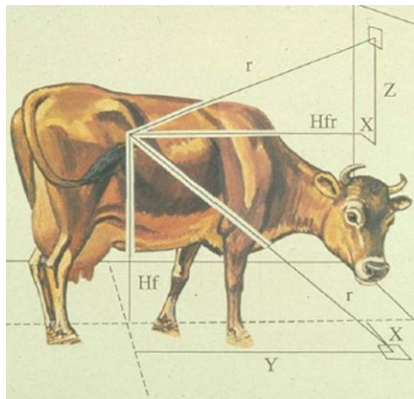
- Komplexní metoda
- Vychází se z výpočtů tepelného záření
- Goralová, Torrance, Greenberg (1984)
- Řešení rovnováhy světelné energie ve scéně
- Globální osvětlení scény, sekundární zdroje světla
- Nejedná se o zobrazovací metodu (postprocessing)



Radiozita

Předpoklady

- Zákon zachování energie
- Uzavřená scéna
- Nepočítá se s vlivem prostředí (vakuum)
- Neprůhledné objekty
- Pouze difuzní odrazy
- Pouze polygonální reprezentace scény
- Plošné zdroje světla (měkké stíny)
- Numerické řešení

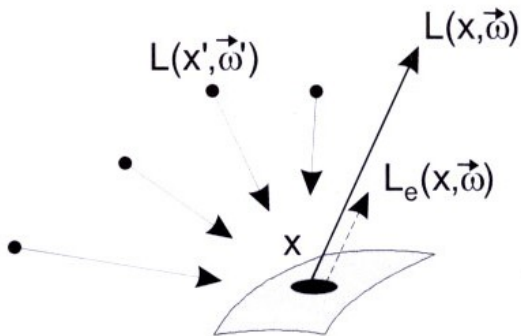


Diferenciální řešení radiozity



Rovnice radiozity

Na diferenciální úrovni řešíme vzájemný energetický vztah bodů (všech) ve scéně.



Rovnice radiozity

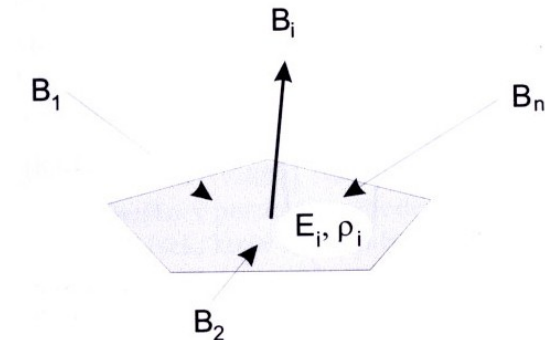
- Vychází z obecné dvousměrové distribuční funkce BRDF
- Plochy nejen odrážejí světlo, ale mohou mít i vlastní zářivost

$$L(x, \vec{\omega}) = L_e(x, \vec{\omega}) + \int_S f_r(x, \vec{\omega}, \vec{\omega}') L(x, \vec{\omega}') G_S(x, x') dx'$$

$L(x, \vec{\omega})$	- zářivost v bodě x , ve směru $\vec{\omega}$
$L_e(x, \vec{\omega})$	- vlastní zářivost v bodě x , ve směru $\vec{\omega}$
$f_r(x, \vec{\omega}, \vec{\omega}')$	- osvětlovací funkce, v x , ve směru $\vec{\omega}$, ze směru $\vec{\omega}'$
$L(x, \vec{\omega}')$	- dopadající světelná energie, v x , ze směru $\vec{\omega}'$
$G_S(x, x')$	- geometrická vazba bodů x a x'
S	- plochy scény

Rovnice radiozity - pouze difuze

Směrovost BRDF nám dělá při řešení problémy,
proto se omezíme pouze na difuzi.



Rovnice radiozity - pouze difuze

Směrově nezávislá rovnice radiozity uvažující pouze difuzi

$$B(x) = E(x) + \rho(x) \int_S B(x') G(x, x') dx'$$

$$B(x) = \pi L(x)$$

$$L(x) = L(x, \vec{\omega})$$

$$B(x')$$

$$\rho(x) = \pi f_r(x)$$

$$E(x) = \pi L_e(x, \vec{\omega})$$

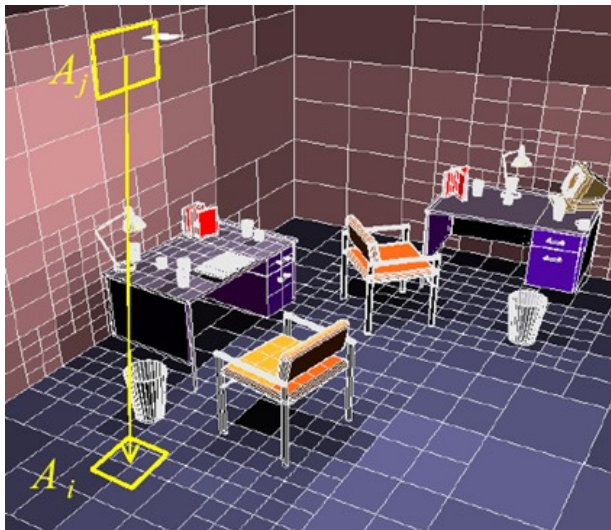
$$f_r(x)$$

$$G(x, x') = G_S(x, x')/\pi$$

$$S$$

- radiozita v bodě x
- směrově nezávislá difuzní zářivost v x
- radiozita v bodě x'
- difuzní odrazivost v bodě x'
- vlastní zářivost v bodě x
- směrově nezávislá osvětlovací funkce v x
- geometrická vazba bodů x a x'
- plochy scény

Diskrétní řešení rovnice radiozity



Diskrétní řešení rovnice radiozity

- Analytické řešení zobrazovací rovnice je pro obecné scény velmi obtížné nebo spíše nemožné
- Proto řešíme zobrazovací rovnici numericky, na úrovni polygonálních plošek

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_{j=1}^n B_j F_{ij}$$

- B_i - radiozita i-té plošky
- B_j - radiozita j-té plošky
- F_{ij} - konfigurační faktor mezi ploškami i a j
- E_i - vlastní zářivost i-té plošky
- ρ_i - difuzní odrazivost i-té plošky

Konfigurační faktory

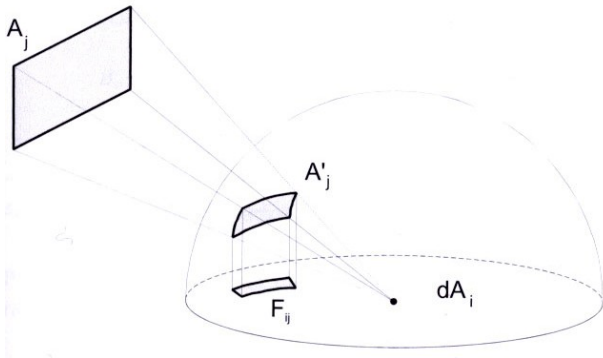
- Geometrická vazba bodů $G(x, x')$ ze zobrazovací rovnice je nahrazena konfiguračními faktory F_{ij} plošek
- F_{ij} určuje kolik energie může přijmou ploška i od plošky j
- F_{ij} je definován jako plošný průmět bodů obou plošek
- Analytické řešení F_{ij} je náročné, proto je řešíme numericky, prostřednictvím analogií

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} G(x_i, x_j) dx_i dx_j$$

$G(x_i, x_j)$ - geometrická vazba bodů x_i a x_j plošek
 A_i - plocha i -té plošky

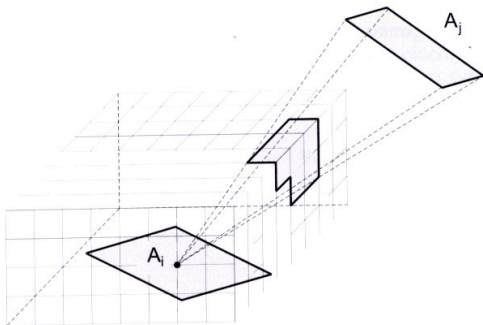
Nusseltova analogie

- Konfigurační faktor F_{ij} plošky A_i odpovídá ploše průmětu plošky A_j projekcí do roviny A_i přes jednotkovou polokouli okolo A_i
- Výpočet se provádí jen pro vzájemně viditelné plošky
- Funguje pro vzdálené plošky, výpočetně náročné



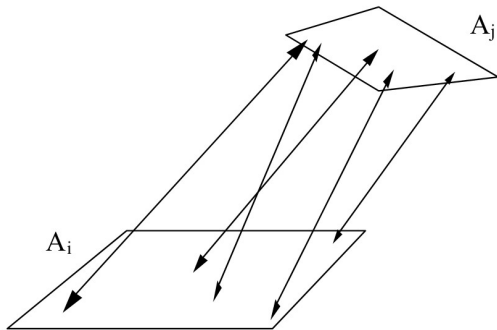
Promítání na polokrychli

- Polokoule z Nusseltovy analogii nahrazena diskretní polokrychlí
- Konfigurační faktor F_{ij} plošky A_i odpovídá počtu pixelů průmětu plošky A_j na diskretní polokrychli okolo A_i
- Výpočet se provádí jen pro vzájemně viditelné plošky
- Funguje pro vzdálené plošky, možnost vzniku aliasu



Pomocí ray-castingu

- Monte-Carlo řešení konfiguračních faktorů
- Náhodné vrhání paprsků z plošky A_i na plošku A_j . Konfigurační faktor F_{ij} odpovídá počtu úspěšných zásahů paprsku
- Současně řeší i vzájemnou viditelnost plošek

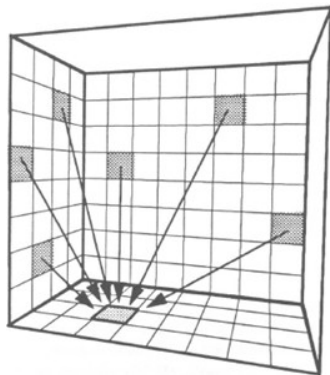


Maticové řešení radiozity

Charakteristika

- Rozepsání rovnice radiozity pro všechny plošky scény vede soustavu lineárních rovnic
- Řešením této soustavy získáme rovnováhu energie ve scéně
- Maticové řešení Gauss-Seidlovou nebo Jakobiho metodou
- Probíhá akumulace energie na ploškách

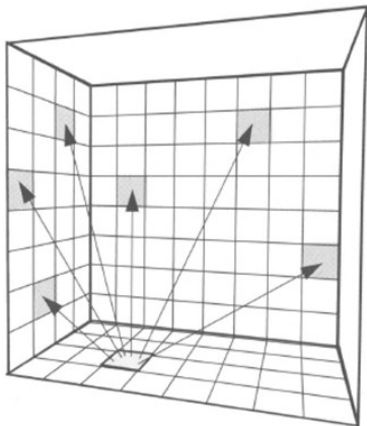
$$\begin{bmatrix} 1 - \rho_1 F_{11} & -\rho_1 F_{12} & \cdots & -\rho_1 F_{1n} \\ -\rho_2 F_{21} & 1 - \rho_2 F_{22} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ -\rho_n F_{n1} & \cdots & \cdots & 1 - \rho_n F_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{bmatrix}$$



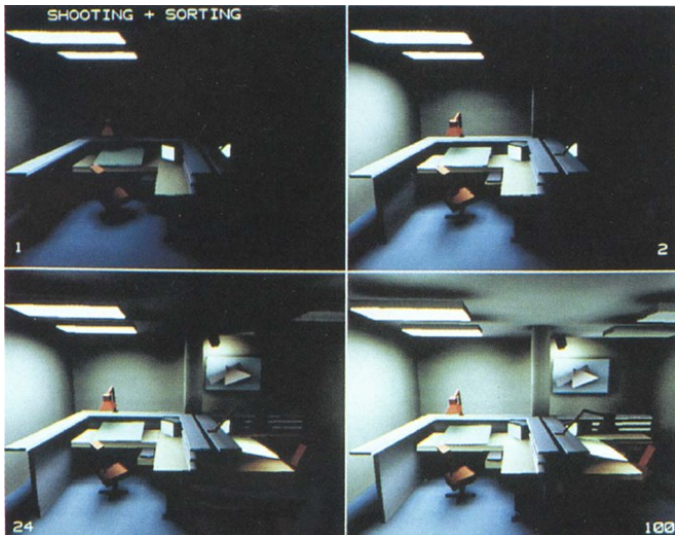
Progresivní řešení radiozity

Charakteristika

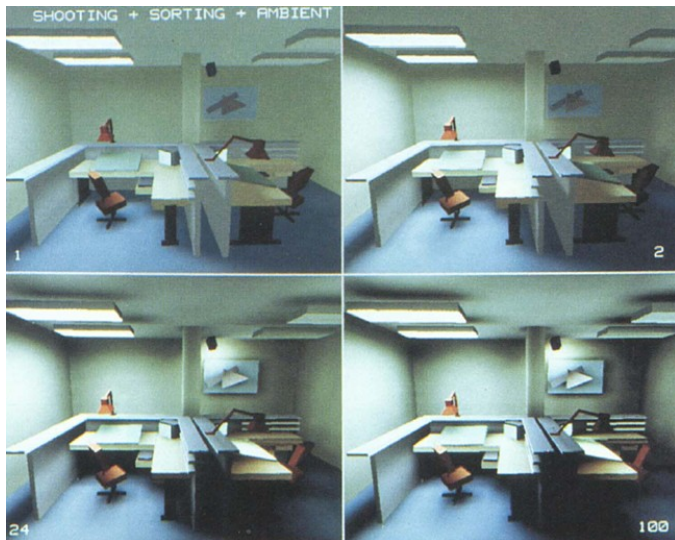
- Postupné vystřelování energie ze zdrojů do scény
- Ozářené plošky se v další iteraci stávají zdroji energie
- Rekurzivní opakování, dokud se předávaná energie neutlumí
- Odpovídá skutečnosti, že největší vliv mají plošky s největší energií
- Průběžné vznikání výsledků



Progresivní řešení radiozity, příklad I



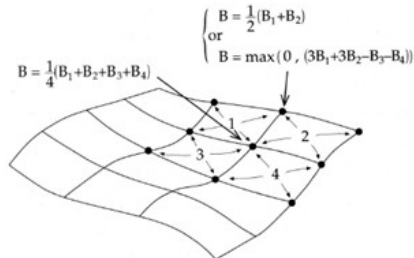
Progresivní řešení radiozity, příklad II



Zobrazení scény

Charakteristika

- Vypočtené hodnoty radiozity jsou bezrozměrné
- Jde o relativní poměry světelné energie ploch
- Hodnoty radiozity jsou vypočteny pro plochy.
- Musíme interpolovat na vrcholy nebo do textury
- Možnosti zobrazení scény:
 - Objektovou metodou,
 - Goraundovo stínování
 - Ray-tracingem



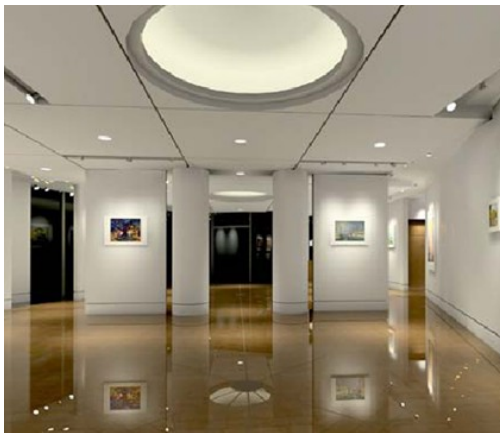
Zobrazení scény s Goraundovým stínováním

Hodnoty radiozity ploch scény se nemění se změnou kamery, proto můžeme scénu dynamicky procházet.



Zobrazení scény Ray-tracingem

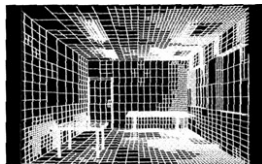
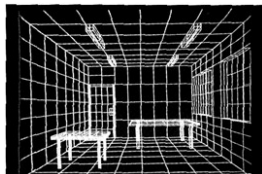
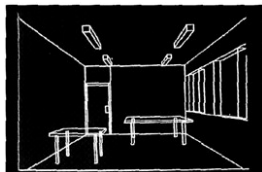
Vlastnosti Radiozity a Ray-tracingu se budou doplňovat, takže dosáhneme celkově vyšší kvality zobrazení.



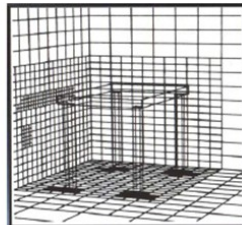
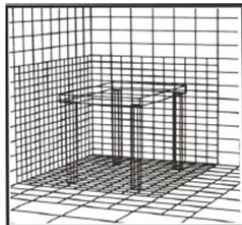
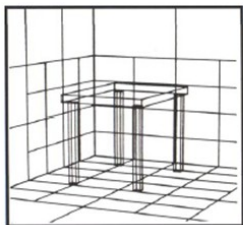
Adaptivní dělení scény

Charakteristika

- Kvalita řešení je úměrná velikostí plošek scény
- Mnoho malých plošek však zpomaluje řešení
- Jemné dělení má praktický význam v místech energetických gradientů
- Proto se v průběhu řešení iterativně provádí adaptivní dělení plošek scény v místech gradientů



Adaptivní dělení scény



Coarse patch solution
(145 patches)



Improved solution
(1021 subpatches)



Adaptive subdivision
(1306 subpatches)

Hierarchické řešení radiozity

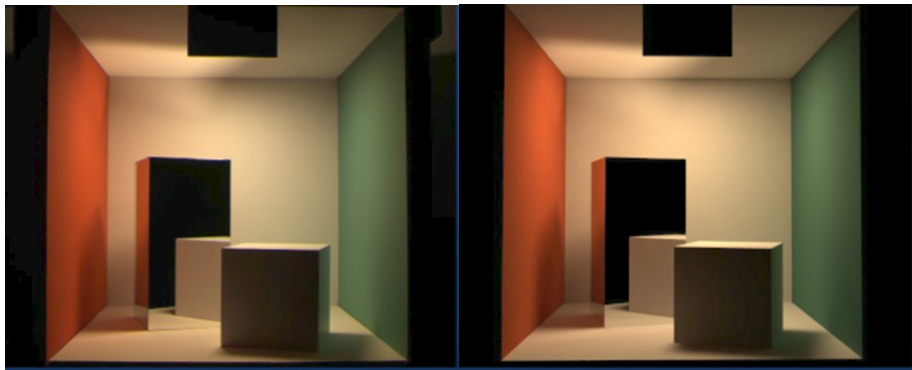
Charakteristika

- Zjednodušení výpočtů konfiguračních faktorů
- Tvorba hierarchie pro adaptivně dělené plochy
- Malé plošky mají zanedbatelný vliv na vzdálené plošky
- Několik malých plošek je pro větší vzdálenost nahrazena skupinovým konfiguračním faktorem
- Jednosměrné vazby mezi ploškami (malé, velké)



Zobrazení scény Ray-tracingem

Cornell box - možnost srovnání reality s výsledky Radiozity, pro odladění parametru osvětlení a materiálů.



Zobrazení scény Ray-tracingem

Difuzní scény, interiéry, simulace reálného osvětlení, výzkum atd.

