MFF UK
C G
G
Prague

Photon Mapping

© 2009-2010 Josef Pelikán, CGG MFF UK Praha

http://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/

Obsah přednášky

- princip zobrazování pomocí fotonových map
- jednotlivé fáze výpočtu
  - generování fotonů
  - průchod fotonů 3D scénou (Photon Scattering)
  - datová struktura fotonové mapy
  - odhad radiance
  - visualizace výsledků
- datové struktury pro fotonové mapy (Photon Maps)
- komplexní fotorealistický algoritmus
- efektivita (např. Irradiance Caching)
- objemové zobrazování (Participating Media)

Starší přístupy

- **radiosita** (konečné prvky)
  - artefakty diskretizace, obtížné složitější geometrie
  - neumí obecné BRDF
- nestranné **Monte-Carlo techniky** (Path-tracing)
  - korektní pro libovolné BRDF
  - libovolná geometrie scény
  - pomalu konvergují, rozptyl je vysokofrekvenční šum (těžko se odstraňuje, ani Metropolis někdy nestačí)
- kombinované techniky (radiosita + Monte-Carlo)
  - NF složka pořád vykazuje artefakty diskretizace

Základy Photon-mappingu

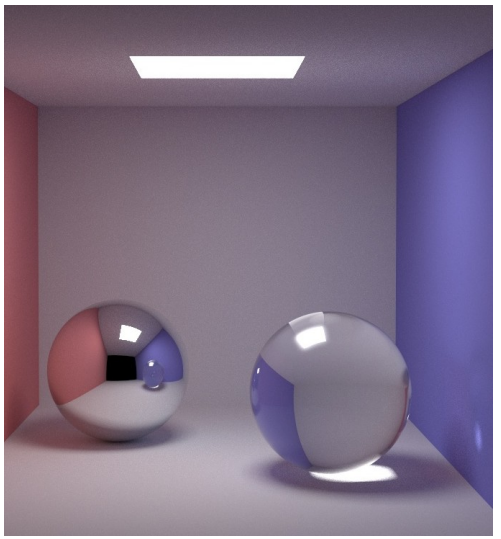
- založen na **vrhání paprsků**
  - libovolná **geometrie scény**
  - využití dlouho laděných **knihoven**, **urychlovacích technik**, apod.
- světlo se sleduje **zepředu** (od zdroje) i **zezadu** (od kamery)
  - kamera reprezentuje důležitost (potenciál)
  - světla jsou zdroje fotonů
- oddělení geometrie scény od reprezentace světla
  - umožňuje mít libovolně složitou 3D scénu
  - reprezentaci světla lze nezávisle optimalizovat

Fotonová mapa (Photon-map)

- datová struktura ukládající **dopady jednotlivých fotonů**
  - reprezentuje dobře i velmi variabilní funkci osvětlení
  - zcela oddělena od geometrie scény
  - úsporná reprezentace v paměti
- „cache cest světla obousměrného Path-tracingu“
  - odhad funkce osvětlení však nevykazuje VF šum
  - .. při stejné kvalitě je mnohem rychlejší než M-C techniky
- ztráta **nestrannosti** !
  - ale konzistentní (konverguje při zvětšování počtu fotonů)

Struktura algoritmu

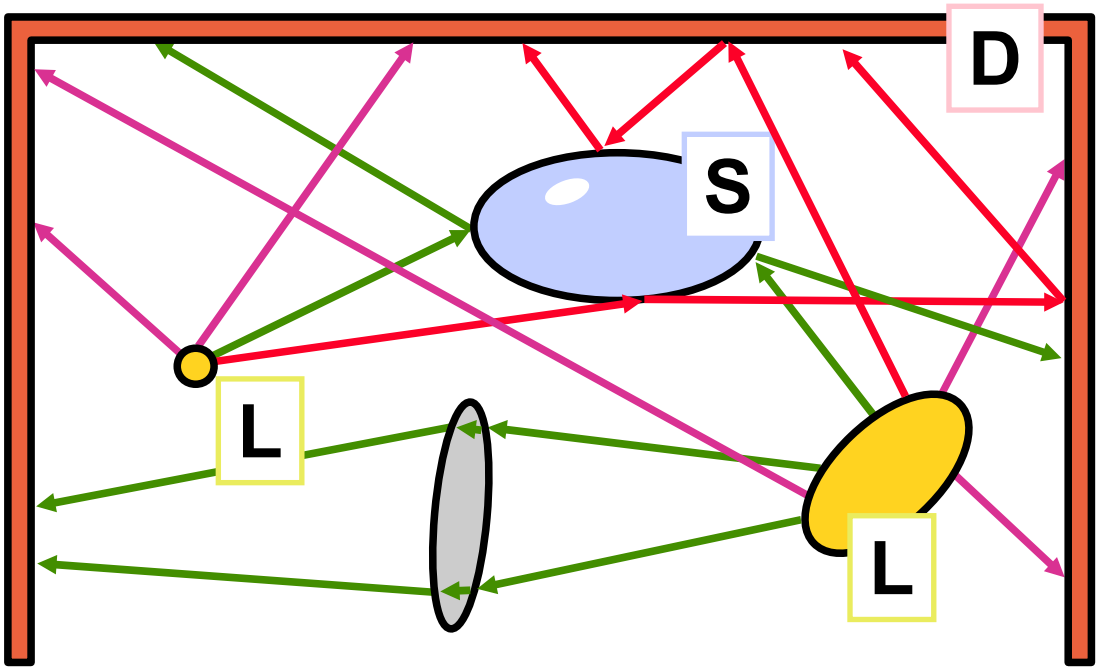
- Photon-tracing
  - fotony jsou generovány světelnými zdroji,
  - propagují se do scény (Monte-Carlo)
  - a ukládají se do fotonových map (globální pro pomalé změny a kaustická pro koncentraci světla)



- zobrazení (Rendering)
  - informace uložené ve fotonové mapě se používají k efektivnímu zobrazení scény
  - obyčejný Ray-tracing nebo
  - Monte-Carlo metoda (Path-tracing)

Photon-tracing

- **generování fotonů** světelnými zdroji,
- jejich **náhodný průchod scénou** a
- **ukládání do fotonové mapy**

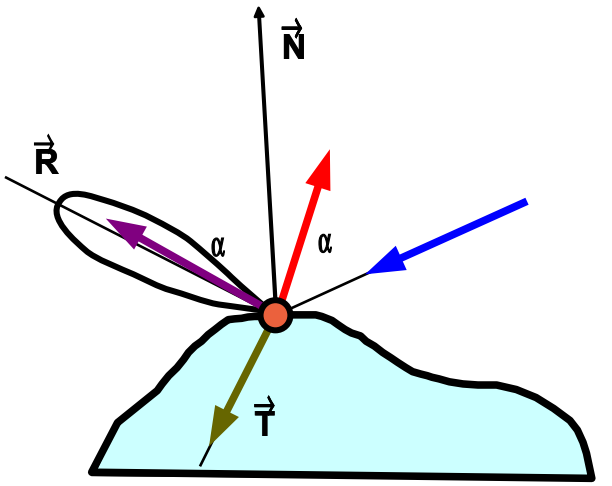


Generování fotonů

- nejvýhodnější přístup – každý foton nese **stejnou světelnou energii**
- **náhodné vzorkování** vyzařovacích funkcí světelných zdrojů
  - „rejection sampling“ pro obtížné distribuce
- **více světelných zdrojů..**
  - distribuce mezi nimi na základě jejich celkového výkonu
- **efektivní vzorkování**
  - předem připravené **projekční mapy** (viz akcelerace Ray-tracingu)

Průchod scénou (Photon Scattering)

- při odrazu nebo lomu by se mohla **měnit energie fotonů**
  - foton. mapa by pak obsahovala neekvivalentní záznamy
- zachování konstantní energie fotonu .. **Ruská ruleta**
  - foton se náhodně **šíří dál s původní energií** nebo **zcela zanikne**
  - **rozhodování** mezi:
    - 1. difusním odrazem (D)
    - 2. lesklým odrazem (S, S_M)
    - 3. lomem
    - na každém difusním povrchu: příspěvek do fotonové mapy



Datová struktura fotonové mapy

foton:

- **poloha** dopadu (float[3])
- **směr** dopadu (float[2] nebo komprese do int8[2])
- **energie** fotonu (RGB, spektrum nebo RGBE = int8[4])
- příznaky pro konstrukci stromu (např. „splitting plane“)

- fotonová mapa musí být **rychlá** i při **velkém množství záznamů**
  - 10^5 až 10^7 jednotlivých záznamů
  - operace: **rychlé vyhledávání nejbližších sousedů**
    - K nejbližších nebo všech v daném okolí (poloměr R)
  - osvědčil se **KD-strom** (binární, data ve všech uzlech)

KD–strom

- ve fázi konstrukce se jen ukládají záznamy, před použitím je dobré ho **vyvážit**
- **optimalizace** pro geometrické vyhledávání:
  - **směr dělení** (splitting plane) se určí podle složky souřadnic s maximálním rozsahem (nebo rozptylem)
  - uložení v poli – **bez použití ukazatelů** !
- à la Jensen:
  - uložení jako halda (potomci mají indexy **2i** a **2i+1**)
- à la Hooley („cache-friendly“):
  - medián se nechává na místě, zbytek jako v quick-sortu

Hledání nejbližších sousedů

- používá se **halda** pro uložení větví, do kterých jsem ještě nevstoupil
- ořezávání průchodu:
  - podle vzdálenosti již nalezeného K-tého nejbližšího fotonu (hledám-li K nejbližších)
  - podle daného poloměru vyhledávání R

Odhad radiance

Vyzařovaná **radiance z bodu x**:

$$L_o(x,\omega_o) = \int_{\Omega} f(x,\omega_i \rightarrow \omega_o) \cdot L_i(x,\omega_i) \cdot \cos\theta_{xi}\, d\omega_i$$

Vyjádření pomocí **světelného toku**:

$$L_o(x,\omega_o) = \int_{\Omega_x} f(x,\omega_i \rightarrow \omega_o) \cdot \frac{d^2\Phi_i(x,\omega_i)}{dA_i}$$

Odhad radiance

Odhad radiance z **fotonové mapy v okolí bodu x**:
(najdu n nejbližších fotonů)

$$L_o(x,\omega_o) \approx \sum_{p=1}^{n} f(x,\omega_p \rightarrow \omega_o) \cdot \frac{\Delta \Phi_p(x,\omega_p)}{\Delta A}$$

Při **kruhovém** okolí:

$$L_o(x,\omega_o) \approx \frac{1}{\pi r^2} \sum_{p=1}^{n} f(x,\omega_p \rightarrow \omega_o) \cdot \Delta \Phi_p(x,\omega_p)$$