Zobrazování a osvětlování

Petr Felkel

Katedra počítačové grafiky a interakce, ČVUT FEL
místnost KN:E-413 na Karlově náměstí
E-mail: felkel@fel.cvut.cz

S použitím materiálů Bohuslava Hudce, Jaroslava Sloupa a úprav Vlastimila Havrana

Poslední změna: 6.5.2015

I. Zobrazování a osvětlování

I. Zobrazování a osvětlování

- Základní zobrazovací algoritmy
  - Pořadí zpracování a určování viditelnosti
  - Metody výpočtu osvětlení
- Globální osvětlovací metody

Pořadí zpracování a určování viditelnosti

- "Object order"
  - Zpracovávají popořadě objekty
  - Malířův algoritmus (*Back to Front = B-F*)
  - Z-buffer (libovolné pořadí)
  - Radiozita (vzájemné osvětlení plošek)
  - Pro objemy F-B, B-F

- "Image order"
  - Prochází popořadě pixely a zkoumají, co do nich padne (vysílají se paprsky z oka skrz pixely do scény)
  - Sledování paprsku (*Ray tracing*)
  - Pro objemy vrhání paprsku *(Ray casting)*

Metody výpočtu osvětlení

- Lokální metody výpočtu osvětlení (dosud)
  - Objekty se vzájemně neosvětlují
  - Jako by každý byl sám ve scéně se všemi světly
  - Jenom se řeší vzájemná poloha kvůli viditelnosti

    (Zakrývají se vzájemně, ale nezakrývají světla, ani se vzájemně neosvětlují)
  - Malířův algoritmus, Z-buffer ….. rychlé
  - Vzájemné osvětlení se simuluje ambientním světlem,…
- Globální osvětlovací metody

…

Globální osvětlovací metody

- Simulují skutečný svět (fotorealismus)
- Stíny či polostíny (měkké stíny)
- Vzájemný difúzní odraz
  - Odraz od tělesa může osvětlit stěnu odvrácenou od světla (např. světlo za nábytkem)
  - Vzájemné zabarvení ploch
- Kaustiky (prasátka ve vodě)

- Problém je simulace všech optických jevů v reálném čase

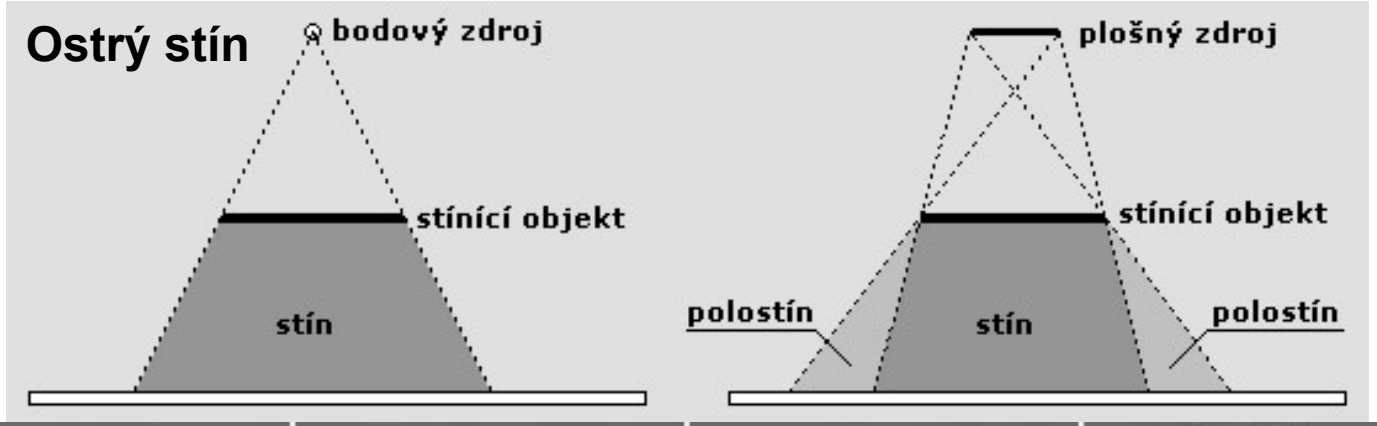
(Ostré) stíny

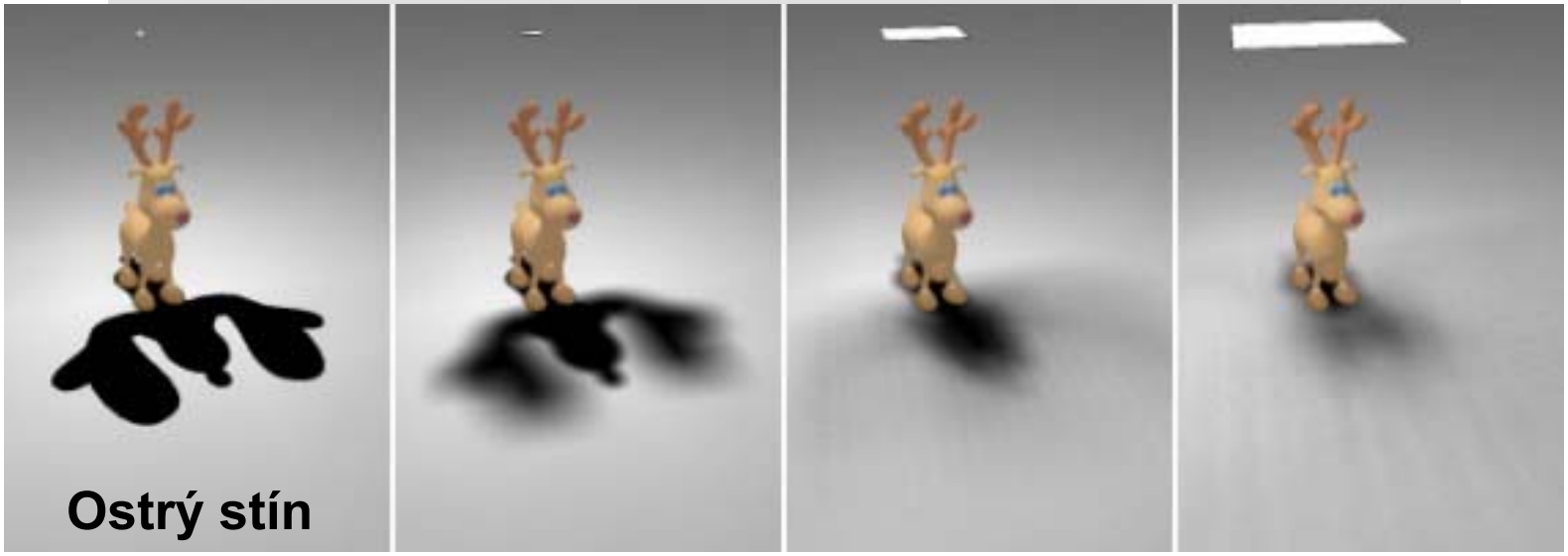
- Výpočet, zda je část viditelné scény od pozorovatele přímo viditelná i z bodového či směrového zdroje světla
- Ostrý stín tvoří jasné rozhraní mezi osvětlenou a neosvětlenou částí objektu, v tomto případě:

[library.creativecow.net]

- Úloha spočívá ve výpočtu viditelnosti mezi bodem povrchu a světlem

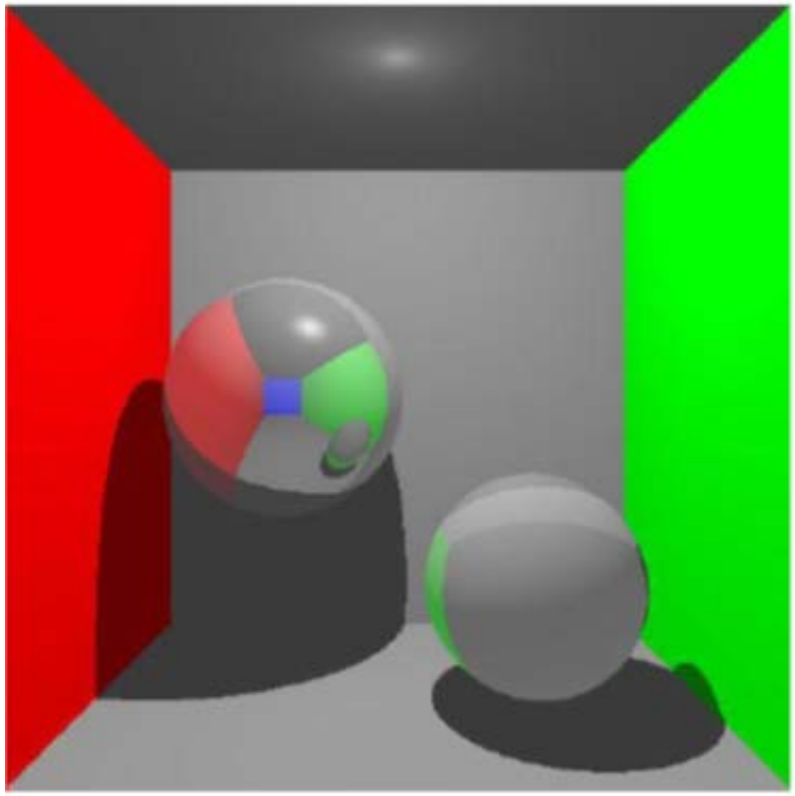
Měkké stíny



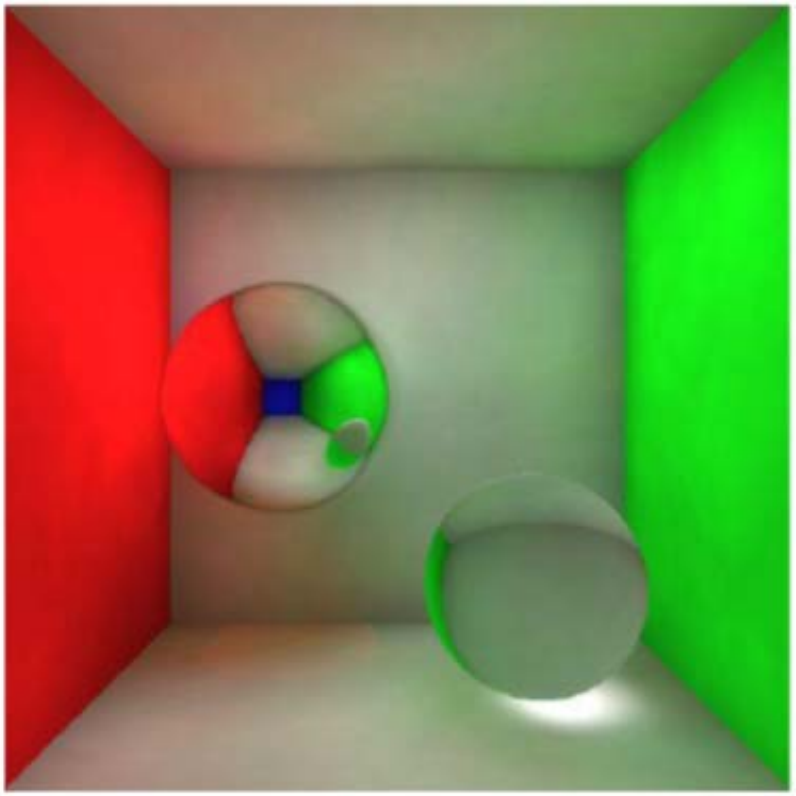


David Ambrož, http://www.shadowstechniques.com/

Kaustiky a vzájemný difúzní odraz



raytracing
s typickými ostrými stíny



photon mapping
s měkkými stíny,
difúzními odrazy a kaustikou

Jiří Tuháček, diplomová práce, CGG FEL

… Globální osvětlovací metody

- **Pohledově nezávislé** řešení
  (radiozita, photon mapping)
- **Pohledové závislé** řešení
  (sledování paprsku od pozorovatele či od světel)

Pohledově nezávislé řešení – radiozita (84)

Většina práce nezávisí na poloze kamery

2 kroky:

1. Pohledově nezávislý krok - rozdělení světla ve scéně
   - Rozdělí polygony na malé plošky
   - určí vzájemnou viditelnost plošek
   - matice konfiguračních faktorů
   - řeší radiozitní rovnici
2. Pohledově závislý krok - zobrazení pohledu
   - jen určí viditelnost pro konkrétní polohu kamery

Pohledově nezávislé řešení - radiozita

[http://www.artoolkit.org/Gallery/Radiosity/Base/CornellScene.jpg]

Pohledově nezávislé řešení - radiozita

- Vychází ze zákona zachování energie
- Proto energeticky uzavřené scény
- Scéna musí být z polygonálních plošek (dělí se dále dle potřeby)
- Nedokáže zpracovat
  - Průhledné objekty
  - Zrcadla
  - Textury

Pohledově závislé řešení

Metody vycházející **od pozorovatele** (*gathering methods*)

- Postupují proti směru světla (z pixelů ke světlům)
- Akumulují příspěvky podél dráhy paprsku
- Zpětné sledování paprsku (*Ray tracing*) … A
- Sledování cesty (*path tracing*) – BRDF … B

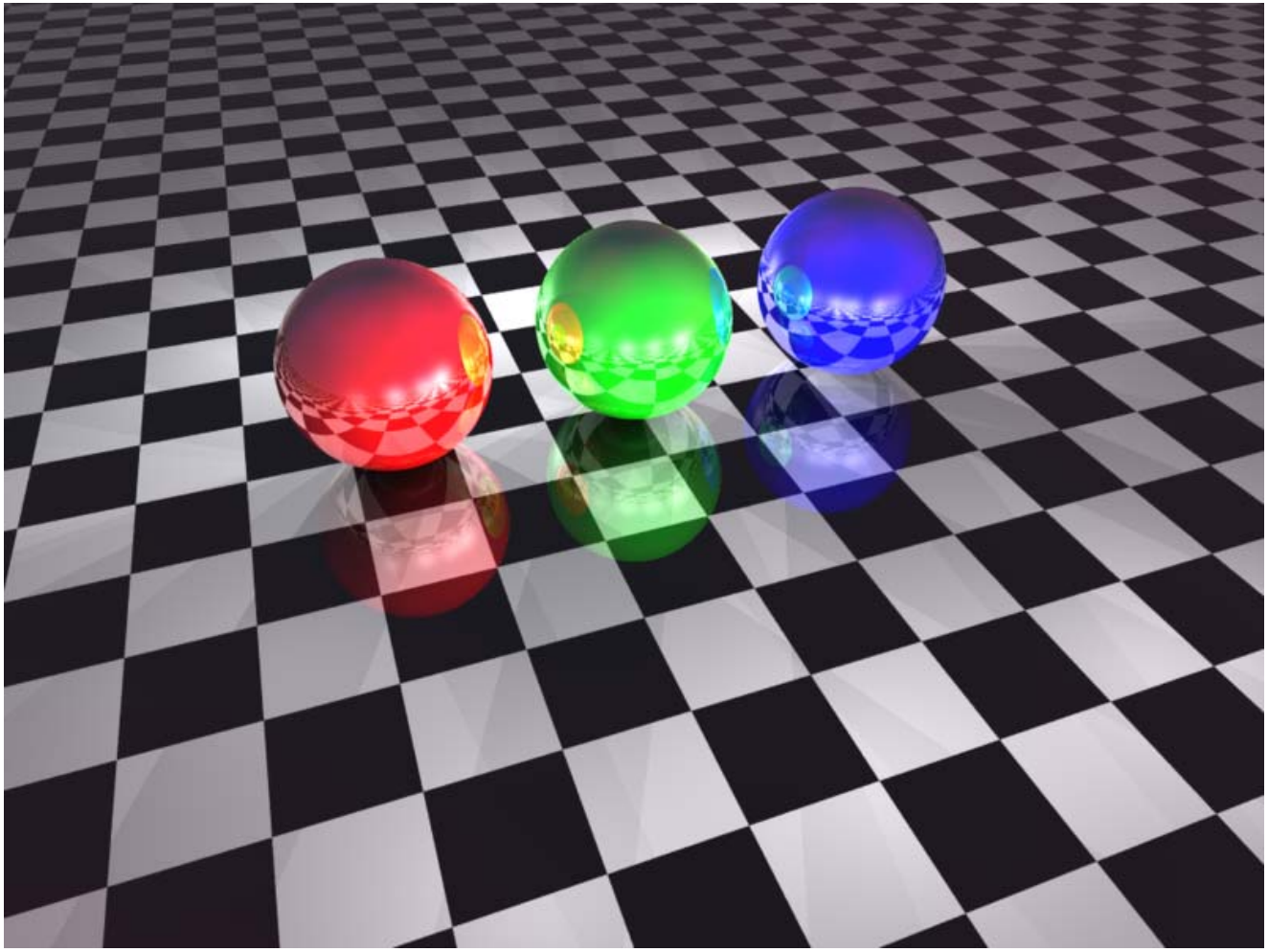
Metody vycházející **od světelných zdrojů** (*shooting meth.*)

- (Photon tracing = Ray tracing pozadu)
- Monte Carlo sledování světla (*light tracing*) … C

Dvousměrové metody

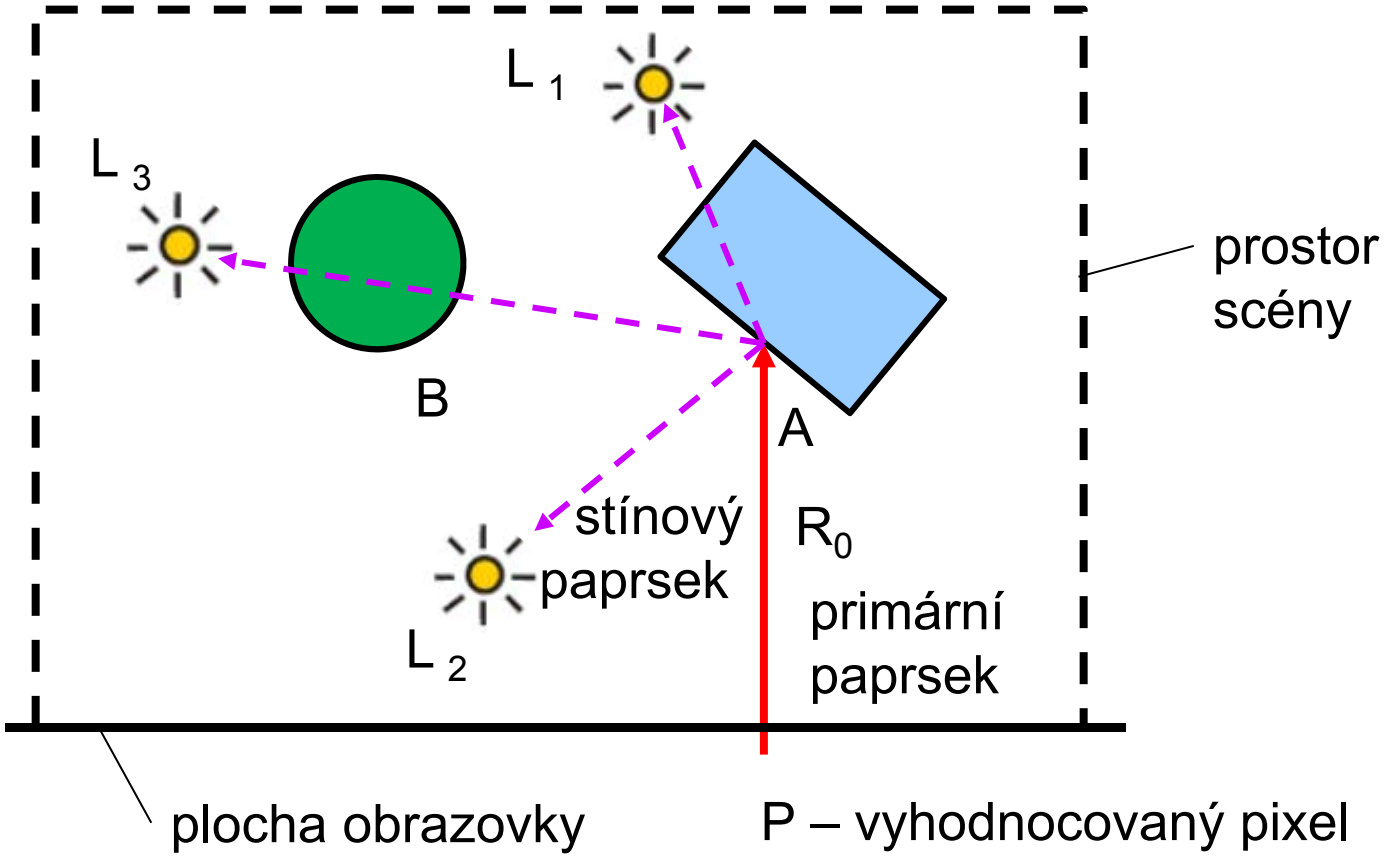
- kombinují oba přístupy … D

A. Zpětné sledování paprsku (Ray tracing)



[http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Raytracing_reflection.png]

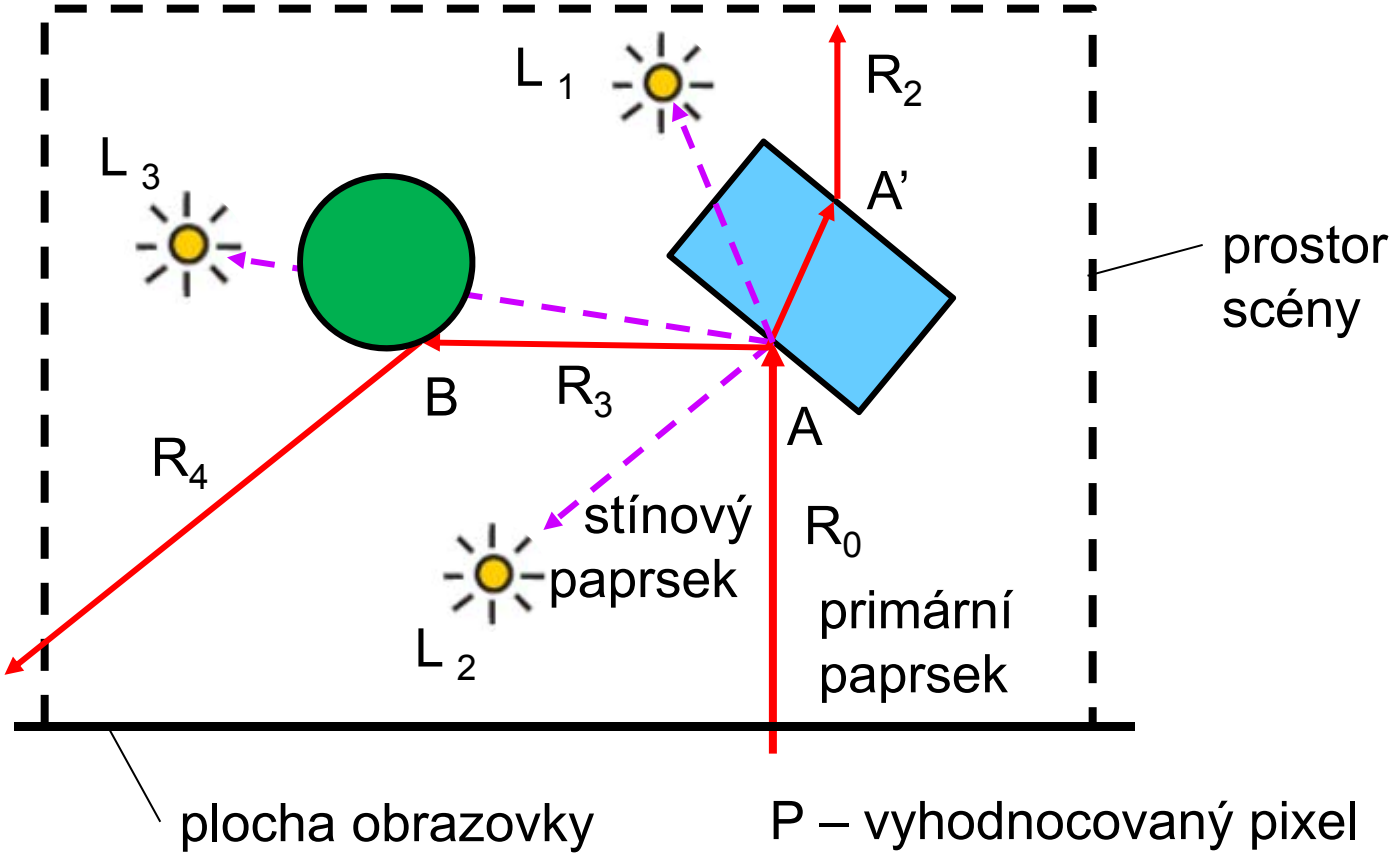
A. Vrhání paprsku (Ray casting - 68)



„Jednoúrovňový“ ray tracing
Stínové paprsky ke světelným zdrojům

Obrázek převzat od prof. Žáry

A. Zpětné sledování paprsku (Ray tracing 79)



Akumuluje příspěvky odražených a lomených paprsků a paprsků ke světlům (stínové)

Obrázek převzat od prof. Žáry

A. Zpětné sledování paprsku (Ray tracing)

SledujPaprsek (paprsek *R*, hloubka rekurze *H*)

1. Nalezni průsečík *P* paprsku *R* s nejbližším tělesem ve scéně
2. Pokud průsečík *P* neexistuje *// paprsek opustil prostor scény*

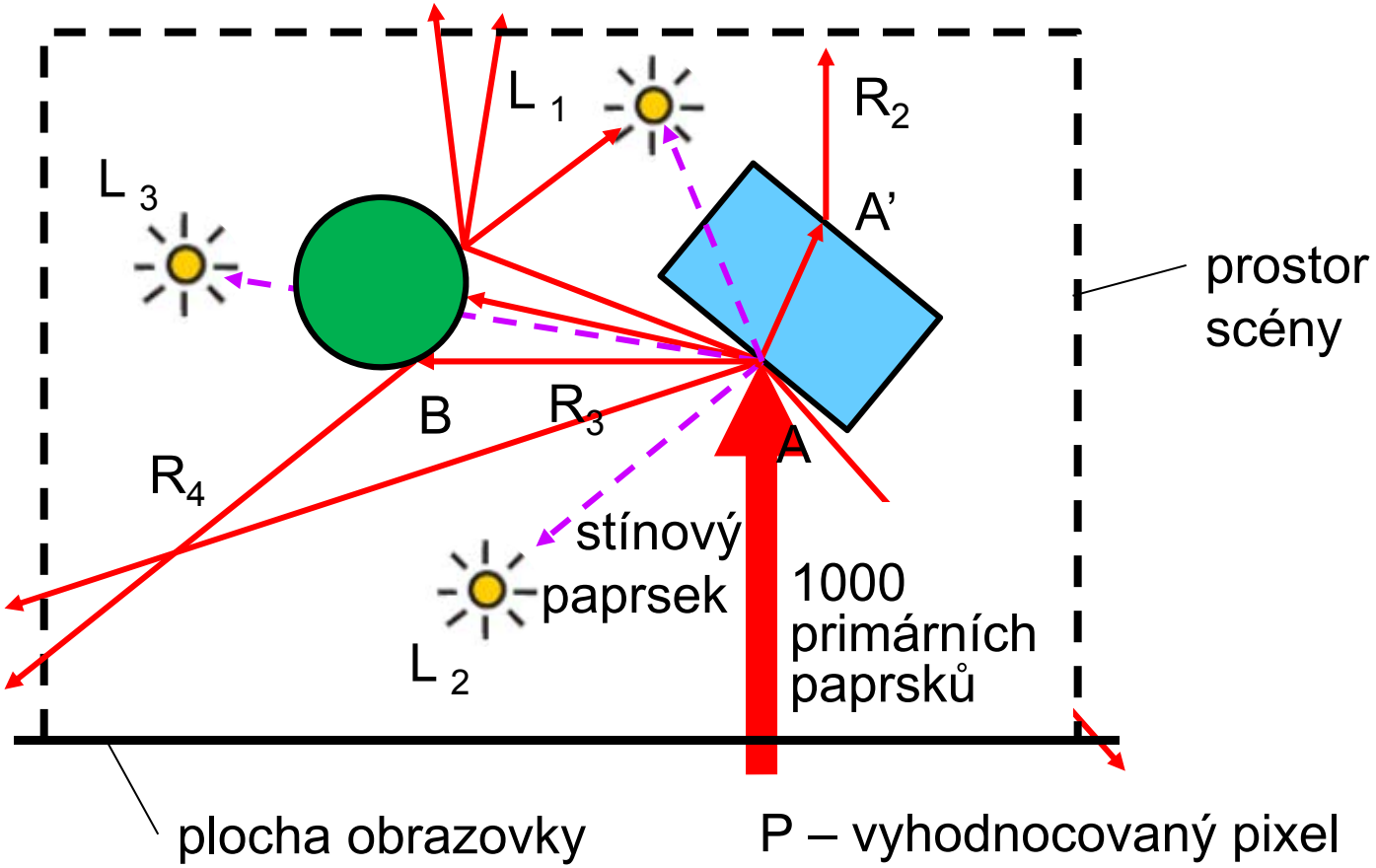
   přiřaď paprsku *R* barvu pozadí a skonči
3. Ke každému světelnému zdroji vyšli z bodu *P* **stínový paprsek** a pokud k němu paprsek dorazí, označ světelný zdroj jako nezakrytý
4. Vyhodnoť příspěvky osvětlení v bodě *P* od všech nezakrytých světelných zdrojů
5. Pokud hloubka *H* nepřekročila maximální hloubku sledování, vyšli:

   (a) odražený paprsek *RR* voláním **SledujPaprsek** (*RR*, *H* + 1)

   (b) lomený paprsek *RT* voláním **SledujPaprsek** (*RT*, *H* + 1)
6. Paprsku *R* přiřaď výslednou barvu jako součet příspěvků osvětlení, barvy odraženého paprsku *RR* a barvy lomeného paprsku *RT*

Algoritmus převzat od prof. Žáry

B. Sledování cesty (*path tracing*)



Paprsky na difúzním povrchu odraženy do náhodných směrů
(jejich příspěvky jsou následně modulovány pomocí 4D funkce BRDF)

B. Sledování cesty (*path tracing*)

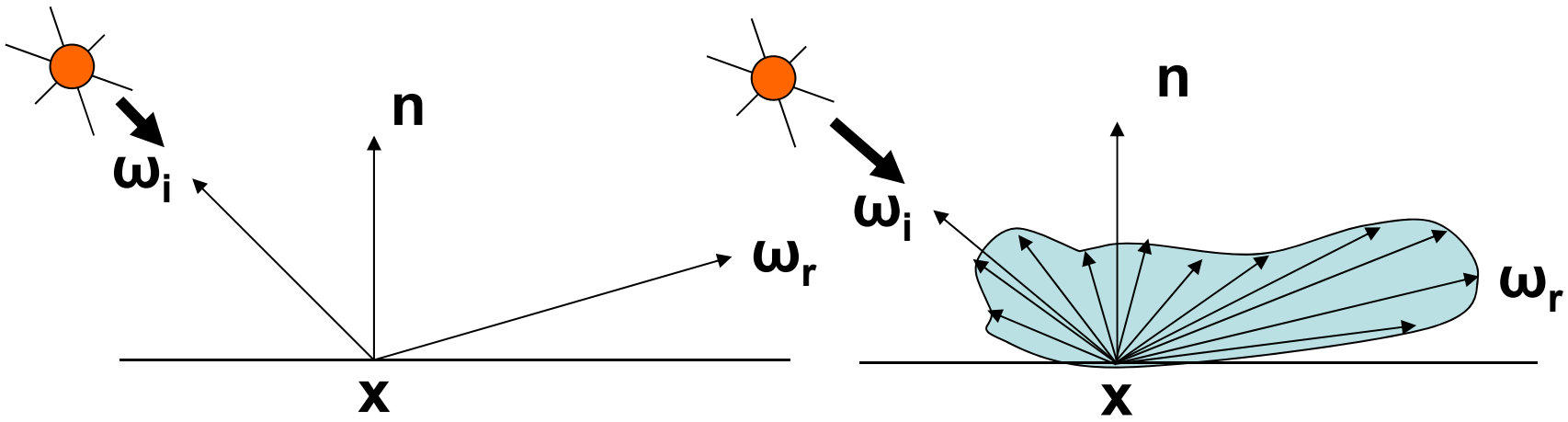
- Monte Carlo sledování cesty (od pozorovatele)
- Generuje 1000-10 000 paprsků na pixel
- Každý sleduje podobně jako ray-tracing,

  ale
- Volí **náhodný úhel odrazu**
- Pro tento náhodný úhel vyhodnotí tzv. funkci BRDF (příspěvek světla modulován BRDF)
- Zvládne kaustiky, difúzní odraz, měkké stíny…
- Urychlit lze metodou vzorkování podle důležitosti (*importance sampling*)
  - generuje odražené paprsky nerovnoměrně
  - preferuje úhly s velkou hodnotou BRDF

BRDF

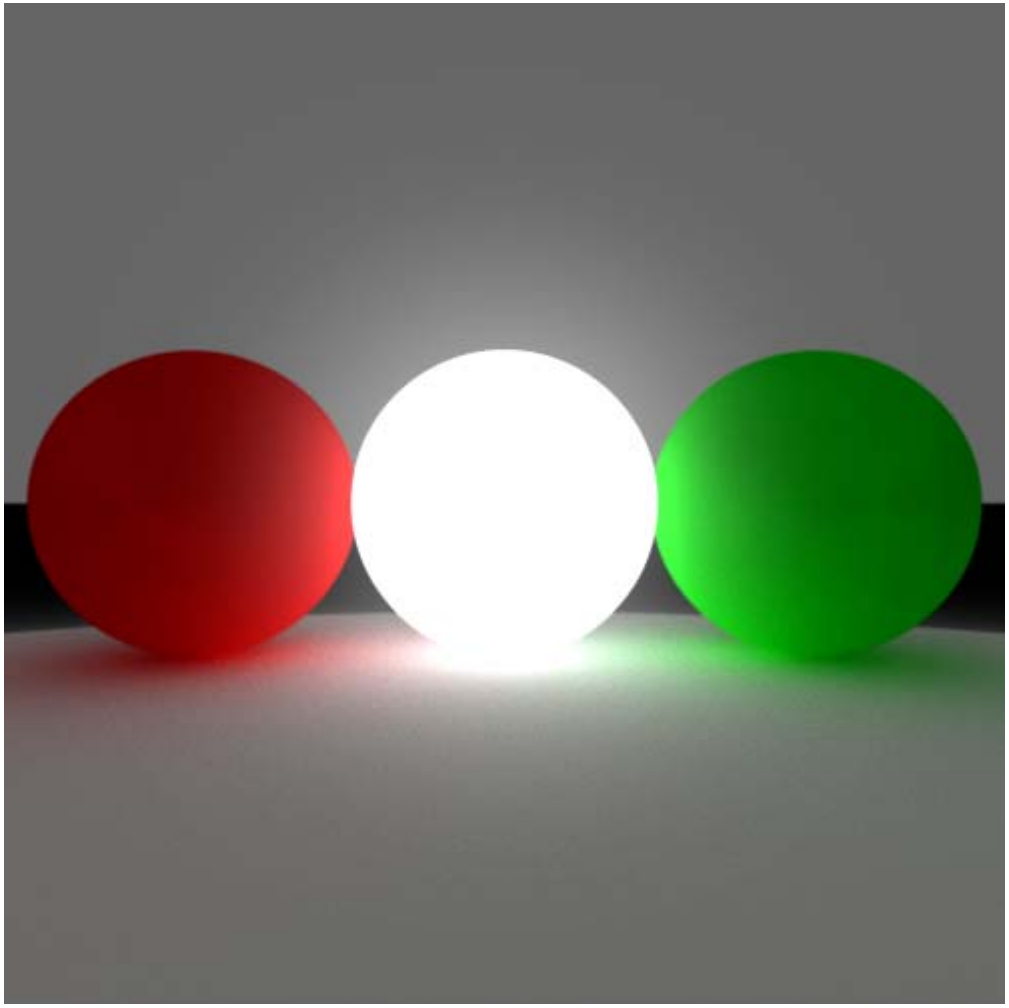
BRDF je zkratka pro **dvousměrovou odrazovou distribuční funkci** (*Bidirectional reflectance distribution function*)

- Popisuje poměr **radiance odražené ve směru ω_r** k **radianci dopadající ze směru ω_i**, v určitém bodě *x*
- **Radiance** = přijatý či vyzářený výkon na jednotkovém prostorovém úhlu na jednotku kolmo promítnuté plochy



Sférické souřadnice, 2 směry, každý 2 úhly => 4 parametry

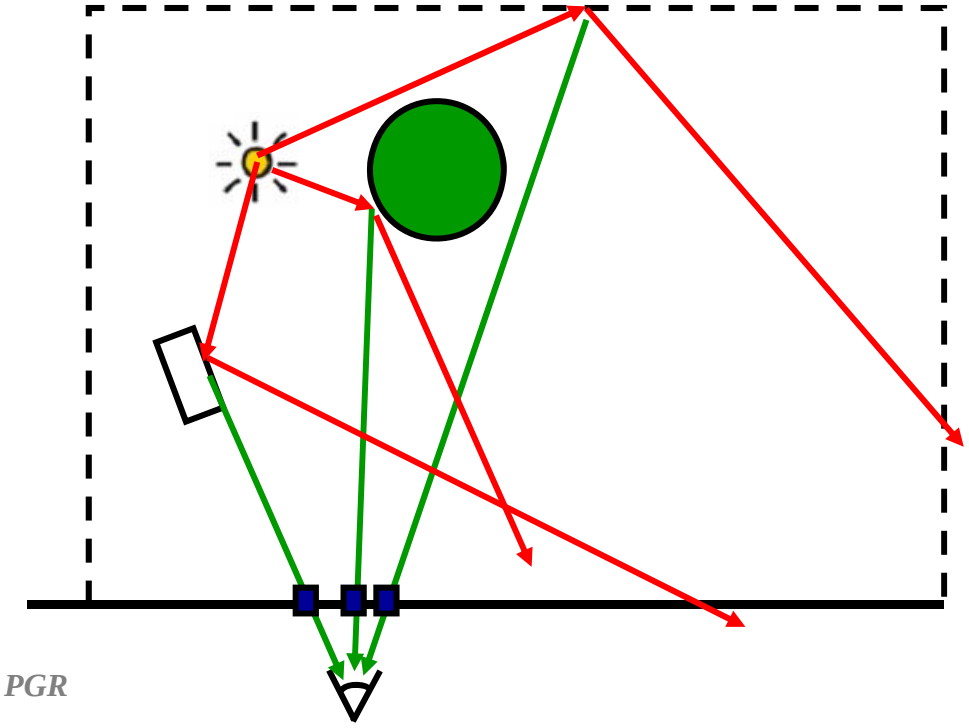
B. Sledování cesty (*path tracing*)



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/Pathtrace3.png

C. Monte Carlo sled. světla (*light tracing*)

- Sleduje **světlo od světelných zdrojů** (*Shooting method*)
- Určí se výkon odcházejícího paprsku
- Pak se paprsek rekurzívně sleduje. V místech odrazu se určí množství světla jdoucí k pozorovateli (BRDF)
- Průsečík paprsku k pozorovateli se zobrazovací rovinou



= příspěvek k barvě pixelu

Problémy:

- Mnoho nevyužitých paprsků
- Velký šum
- Zrcadlový odraz „netrefí“ oko

D. Dvousměrové globální osv. metody

Dvousměrové metody (*bidirectional methods*)

- Současně paprsky **od světel** a **od pozorovatele**

a) Dvousměrové sledování cesty (*bidirectional path tracing*)

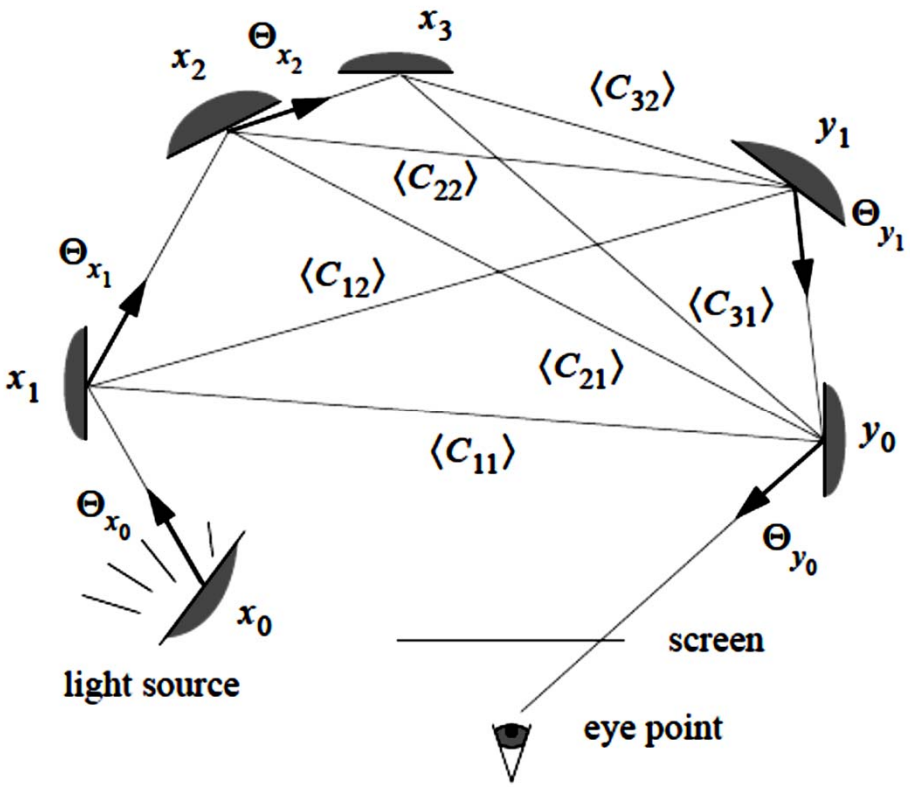
- Najdou se průsečíky se scénou od světel (x_i) a od pozorovatele(y_k) (*random walk* do určité hloubky sledování – stejně se přesně netrefí)
- Najdou se všechny kombinace x_i a y_k (každý s každým)
- Určí se viditelnost a vzájemné příspěvky radiance

b) Fotonové mapy (*photon mapping*)

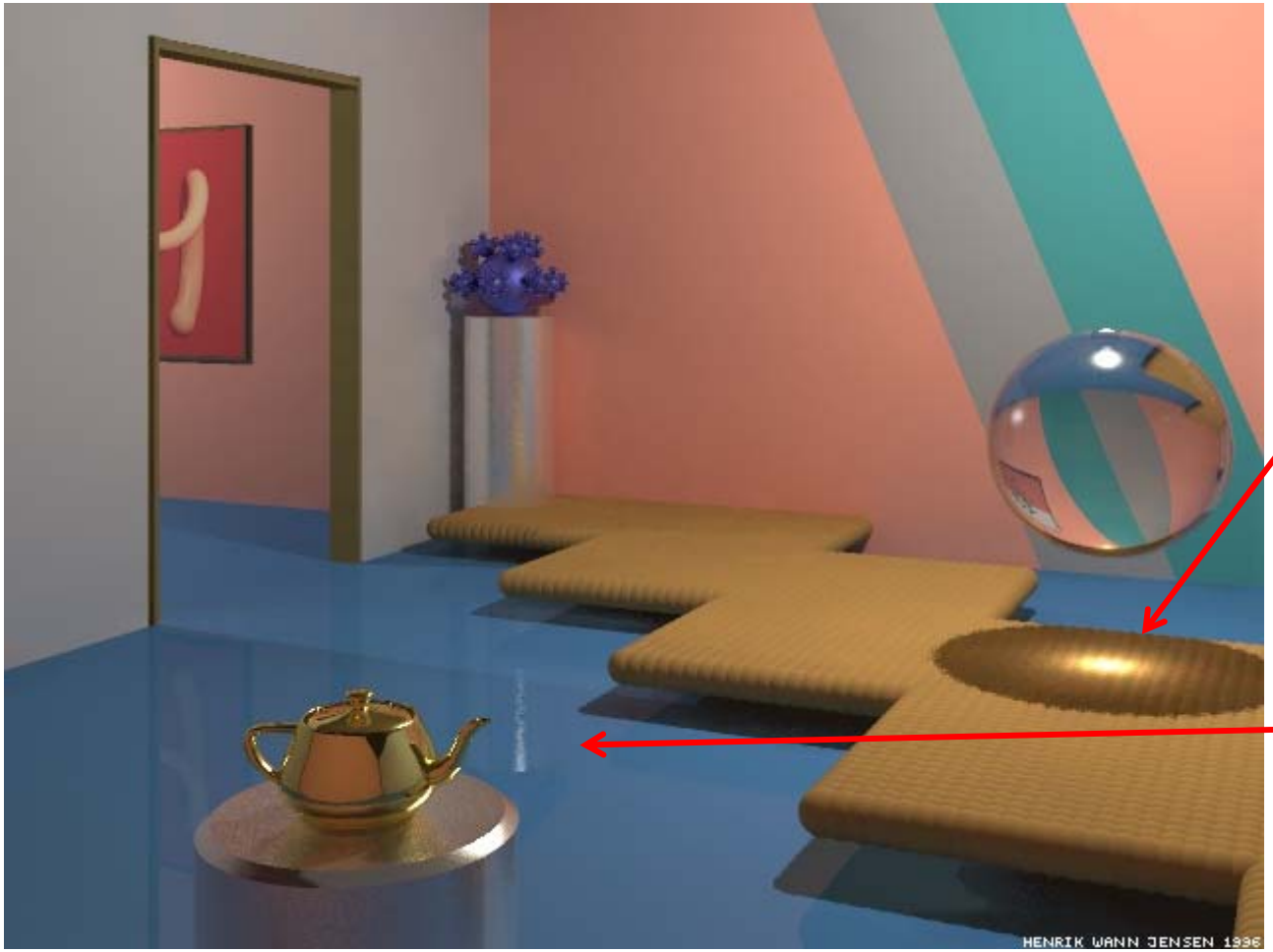
1. Vystřelí *fotony* od zdrojů, uloží je do 3D fotonové mapy
   (fotony od všech světel, každý zná pozici a směr, odkud přiletěl)
   náhodně se určuje, zda se fotony absorbují, či dále odrazí nebo lomí
2. Pak ray tracing
   najde průsečík, sesbírá fotony v jeho okolí => tj. příspěvek od všech světel

a) Dvousměrové sledování cesty (*bidirectional path tracing*)

- Současně light tracing (shooting) a path tracing…



b) Fotonové mapy (*Photon Mapping*)



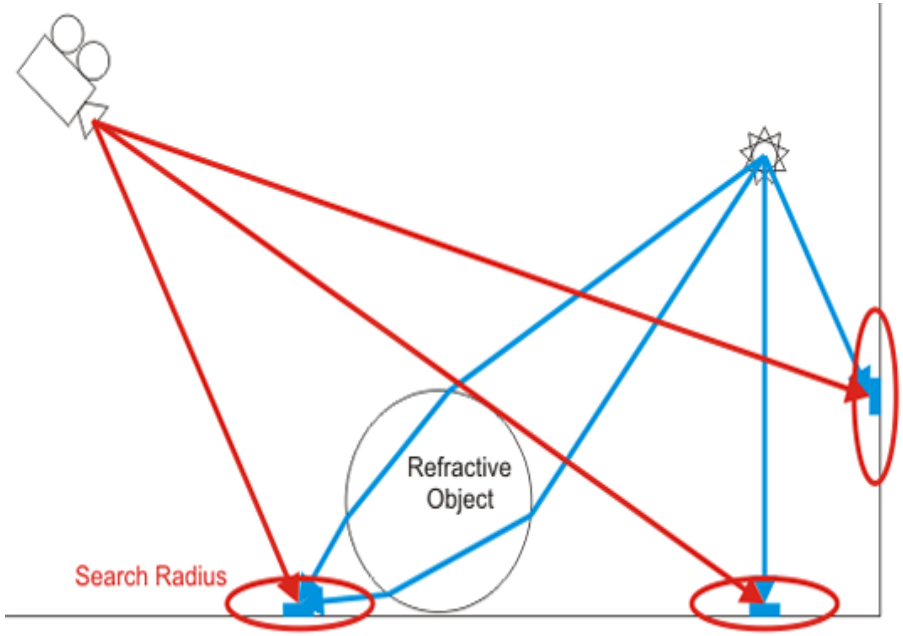
Kaustika

Odrazy objektů na lesklé podlaze (*glossy reflections*)

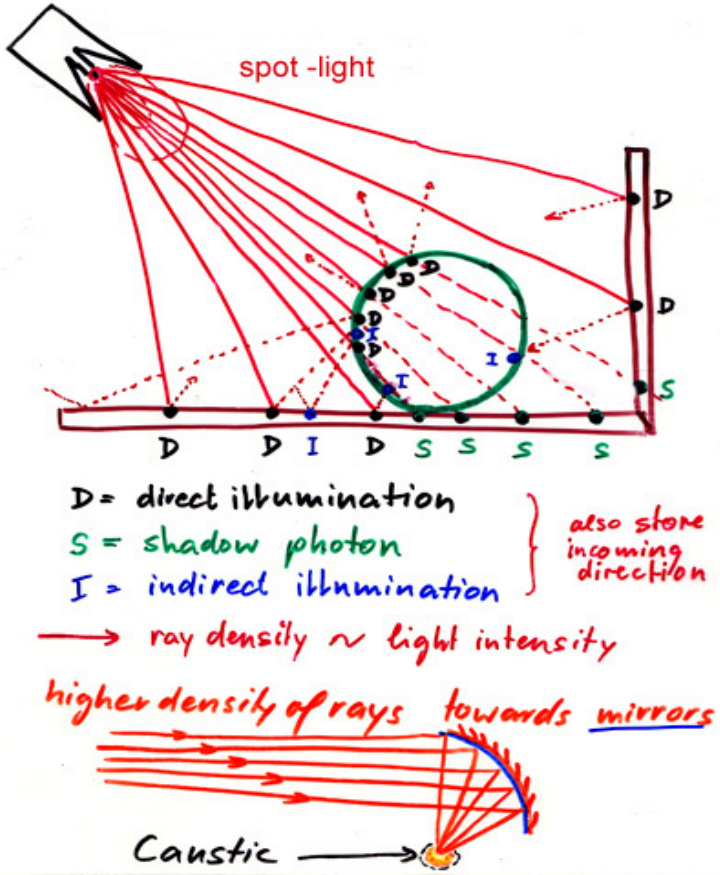
Henrik Wann Jensen: http://graphics.stanford.edu/~henrik/papers/ewr7/ewr7.html

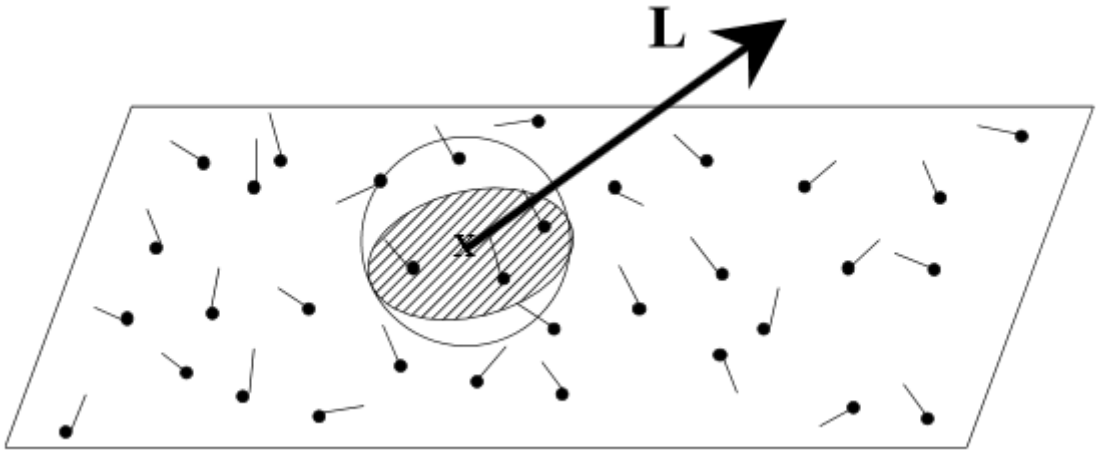
Fotonové mapy (*Photon Mapping*)

1. Paprsky od světel rozmístí fotony ve scéně (photon map cache)
2. Sbírání fotonů paprsky od kamery (*final gathering*)



http://www.spot3d.com/vray/help/200R1/images/diagrams/photon_maps.png



http://www.cs.berkeley.edu/~sequin/CS184/IMGS/PhotonMap.JPG

Fotonové mapy (*Photon Mapping*)