

Raytracing: když přesnost je zbytečný luxus

David Nápravník

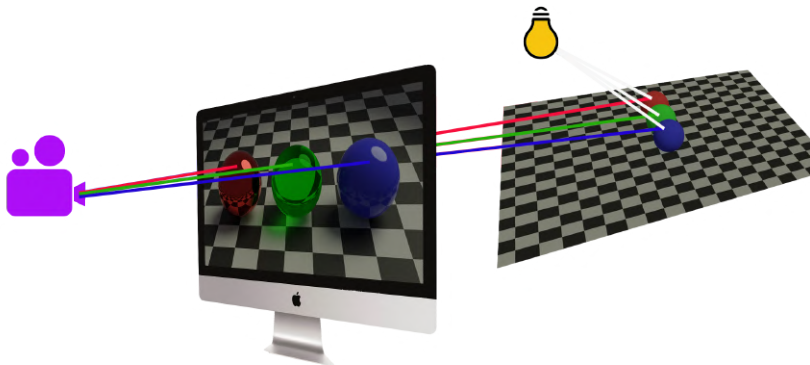
Matematicko-fyzikální fakulta UK

24.09.2025

Pokud není uvedeno jinak
obrázky David Nápravník
CC BY 4.0

Co je ray tracing

- Sledování pohybu fotonů napříč scénou
- Podloženo fyzikálními zákony
- Dříve jen ve filmu, ale dnes i v reálném čase

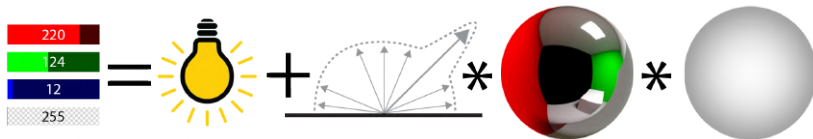


Renderovací rovnice

- Matematické vyjádření pohybu světla ve scéně
- Výstupem je osvětlení specifického bodu ve scéně

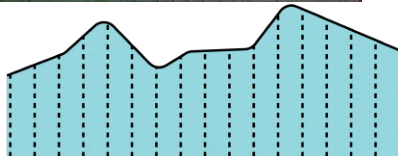
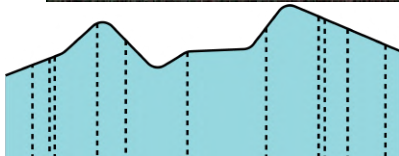
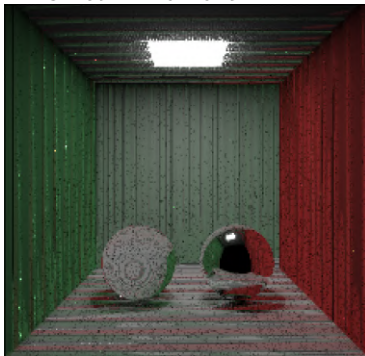
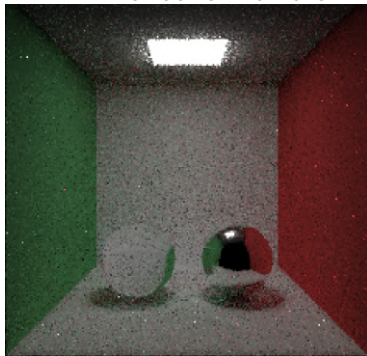
Renderovací rovnice (Kajiya 1986)

$$L_o(\omega_o) = L_e(\omega_o) + \int_{\Omega} f_r(\omega_i \rightarrow \omega_o) L_i(\omega_i) \cos \theta_i d\omega_i$$

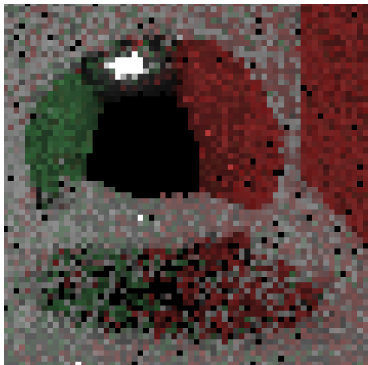


Monte Carlo integrace

Náhodné vzorkování × Diskrétní vzorkování



- Od teď minimalizujeme šum a čas



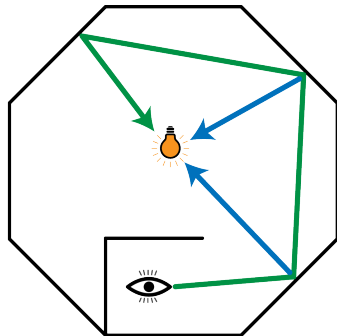
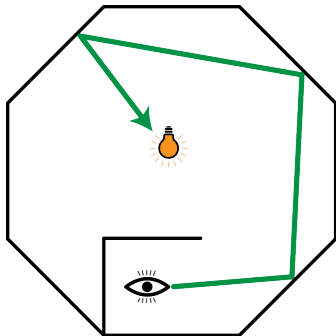
1 paprsek na pixel



1000 paprsků na pixel

Optimalizace šumu

- Tak náhodě trochu pomůžeme
- Přidáme paprsek ke světlu a náležitě to zprůměrujeme



- Zaostřené světlo
- Materiály jako sklo, voda ...

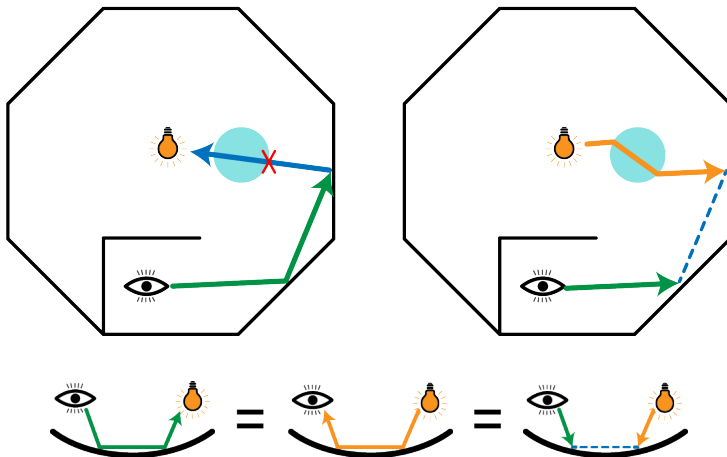




Pixar Rango (2011) (Zdroj: Disney Pixar)

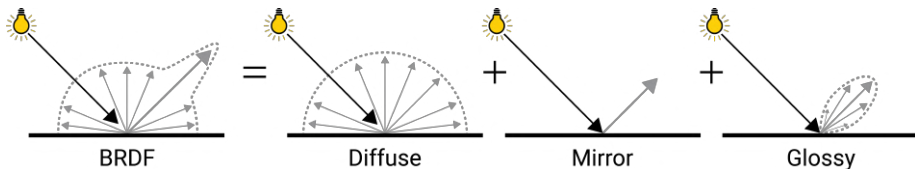
Obousměrné trasování cest

- Najednou nám vzorkování světla nefunguje

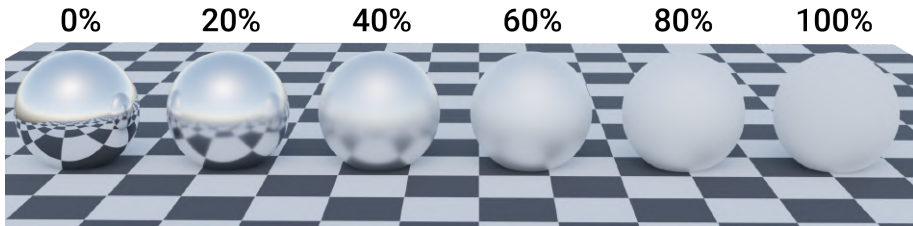


Bidirectional Reflectance Distribution Function

- **Diffuse:** matný povrch
- **Mirror:** ostrý odraz
- **Glossy:** rozostřený odraz



Různé drsnosti materiálu

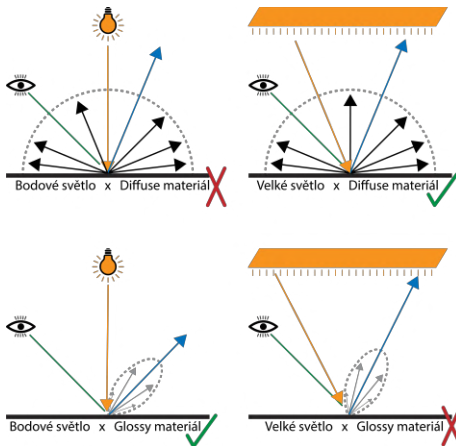


- Matematicky hezký, ale jak to změřit



BRDF vzorkování

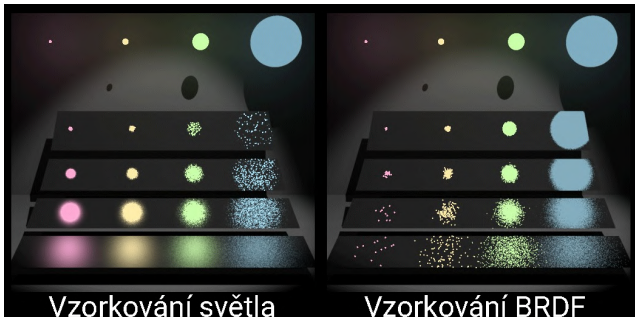
- A zase nám vzorkování světla nefunguje
- Malá šance se trefit (takže té šanci budeme muset zase pomoci)



- Multiple Importance Sampling

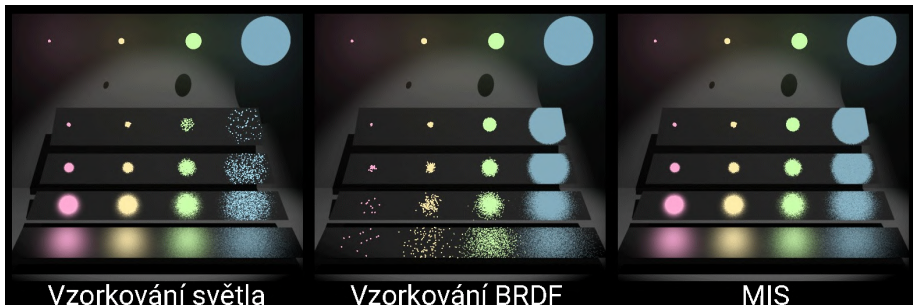
$$v_{\text{světlo}}(\omega) = \frac{p_{\text{světlo}}(\omega)}{p_{\text{světlo}}(\omega)^{\beta} + p_{\text{brdf}}(\omega)}$$

$$v_{\text{brdf}}(\omega) = \frac{p_{\text{brdf}}(\omega)}{p_{\text{světlo}}(\omega)^{\beta} + p_{\text{brdf}}(\omega)}.$$



Zdroj: Eric Veach

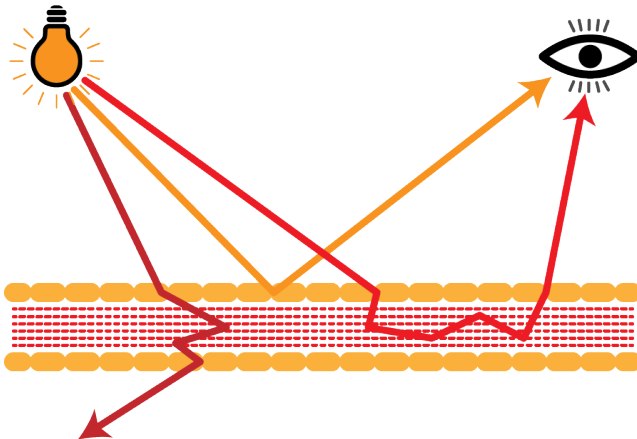
- Vyvážená kombinace strategií



Zdroj: Eric Veach

Speciální jevy

- Mikrofacety: drsnost, mlha
- Subsurface scattering: průsvitné materiály



- Subsurface scattering



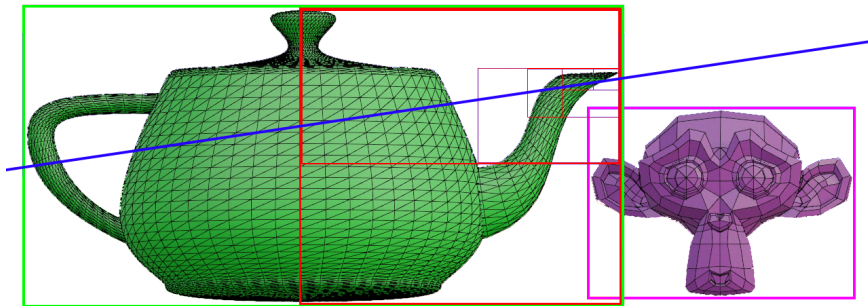
Zdroj: The Lord of the Rings: The Two Towers (2002)

- $O(n)$ by bylo na dlouho
- Chceme $O(\log n)$



Film Coco: 20 milionů objektů (Zdroj Disney Pixar)

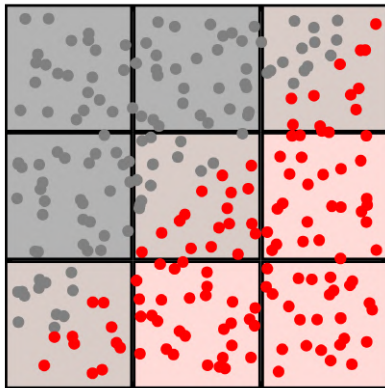
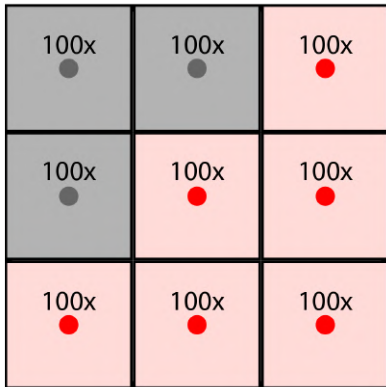
- BVH (bounding volume hierarchy)
 - AABB (Axis-aligned bounding boxes)
- Vytvoření: $O(n \log n)$
- Vyhledávání: $O(\log n)$



Efekty kamery

Věci které máme téměř zdarma

- **Anti-aliasing:** více paprsků/pixel
- Depth of field: simulace clony
- Motion blur: čas jako další rozměr



Efekty kamery

Věci které máme téměř zdarma

- Anti-aliasing: více paprsků/pixel
- **Depth of field: simulace clony**
- Motion blur: čas jako další rozměr



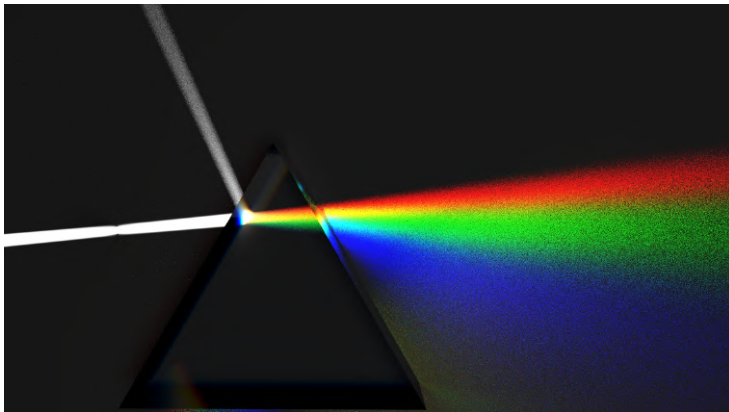
Věci které máme téměř zdarma

- Anti-aliasing: více paprsků/pixel
- Depth of field: simulace clony
- **Motion blur: čas jako další rozměr**



Spektrální efekty

- RGB nestačí na všechny jevy
- Simulace vlnových délek
- Disperze, duhové efekty, fluorescence



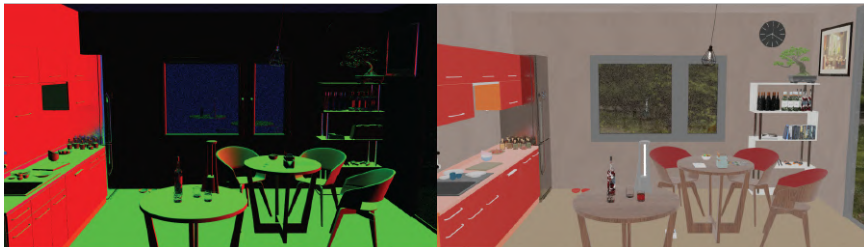
Denoising

- Filtrace šumu po renderu
- Umožňuje méně paprsků na pixel



Denoising

- Využití algoritmů, AI i pomocných bufferů



- Porovnání s referenčním obrázkem



1 vzorek na pixel

10000 vzorků na pixel

- Co kdybychom z 60 vteřin na snímek udělali 60 snímků za vteřinu?



Zdroje: <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/gfecnt/20229/portal-with-rtx-ray-tracing/>

<https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/cyberpunk-2077-ray-tracing-overdrive-update-launches-april-11/>

Perlička na závěr





<https://github.com/EbrithilNogare/TechMeetup-Ostrava>