



Monte Carlo simulacije širjenja svetlobe v bioloških tkivih

Matic Ivančič

22. november 2017



Laboratorij za slikovne tehnologije



Biomedicinska optika

□ Interakcija svetlobe s tkivom

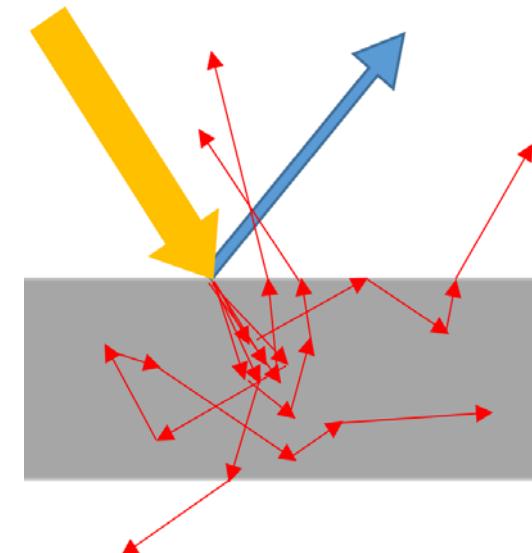
- Svetloba, ki se siplje nazaj iz tkiva, nosi informacijo

□ Razločevanje med različnimi vrstami tkiv

- Zdrava in obolela tkiva
- Zgodnje odkrivanje bolezni

□ Ne-invazivne meritve

- Ni trajnih sprememb tkiva
- Vidna in IR svetloba



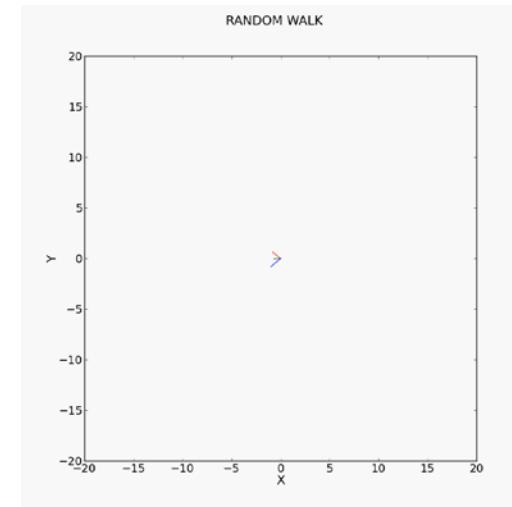
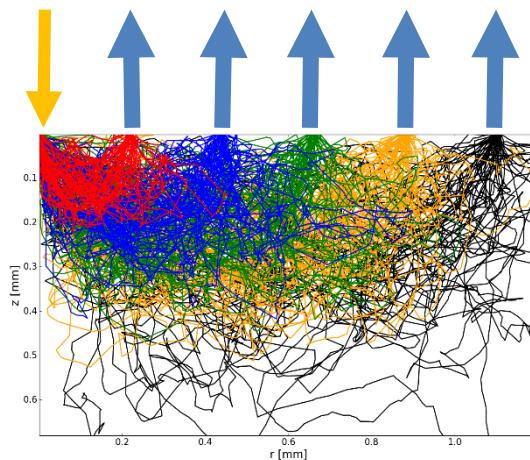
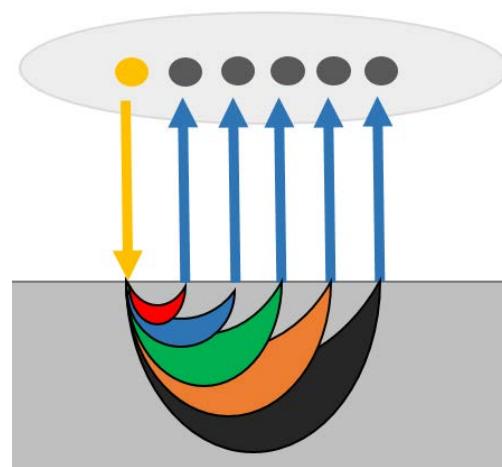


MC simulacije širjenja svetlobe

- Model usmerjene naključne hoje

$$\vec{X}' = \vec{X} + s \cdot \vec{\mu}$$

- Prostorsko razločene meritve





Model širjenja svetlobe

□ Absorpcija

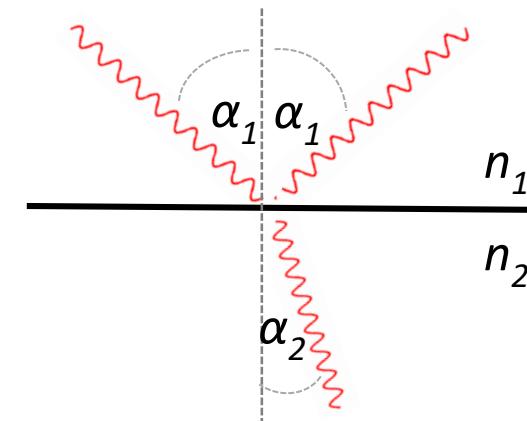
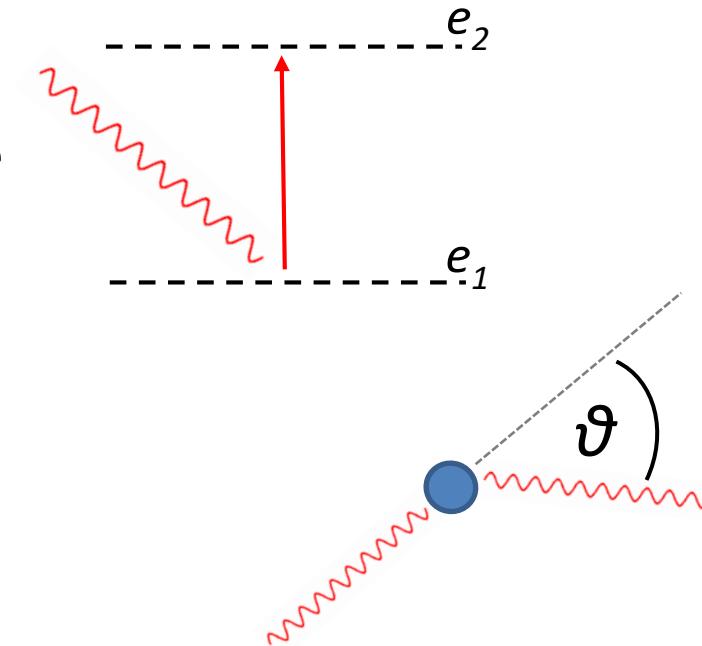
- Prehod v višje energetsko stanje
- Absorpcijski koeficient μ_a

□ Sipanje

- Sipalni koeficient μ_s
- Sipalna fazna funkcija $p(\vartheta)$

□ Lom / odboj svetlobe na mejnih površinah

- Lomni količnik n





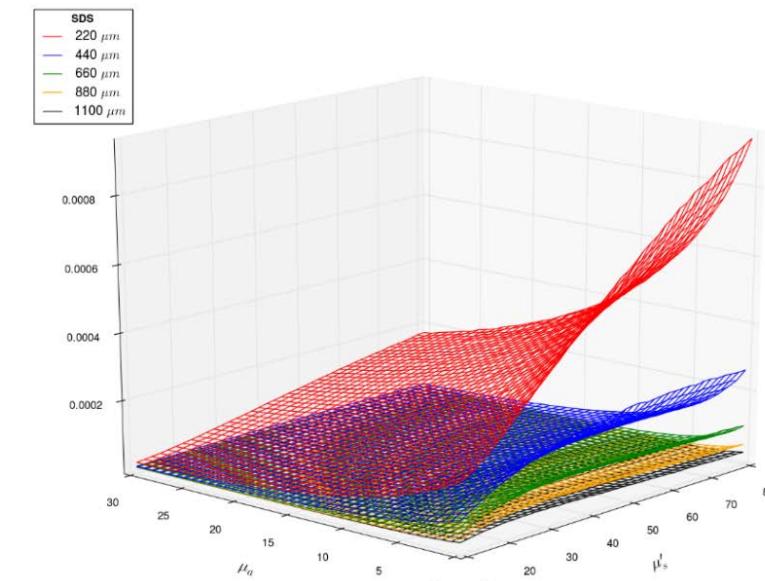
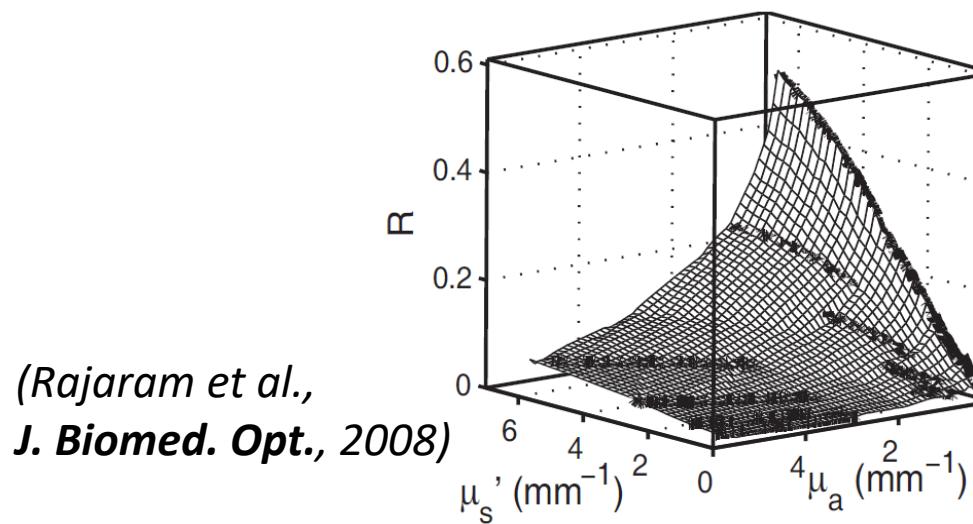
Inverzni model

□ Model širjenja: $DR = f(\mu_a, \mu_s, p(\vartheta), G)$

Inverzni model: $\mu_a, \mu_s, p(\vartheta) = f^{-1}(DR, G)$

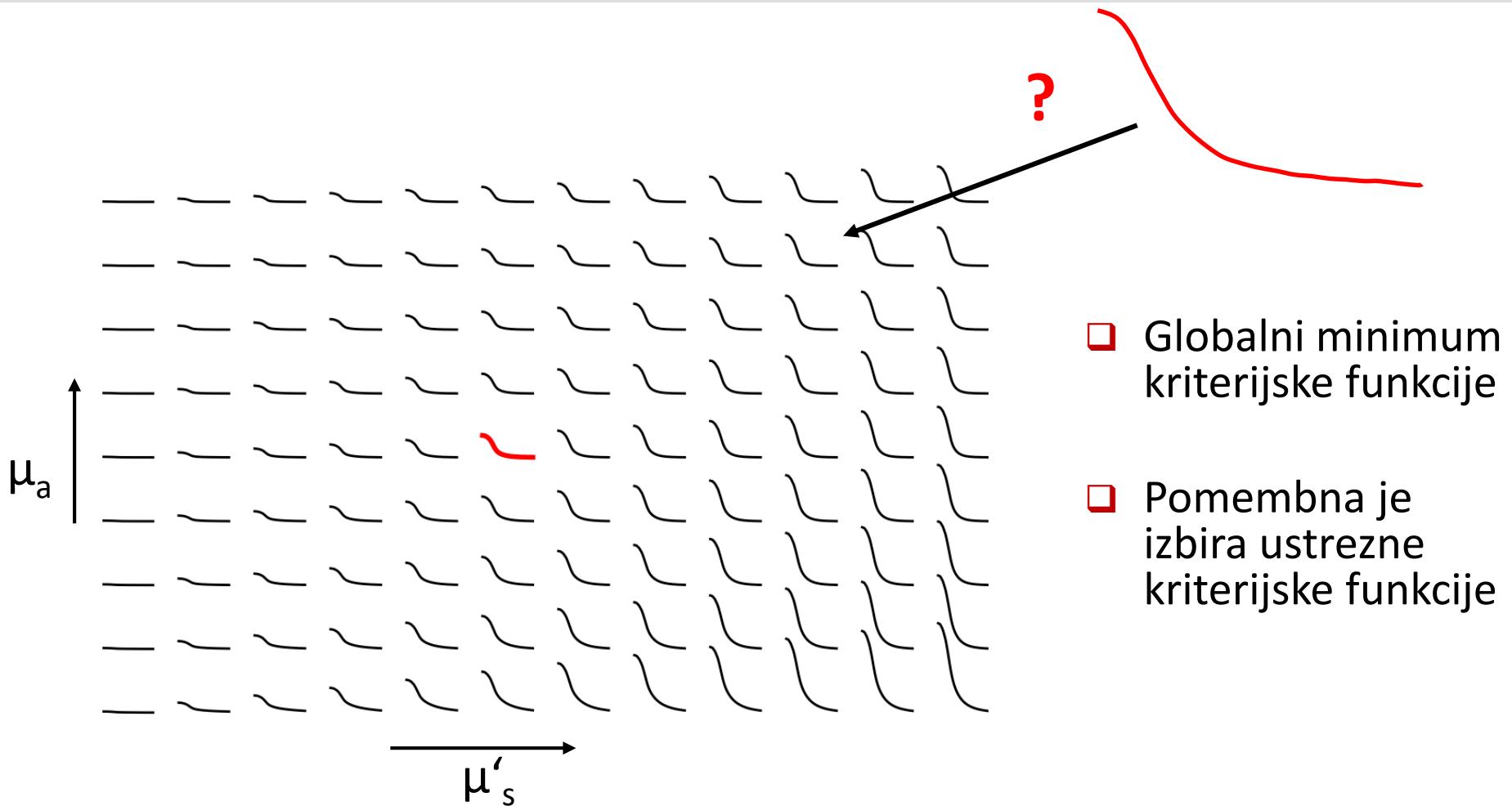
□ Ni splošne analitične rešitve

- Iskalna tabela (LUT)



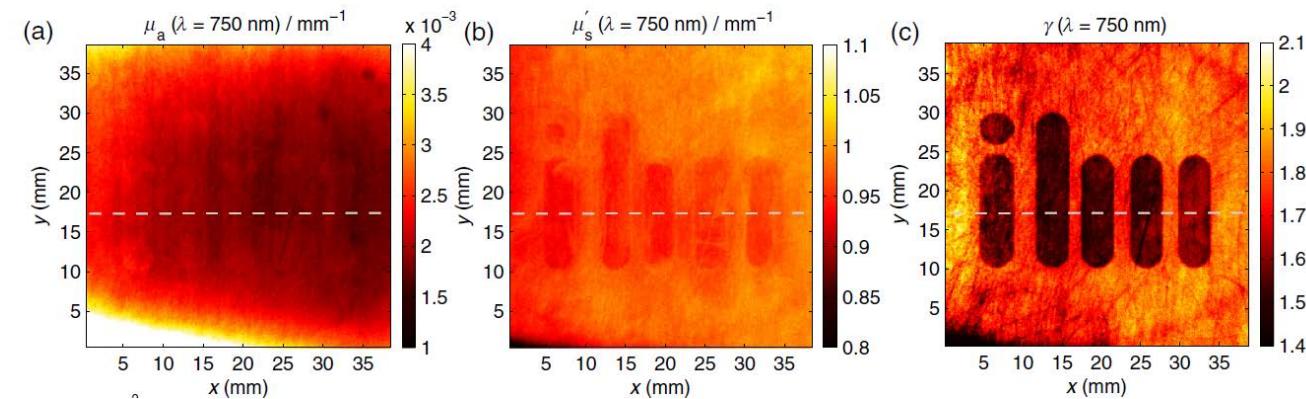
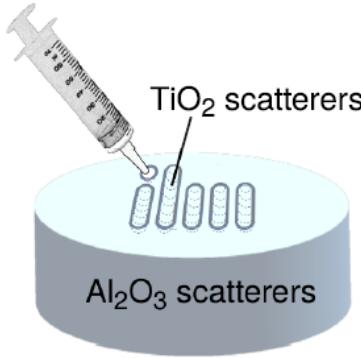


Inverzni model

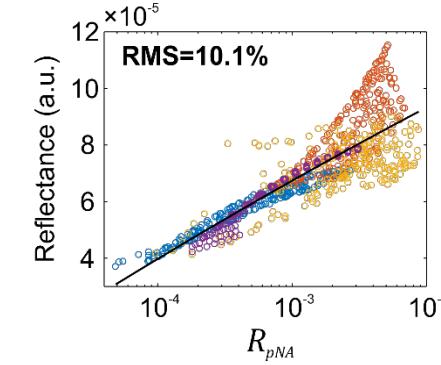
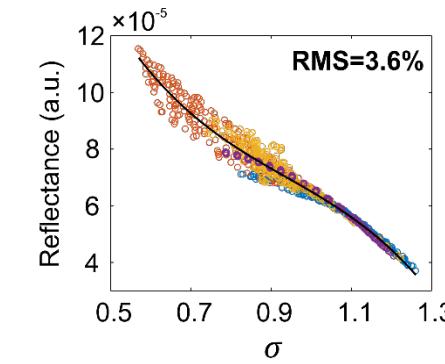
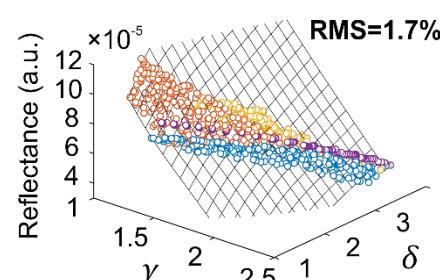
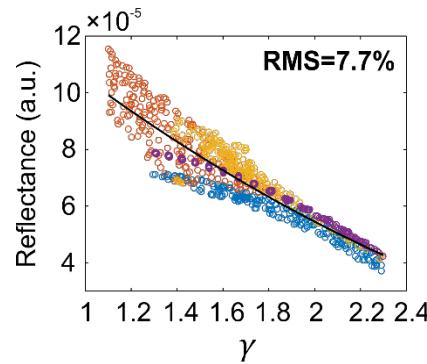




Sub-difuzijski režim



(Bodenschatz in sod., *J. Biomed. Opt.*, 2015)



(Naglič in sod., *Opt. Lett.*, 2017)





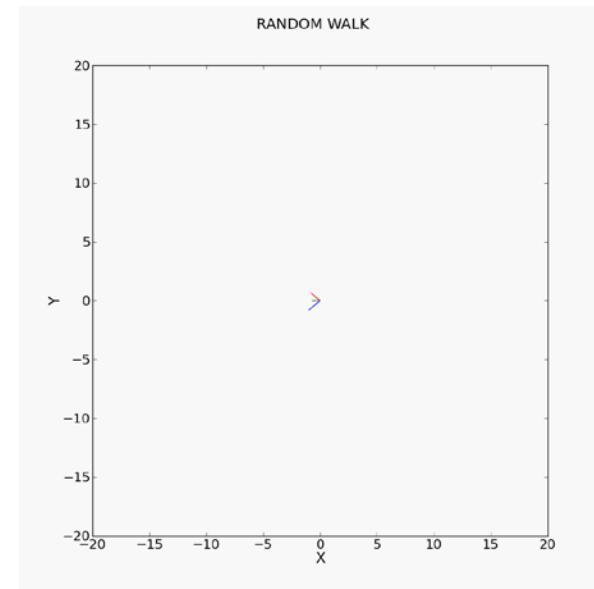
Vzporedno računanje

□ Dvojna kompleksnost:

- stohastičen process - veliko število fotonov ($10^6 - 10^9$)
- veliko število elementov (tkiv) v LUT

□ Rešitev:

- GPU implementacija
 - CUDA, OpenCL
- (Alerstam et al., *J. Biomed. Opt.*, 2008)
- GPU cluster
 - ARNES: 3 x GPU, NSC: 16 x GPU
-> 8x pohitritev (4 dni -> $\frac{1}{2}$ dneva)



Hvala za pozornost!



Simulacije Monte Carlo

□ Usmerjena naključna

hoja $\vec{X}' = \vec{X} + s \cdot \vec{\mu}$

□ Sprememba smeri – sipanje

$$\mu'_x = \frac{\sin \theta (\mu_x \mu_z \cos \varphi - \mu_y \sin \varphi)}{\sqrt{1 - \mu_z^2}} + \mu_x \cos \theta$$

$$\mu'_y = \frac{\sin \theta (\mu_y \mu_z \cos \varphi + \mu_x \sin \varphi)}{\sqrt{1 - \mu_z^2}} + \mu_y \cos \theta$$

$$\mu'_z = -\sin \theta \cos \varphi \sqrt{1 - \mu_z^2} + \mu_z \cos \theta$$

□ Absorpcija

$$w' = w \left(1 - \frac{\mu_a}{\mu_t}\right) = w \frac{\mu_s}{\mu_t}$$

□ Dolžina koraka

$$s = -\frac{\ln \xi}{\mu_t}$$

□ Verjetnost za odboj oziroma lom

$$R = \left[\frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_2}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_2} \right]^2$$

$$T = 1 - R.$$

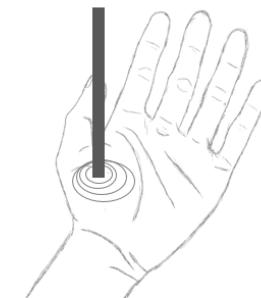




Merjenje difuzne reflektance

□ Optične sonde

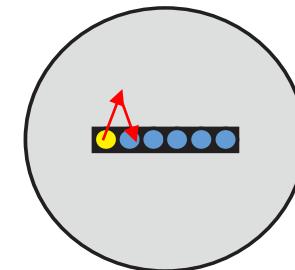
- Stično merjenje – optična sklopitev
- Optična vlakna na različnih oddaljenostih



□ Problem stičnih meritev

- Kontaktni pritisk
- Odboj fotonov od kovinskih delov sonde

(Cugmas in sod., *J. Biomed. Opt.*, 2014,
Bregar in sod., *J. Biomed. Opt.*, 2014)



(Naglič in sod., *Biomed. Opt. Express*, 2015)





Hiperspektralno slikanje

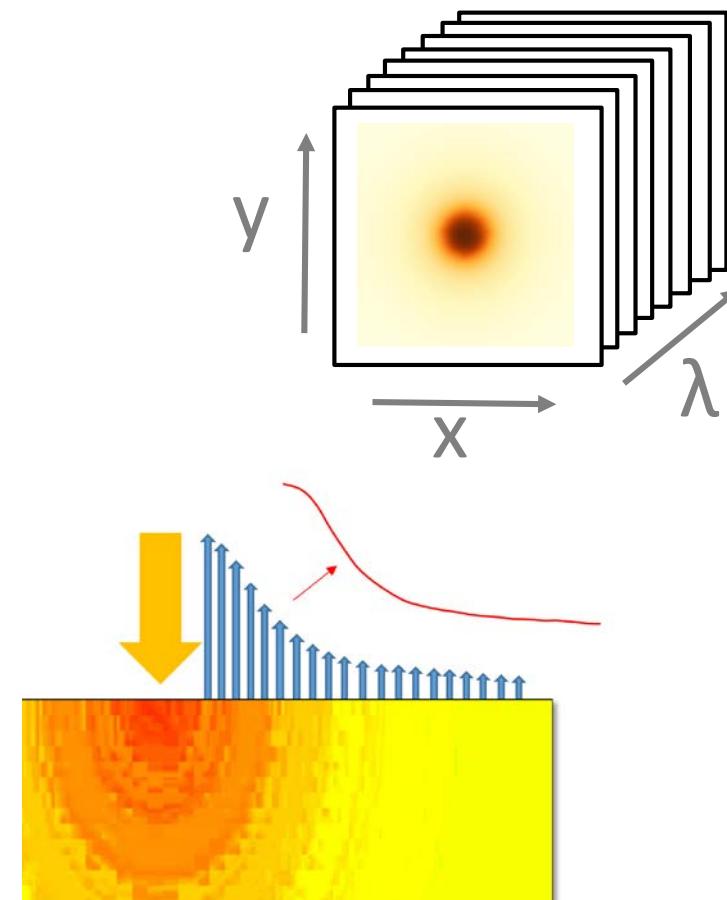
□ Sočasno zajemanje spektralno in prostorsko razločene informacije

□ Prednosti:

- + Brezstično merjenje
- + Višja prostorska ločljivost

□ Omejitve

- Slabša optična sklopitev
- Ozko vidno polje





Fazne funkcije

□ Henyey-Greenstein (g)

(Calabro in sod., J. Biomed. Opt., 2014)

$$p_{\text{HG}}(\cos \theta) = \frac{1}{4\pi} \frac{1 - g_{\text{HG}}^2}{(1 + g_{\text{HG}}^2 - 2g_{\text{HG}} \cos \theta)^{3/2}}$$

□ Modificirana Henyey-Greenstein (g, β)

$$p_{\text{MHG}}(\cos \theta) = \beta p_{\text{HG}}(\cos \theta) + (1 - \beta) \frac{3}{4\pi} \cos^2 \theta$$

□ Gegenbauer (α_{GK} , g_{GK})

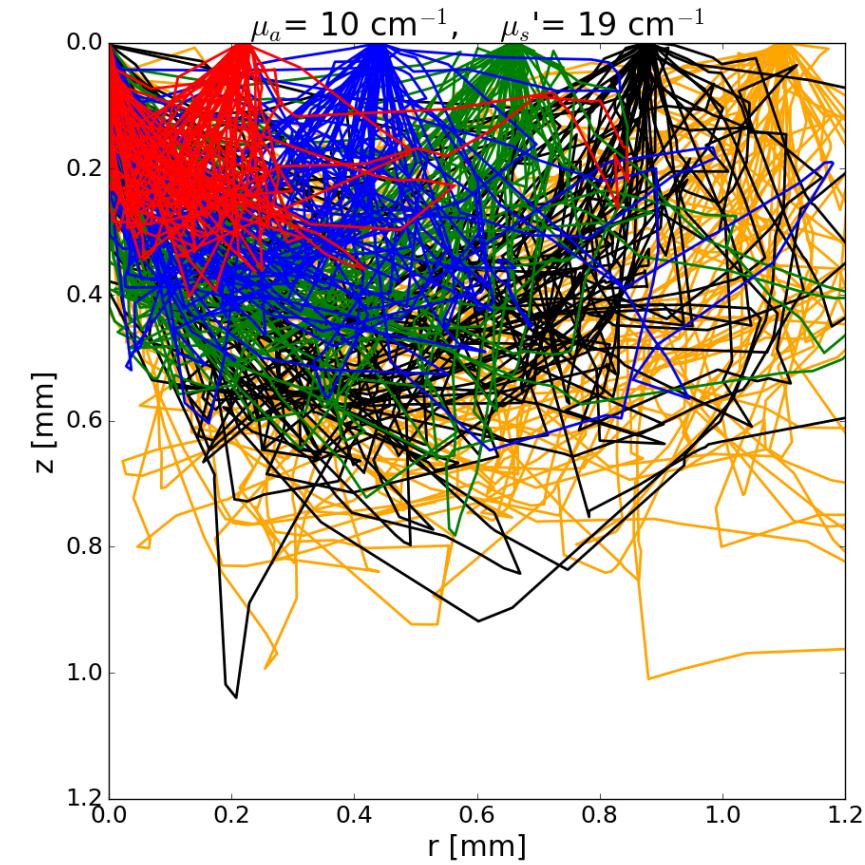
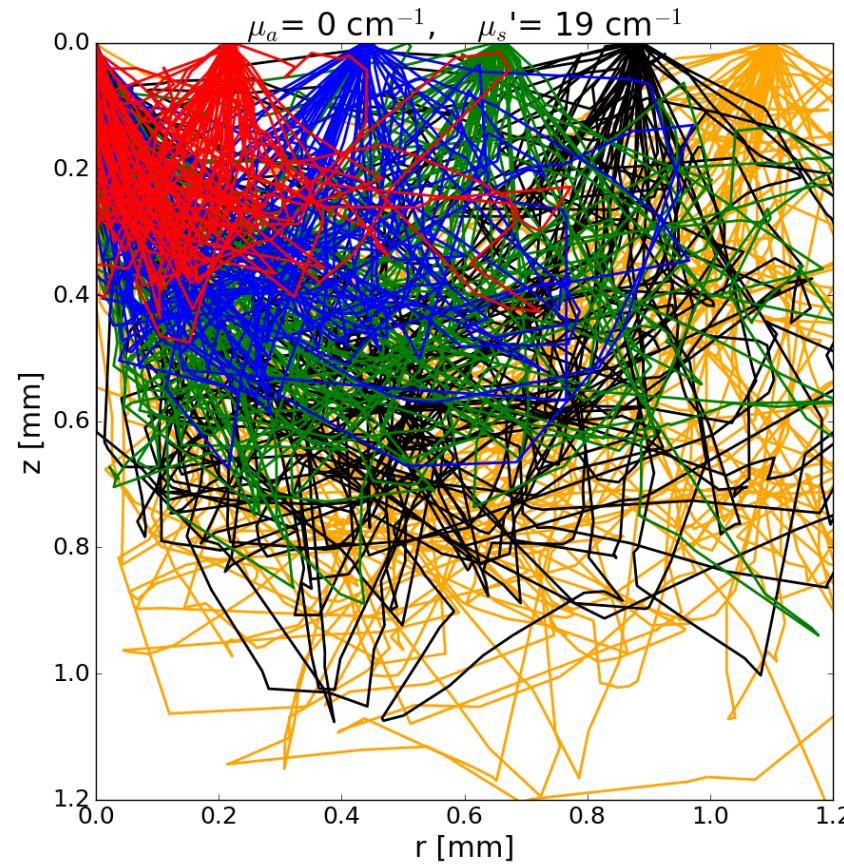
$$p_{\text{GK}}(x) = 2 \alpha_{\text{GK}} g_{\text{GK}} \frac{(1 - g_{\text{GK}}^2)^{2 \alpha_{\text{GK}}}}{\left[(1 + g_{\text{GK}})^{2 \alpha_{\text{GK}}} - (1 - g_{\text{GK}})^{2 \alpha_{\text{GK}}} \right] (1 + g_{\text{GK}}^2 - 2 g_{\text{GK}} x)^{(1 + \alpha_{\text{GK}})}}$$

□ Mie (d_i , N_i , n_m , n_p)



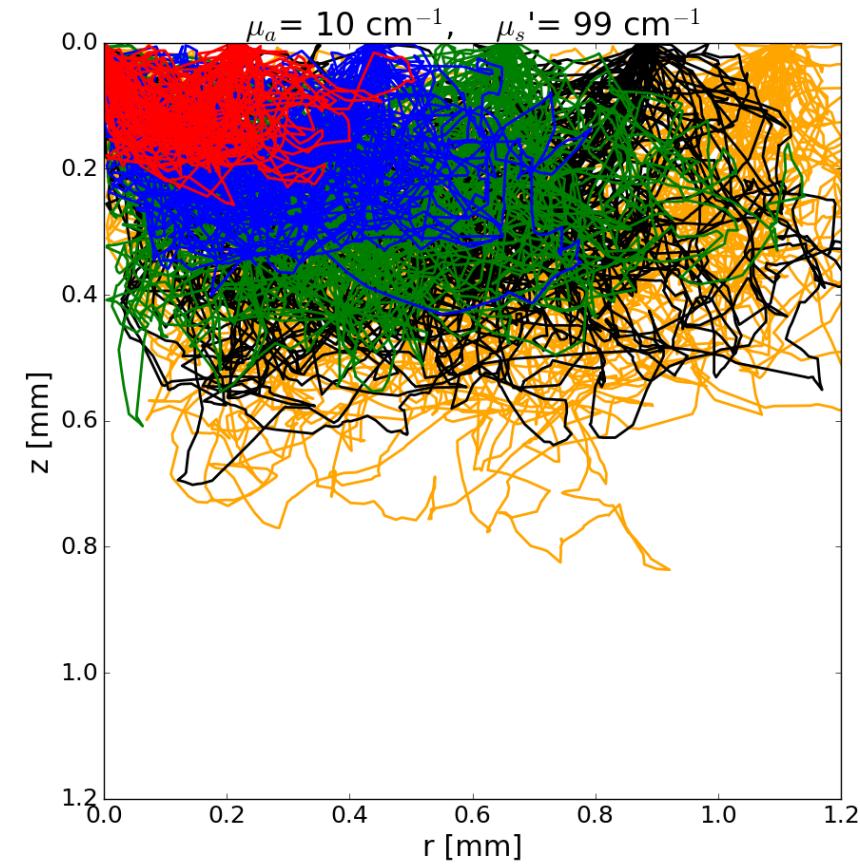
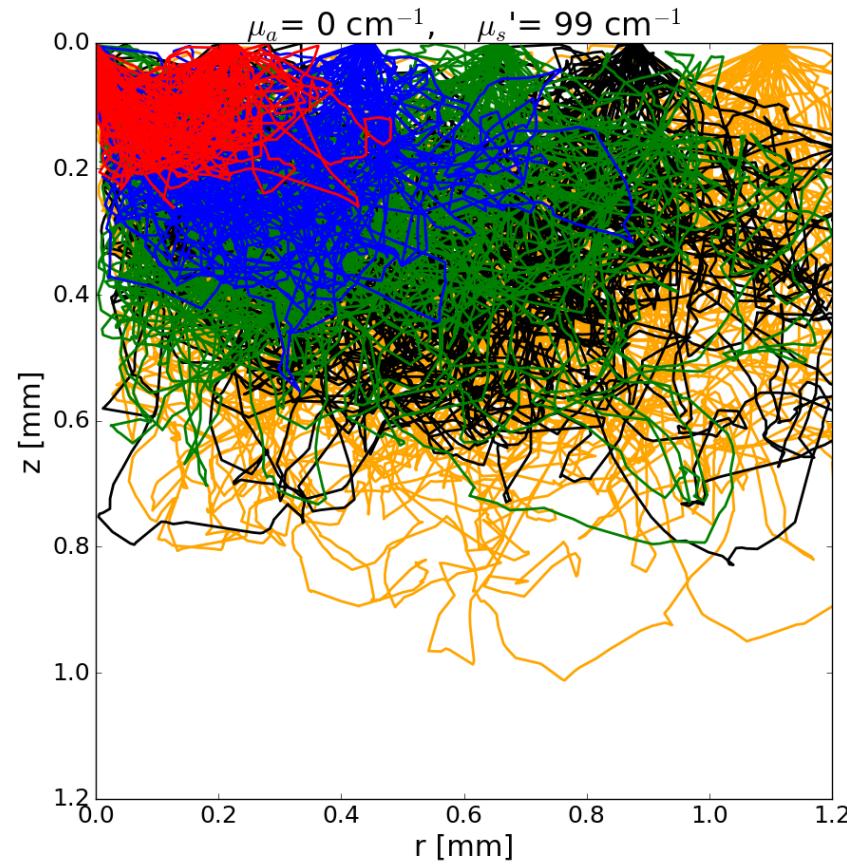


Sledenje fotonov





Sledenje fotonov





RTE

$$dP = - dP_{div} - dP_{ext} + dP_{sca} + dP_{src}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{c \partial t} L(\vec{r}, \hat{s}, t) = & -\hat{s} \cdot \nabla L(\vec{r}, \hat{s}, t) \\ & - (\mu_a + \mu_s) L(\vec{r}, \hat{s}, t) \\ & + \mu_s \int_{4\pi} p(\hat{s}, \hat{s}') L(\vec{r}, \hat{s}', t) d\Omega' \\ & + S(\vec{r}, \hat{s}, t)\end{aligned}$$



Laboratorij *za slikovne tehnologije*