More Rendering Ideas

CGG MFF UK Praha

pepca@cgg.mff.cuni.cz
https://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/

1. Dualita v teorii zobrazování

Zobrazovací rovnice (J. Kajiya, 1986)

– teoretická formulace základů realistického zobrazování

Důležitost ("importance" - B. Smits, 1992)

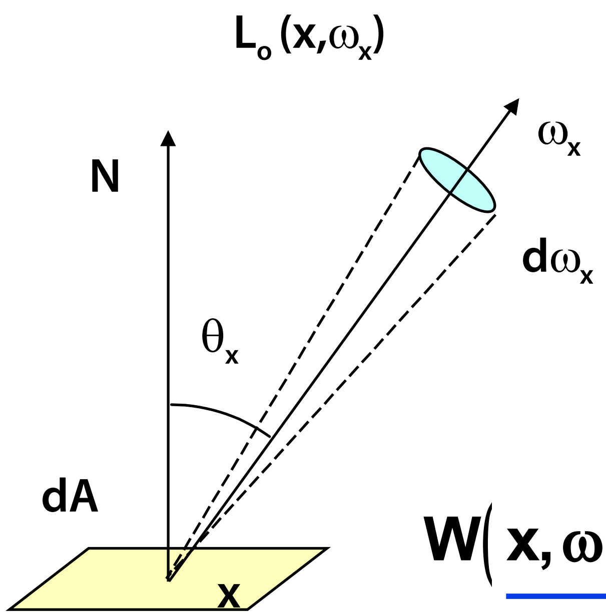
– použití pojmu důležitosti (potenciálu) v radiační metodě

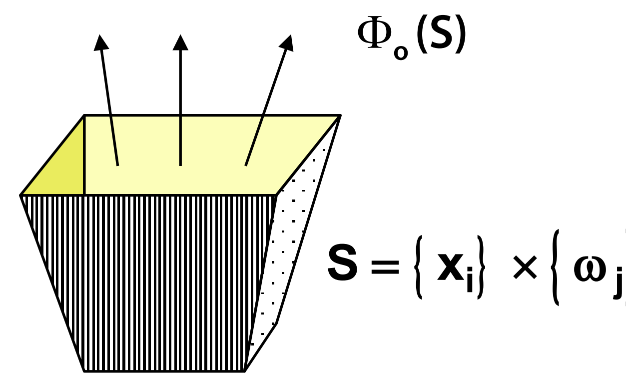
Zavedení <u>duality</u> (S. Pattanaik, 1993)

– duální operátory a rovnice - prostředek k řešení úlohy globálního osvětlení scény

Důležitost (potenciál)

Výkon procházející **svazkem S** jako důsledek jednotkové radiance z bodu **x** směrem $\boldsymbol{\omega}_x$ **[1]**





$$W\left(\underline{x,\omega_x}, S\right) = \frac{\partial^2 \Phi_o\left(S\right)}{L_o\left(x,\omega_x\right)\,\partial\omega_x\,\partial A\cos\theta_x}$$

Výkon procházející svazkem S

Vyjádřený pomocí **radiance** na povrchu ploch

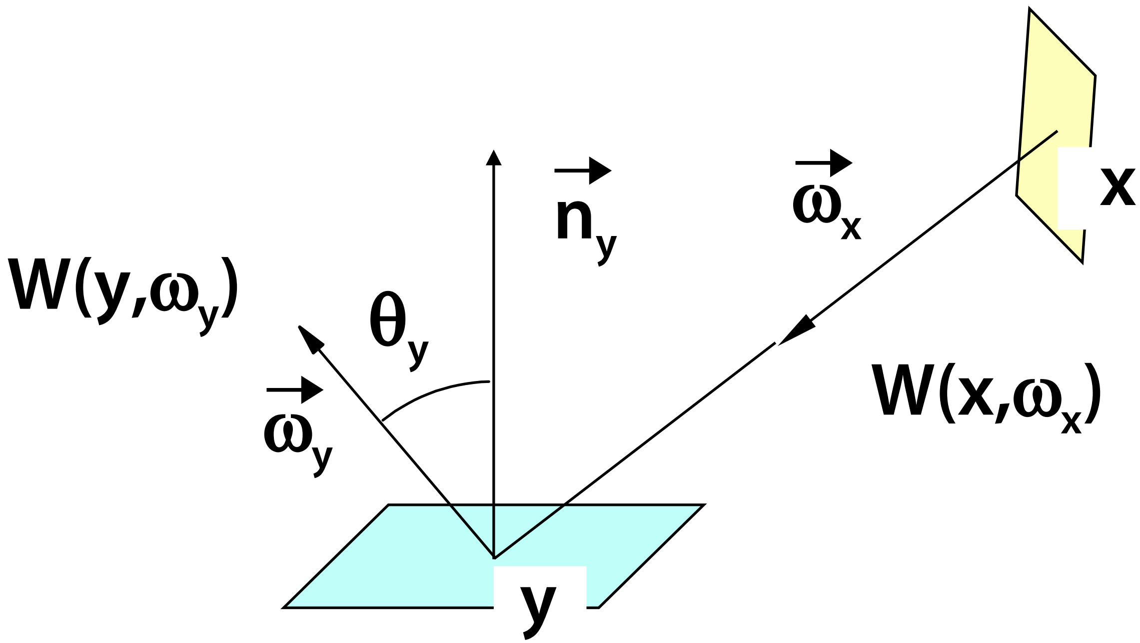
($W_e(x,\omega_x,S)$ je **1** pro $[x,\omega_x] \in S$, jinak **0**):

$$\Phi_o(S) = \int_A \int_{\Omega_x} \underline{L(x,\omega_x)} \cdot W_e(x,\omega_x,S) \cdot \cos\theta_x \, d\omega_x \, dA_x$$

Vyjádřený pomocí **potenciální funkce** a vlastní radiance na povrchu ploch:

$$\Phi_o(S) = \int_A \int_{\Omega_x} L_e(x,\omega_x) \cdot \underline{W(x,\omega_x,S)} \cdot \cos\theta_x \, d\omega_x \, dA_x$$

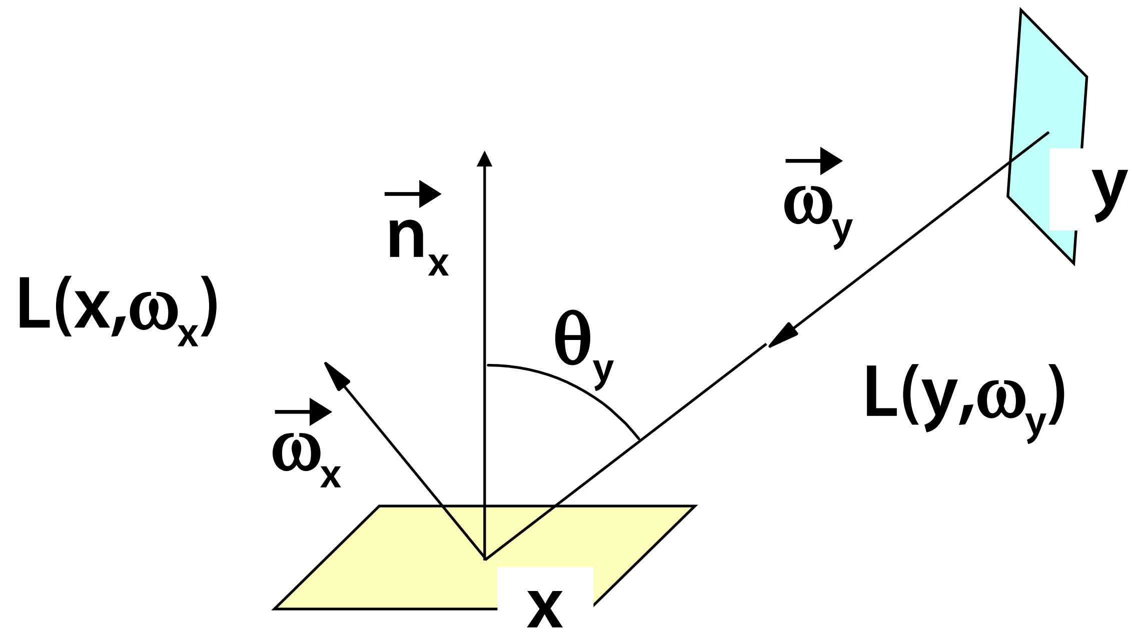
Rovnice pro potenciál



$$\underline{W(x,\omega_x)} =$$

$$= W_e(x,\omega_x) + \int_{\Omega_y} f(y,\omega_x \to \omega_y) \cdot \underline{W(y,\omega_y)} \cdot \cos\theta_y \, d\omega_y$$

Radiance přijímaná z plochy



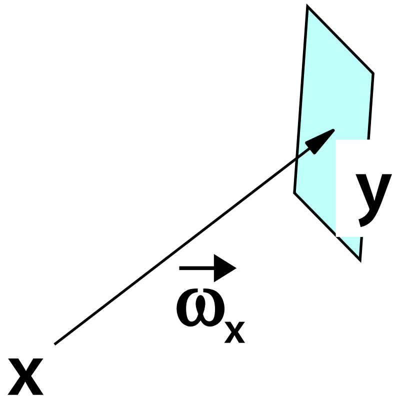
$$\underline{L(x,\omega_x)} =$$

$$= L_e(x,\omega_x) + \int_{\Omega_x^{-1}} f(x,\omega_y \to \omega_x) \cdot \underline{L(y,\omega_y)} \cdot \cos\theta_y \, d\omega_y$$

Funkcionální zápis

$$L = L_e + TL$$

$$W = W_e + T^* W$$



$$(Tg)(x, \omega_x) = \int_{\Omega_x^{-1}} f(x, \omega_y \to \omega_x) \cdot \underline{g(y, \omega_y)} \cdot \cos\theta_y \, d\omega_y$$

$$(T^* g)(x, \omega_x) = \int_{\Omega_y} f(y, \omega_x \to \omega_y) \cdot \underline{g(y, \omega_y)} \cdot \cos\theta_y \, d\omega_y$$

Dualita radiance a potenciálu

Zavedení **skalárního součinu**

$$\langle f, g \rangle = \int_A \int_{\Omega_x} \underline{f(x, \omega_x)} \cdot \underline{g(x, \omega_x)} \cdot \cos\theta_x \, d\omega_x \, dA_x$$

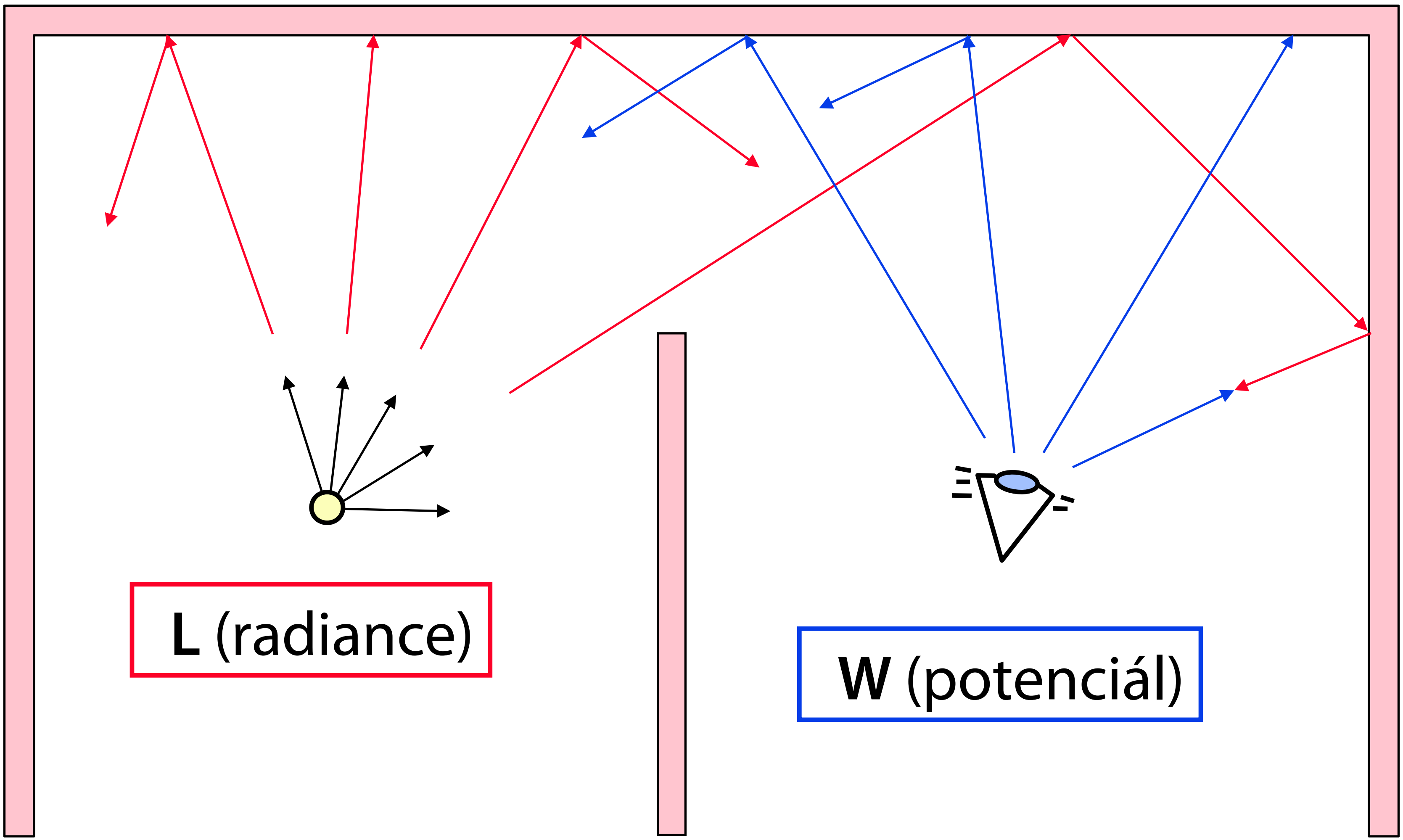
Operátory **T** a **T***jsou **duálně sdružené**

$$\underline{L} = \underline{L_e} + TL$$

$$\underline{W} = \underline{W_e} + T^* W$$

$$\Phi_o(S) = \underline{\langle L, W_e \rangle} = \underline{\langle L_e, W \rangle}$$

Propagace světla a důležitosti



Aplikace na radiační metodu

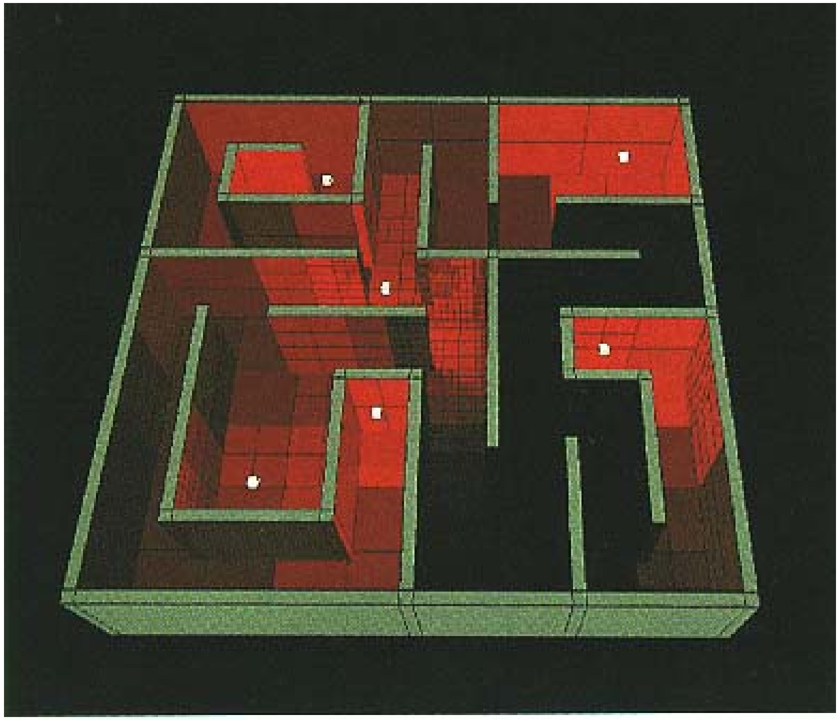
Zlepšení **efektivity výpočtu** (B. Smits, ‘92)

- současný výpočet radiosit i potenciálů
- hierarchické zjemňování se provádí tam, kde dochází k velkému přenosu energie a plošky mají velkou důležitost

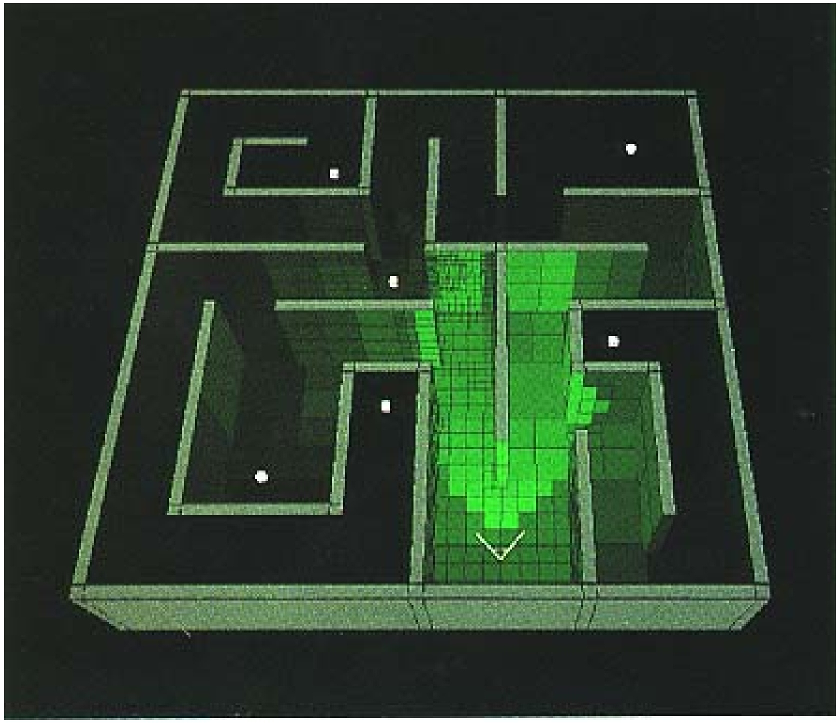
Sbírání (“gathering”) a **střílení** (“shooting”)

- sbírání energie … střílení potenciálu
- střílení energie … sbírání potenciálu

Příklad duální radiosity

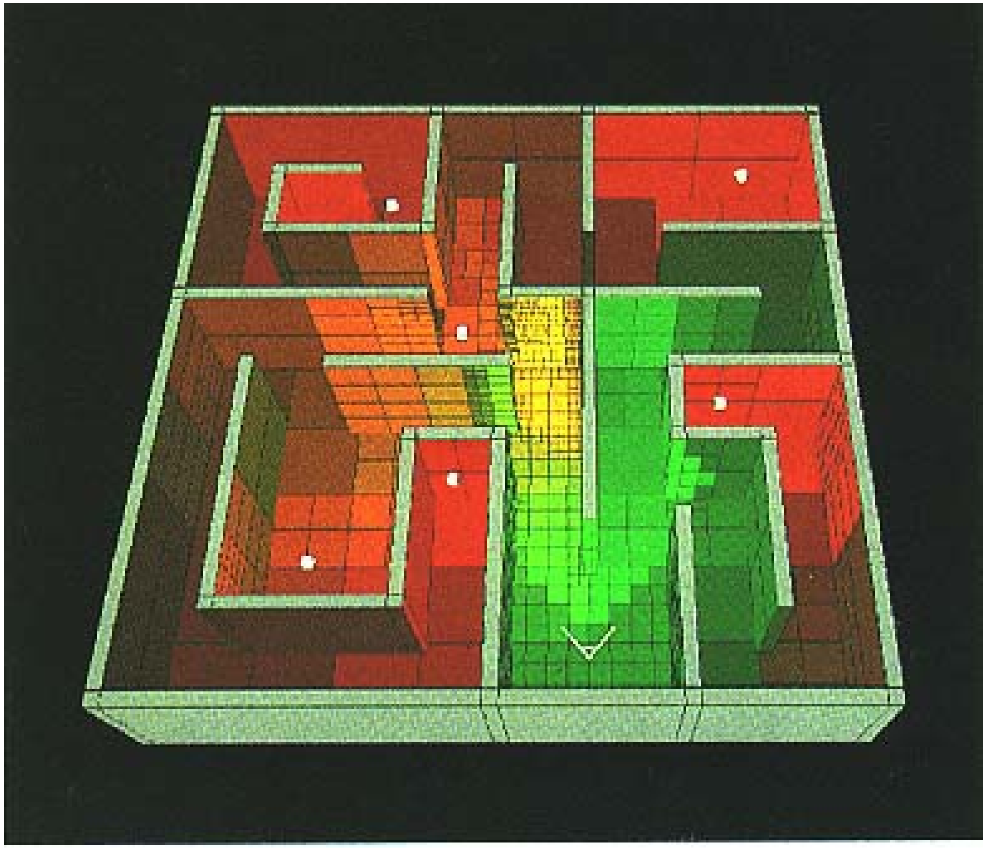


Radiosity solution



Importance solution

Oblast nejvyšší efektivity výpočtu



Superpozice radiosity a důležitosti … pro rendering nejdůležitější partie jsou žluté

Výpočet důležitosti

Předávání **energie** z plošky $\mathbf{A_j}$ na plošku $\mathbf{A_i}$

$$\underline{\mathbf{B}_{i\leftarrow j}} = \rho_i \mathbf{F}_{ij} \mathbf{B}_j = \underline{\rho_i \mathbf{F}_{ij}} \qquad \text{pro } \mathbf{B}_j = 1$$

Předávání **důležitosti** z plošky $\mathbf{A_i}$ na plošku $\mathbf{A_j}$

$$\underline{\mathbf{I}_{i\rightarrow j}} = \mathbf{B}_{i\leftarrow j} \mathbf{I}_i = \underline{\rho_i \mathbf{F}_{ij} \mathbf{I}_i}$$

Soustava rovnic pro důležitost

$$\boxed{\mathbf{I}_i = \mathbf{R}_i + \sum_{j=1}^{N} \rho_j \mathbf{I}_j \mathbf{F}_{ji} \qquad [1]}$$

Dualita radiosity a důležitosti

$\mathbf{R_i > 0}$, jestliže má ploška $\mathbf{A_i}$ **přímý vliv** na výsledný obrázek (je vidět … **faktor příjemce**)

Soustava pro **radiositu** v maticovém tvaru

$$\mathbf{MB = E} \qquad \text{pro} \qquad \mathbf{M_{ij} = \delta_{ij} - \rho_i F_{ij}}$$

Soustava pro **důležitost** v maticovém tvaru

$$\mathbf{M^T I = R}$$

Dualita operátorů **M** a **M**^{T} $\qquad \langle \mathbf{X, MY} \rangle = \langle \mathbf{M^T X, Y} \rangle$

Výpočet osvětlení

Lineární forma **v(*)** vyjadřuje požadovaný **výsledek**

$$\underline{\mathbf{v}(\mathbf{B}) = \langle \mathbf{R}, \mathbf{B} \rangle} = \sum_i \mathbf{R}_i \mathbf{B}_i$$

Použitím **duálních vztahů** dostaneme

$$\underline{\mathbf{v}(\mathbf{B}) = \langle \mathbf{R}, \mathbf{B} \rangle} = \langle \mathbf{M}^T \mathbf{I}, \mathbf{B} \rangle = \langle \mathbf{I}, \mathbf{M}\mathbf{B} \rangle = \underline{\langle \mathbf{I}, \mathbf{E} \rangle}$$

Můžeme tedy řešit jen **původní** nebo jen **duální** soustavu rovnic!

2. Metropolis Light Transport

Theory – not yet …

Metropolis – example

Bidirectional Path-tracing with 40 samples per pixel

Metropolis – example

Metropolis light transport ~250 mutations per pixel

(the same computation time as the previous picture)

References

E. Lafortune: ***Mathematical Models and Monte Carlo Algorithms for Physically Based Rendering***, PhD thesis, KU Leuven, 11-28

F. Sillion, C. Puech: ***Radiosity and Global Illumination***, Morgan Kaufmann, 1994, 85-90

E. Veach, L. J. Guibas: ***Metropolis Light Transport***, SIGGRAPH '97

Matt Pharr: ***Metropolis Sampling***, slides for cs348b course, May 2003