

### 6.3. ANALITIČKI MODELI OSVJETLJAVANJA



#### Postupak isijavanja (engl. Radiosity)

- Cook i Torrance načinili su model osvjetljavanja
- ambijentna komponenta zamijenjena je točnijim proračunom globalnog utjecaja
- u Phong-ovom modelu proračun zrcalne komponente nije točan za male kutove (npr. papir)
- ovisnost zrcalno reflektirane svjetlosti o valnim duljinama

## Osnovni pojmovi

- fizikalno zasnovan model osvjetljavanja
- interakcija svjetlosti s površinom

svjetlosni tok (eng. flux)  $\Phi$  - [lm] lumeni

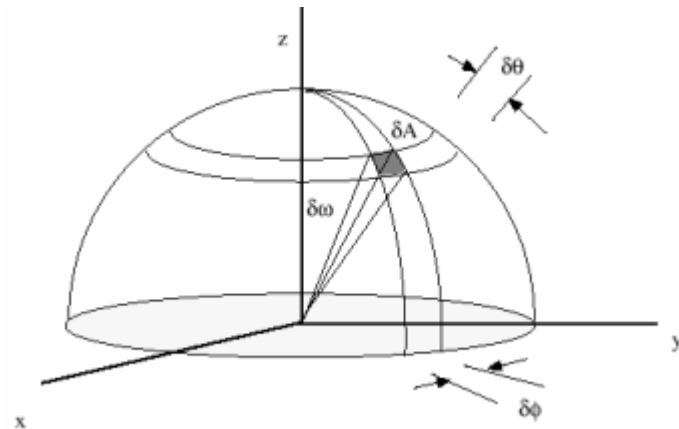
- mjera emitiranja svjetlosne energije u jedinici vremena (količina svjetlosne energije što je promatrani izvor isijava u okolni prostor)

prostorni kut (eng. solid angle) - [sr] steradian

- mjeri dio površine **polukugle** koju obuhvaća konus s vrhom u središtu (površina cijele kugle je  $4\pi r^2$ )

cijela polukugla je  $2\pi$

$$d\omega = \frac{dA}{r^2}$$



gustoća svjetlosnog toka, rasvjetljenost - [lux] luks

- osvjetljenje plohe kojoj na svaki kvadratni metar površine dolazi jednoliko raspoređen svjetlosni tok jednog lumena [ $\text{lm}/\text{m}^2$ ] (eng. illuminosity)

# Radiometrijske i fotometrijske veličine

Naziv	Definicija	Oznaka radi/foto	Jedinice	Radiometrijski	Jedinice	Fotometrijski
energija		$Q_e, Q_v$	[J = Ws] Joule	energija isijavanja <b>radiant energy</b>	[talbot]	energija svjetlosti <b>luminous energy</b>
tok Flux	$dQ/dt$	$\Phi_e, \Phi_v$	[W = J/s]	tok isijavanja <b>radiant flux</b>	[lm = talbot/s] lumen	svjetlosni tok <b>luminous flux</b>
gustoća toka Flux density	$dQ/(dt dA)$	$E_e, E_v$	[E = W/ m <sup>2</sup> ]	emisivnost <b>irradiance</b>	[lux = lm/m <sup>2</sup> ]	<b>iluminance</b>
		$B_e = M_e,$ $B_v = M_v$	[W/ m <sup>2</sup> ]	isijavanje <b>radiosity</b>	[lux]	rasvjetljenost <b>illuminosity</b>
	$dQ/(dA d\omega dt)$	$L_e, L_v$	[W/ m <sup>2</sup> sr]	<b>radiance</b>	[lm/ m <sup>2</sup> sr]	<b>luminance</b>
intenzitet Intensity	$dQ/d\omega dt$	$I_e, I_v$	[W/ sr]	intenzitet <b>intensity</b>	[cd = lm/sr] kandela	intenzitet svj. <b>intensity</b>

## Model osvjetljavanja s ravnotežom energije u sceni

energija koja osvjetljava površinu = energija koja se odbija od površine  
+ energija koja se lomi

$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_t$$

Goralov model – 1984. adaptirao je postupak isijavanja iz termalnog inženjerstva

$$I_v = I_l + r_d \int_0^{2\pi} I_i(\theta, \varphi) (\vec{l}_i \cdot \vec{n}) d\omega$$

$I_v$  intenzitet promatrane površine

$I_l$  emisivnost površine (ukoliko je površina izvor svjetlosti)

$I_i$  intenzitet isijavanja pojedinih ostalih površina

$d\omega$  prostorni kut

$r_d$  koeficijent difuzne refleksije

## Koraci postupka isijavanja:

### Opis scene

#### geometrijski opis scene

- omeđenost tijela površinama koja imaju položaj i orijentaciju
- omeđenost scene (zbog ravnoteže energije) tj. ako je vanjski prostor omeđimo ga

#### fizikalni opis scene

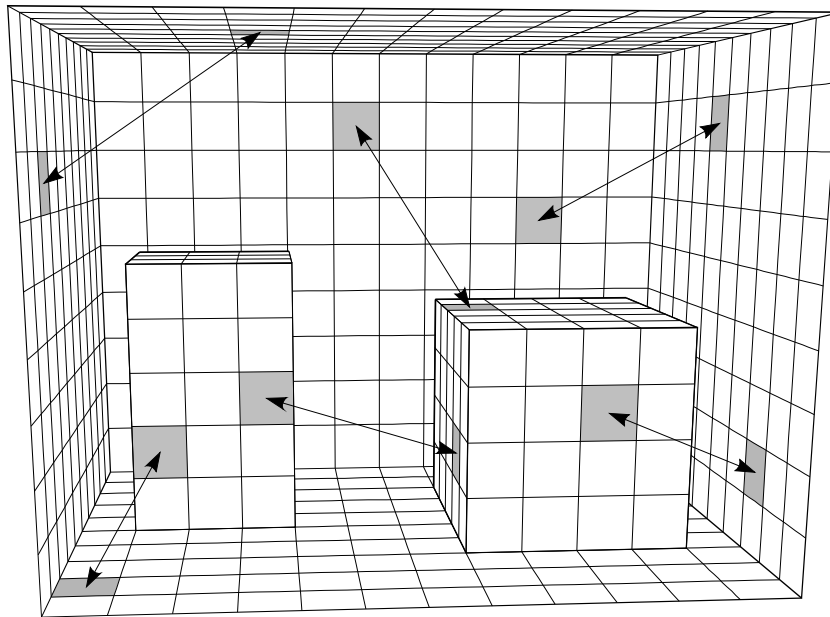
- podaci o refleksivnosti, boji, uzorku površine

[http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/radiositySVG/radiosity\\_shooting\\_vs\\_gathering\\_java\\_browser.html](http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/radiositySVG/radiosity_shooting_vs_gathering_java_browser.html)

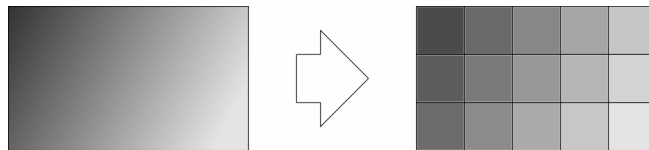
- funkcija **BRDF** (engl. *Bidirectional Reflectance Distribution Function*) određuje koliko je svjetla koje dolazi iz smjera  $k$  do točke  $i$  na površini reflektirano u smjeru  $j$  (funkcija može biti različita za valne duljinu  $\lambda$  svjetla RGB)  $f(k \rightarrow i \rightarrow j, \lambda)$

1. Umrežavanje scene
2. Izračunavanje faktora utjecaja
3. Rješavanje sustava jednačbi
4. Prikaz rezultata

# 1. Umrežavanje scene, aproksimacija sa sumom $i$ krpica



$k$  - promatrana krpica,  
 $I_{vk}$  - ukupni intenzitet promatrane krpice  
 $I_{lk}$  - emisivnost promatrane krpice  
 $I_i$  - intenzitet drugih krpica



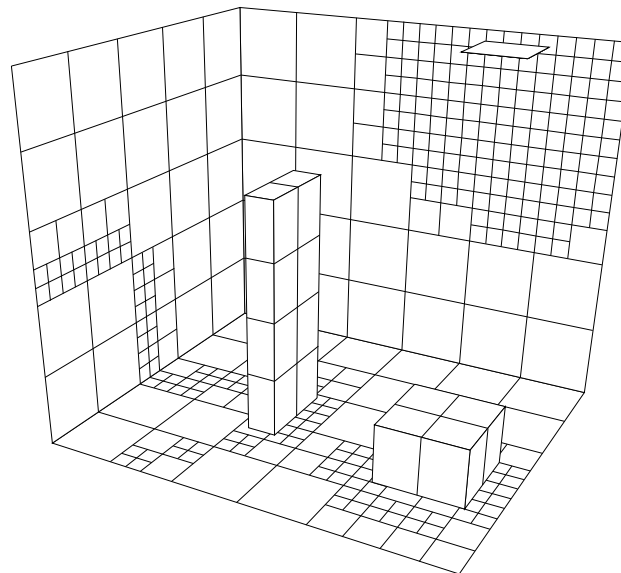
$$I_{vk} = I_{lk} + r_{dk} \sum_{i=1}^n I_i F_{i,j}$$

$n$  broj krpica

$F_{ij}$  faktori utjecaja  
 (engl. Form factor )

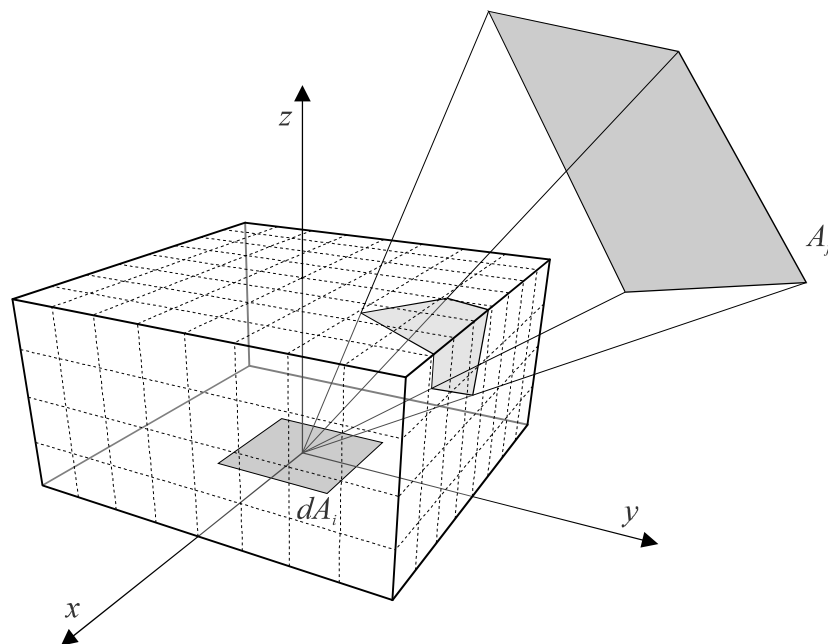
## Podjela na elemente

- približno jednaki poligoni (ili hijerarhijski, adaptivno) koji zadržavaju svojstva površine kojoj pripadaju
- površine izvora sadržavaju početnu energiju
- što je podjela finija rezultat je točniji



## 2. Proračun faktora utjecaja (proračun geometrijskih odnosa između elemenata)

**faktor utjecaja** između dva elementa određuje koliki dio energije koju isijava prvi element dolazi do drugog.





## Razmjena svjetlosne energije među elementima u sceni

- energija se prenosi među elementima u sceni tako da se više energije predaje elementima koji se vide pod većim prostornim kutom
- ukoliko su zaklonjeni energija se uopće ne predaje
- svaki element je idealni difuzni element

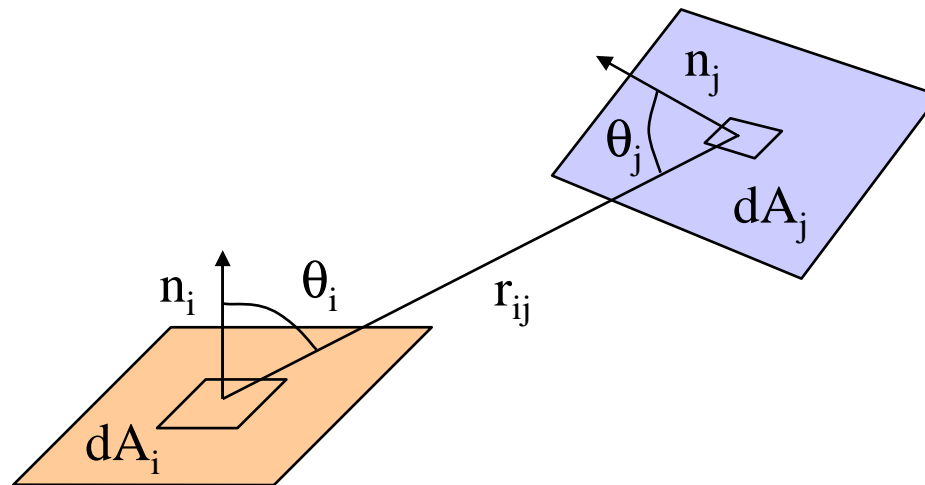
### **faktor utjecaja**

- geometrijski odnos između dva elementa
- specificira koji dio ukupne energije jedan element predaje nekom drugom elementu
- za svaki par elemenata u sceni treba odrediti  $F_{i,j}$
- odrede se jednom na početku (zahtjevno računanje) za ravnotežno stanje
- promjena pogleda, gašenje izvora nije potrebno ponovo računati

## Faktori utjecaja (eng. form factor)

- veliki dio proračuna
- potrebno odrediti za svaki par krpica u sceni
- $d\omega_j$                       diferencijalni prostorni kut
- $dF_{dA_i dA_j}$                 dio svjetlosne energije koji napušta  $dA_i$  i dolazi do  $dA_j$
- [http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/radiosityFormFactor/radiosity\\_form\\_factor\\_java\\_browser.html](http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/radiosityFormFactor/radiosity_form_factor_java_browser.html)

$$dF_{dA_i dA_j} = \frac{\cos \Theta_i}{\pi} d\omega_j = \frac{\cos \Theta_i \cos \Theta_j}{\pi r^2} dA_j$$



$$F_{A_i A_j} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \Theta_i \cos \Theta_j}{\pi r_{i,j}^2} V_{ij} dA_i dA_j$$

$$V_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{površina je zaklonjena} \\ 1 & \text{površina je vidljiva} \end{cases}$$

<http://nis-lab.is.s.u-tokyo.ac.jp/~haga/applet/Radiosity/color/MainAppletC.html>

### 3. Rješavanje sustava jednačbi

$$I_{vk} = I_{lk} + r_{dk} \sum_{i=1}^n I_i F_{i,j}, \quad k - \text{krpica}$$

$$I_{vk} - r_{dk} \sum_{i=1}^n I_i F_{i,j} = I_{lk}$$

$$\begin{bmatrix} 1-\rho_1 F_{1,1} & -\rho_1 F_{1,2} & \cdot & \cdot & -\rho_1 F_{1,n} \\ -\rho_2 F_{2,1} & 1-\rho_2 F_{2,2} & \cdot & \cdot & -\rho_2 F_{2,n} \\ \cdot & \cdot & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & & \cdot \\ -\rho_{n-1} F_{n-1,1} & -\rho_{n-1} F_{n-1,2} & \cdot & \cdot & -\rho_{n-1} F_{n-1,n} \\ -\rho_n F_{n,1} & -\rho_n F_{n,2} & \cdot & \cdot & 1-\rho_n F_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ B_{n-1} \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ E_{n-1} \\ E_n \end{bmatrix}$$

$F_{i,j}$  faktori utjecaja (između elemenata  $i, j$ )

$B_i$  nepoznanice – vrijednosti isijavanja koje svaki element ima u stanju ravnoteže

$E_i$  početna isijavanja (izvori)

$\rho_i$  refleksivnost elemenata

[http://www.gris.uni-tuebingen.de/grisalt/projects/grdev/applets/progressiverefinement/html/index\\_en.html](http://www.gris.uni-tuebingen.de/grisalt/projects/grdev/applets/progressiverefinement/html/index_en.html)

