Estimating Reflection Parameters from a Single Color Image

Shoji Tominaga a Norihiro Tanaka

v rámci predmetu

Aplikácie počítačovej grafiky a videnia

prezentuje Stanislav Fecko

9.11.2009

Čo nás čaká

1. Na úvod
   - Autori
   - O čom to bude
   - Osvetľovací model
2. Analýza valcovitého objektu
   - Farebný histogram
   - Určenie farieb
   - Drsnosť a váhový pomer
3. Analýza všeobecnej plochy
   - Úvod
   - Určenie farby
   - Drsnosť
4. Výsledky
   - Na valci
   - Na všeobecnej ploche

Autori článku

Shoji Tominaga

profesor na Osaka Electro-Communication University

Norihiro Tanaka

PhD študent na tej istej univerzite

Cieľ

Získať čo najlepší model reálneho materiálu
Čiže získať vstupné parametre do osvetľovacieho modelu

Cieľ

Získať čo najlepší model reálneho materiálu
Čiže získať vstupné parametre do osvetľovacieho modelu

Dá sa nájsť medódou pokusu a omylu
(neelegantné a hlavne náročné riešenie)

Cieľ

Získať čo najlepší model reálneho materiálu
Čiže získať vstupné parametre do osvetľovacieho modelu

Dá sa nájsť medódou pokusu a omylu
(neelegantné a hlavne náročné riešenie)

Autori navrhujú postup, ako ich **automaticky** získať z fotografie reálneho objektu

Predchádzajúce práce

- C.L. Novak and S.A. Shafer (1994)

Predchádzajúce práce

- C.L. Novak and S.A. Shafer (1994)
- Y. Sato and K. Ikeuchi (1994)

Predchádzajúce práce

- C.L. Novak and S.A. Shafer (1994)
- Y. Sato and K. Ikeuchi (1994)
- S. Tominaga (1996)

Predchádzajúce práce

- C.L. Novak and S.A. Shafer (1994)
- Y. Sato and K. Ikeuchi (1994)
- S. Tominaga (1996)
- S. Tominaga and N. Tanaka (1999)

Predchádzajúce práce

- C.L. Novak and S.A. Shafer (1994)
- Y. Sato and K. Ikeuchi (1994)
- S. Tominaga (1996)
- S. Tominaga and N. Tanaka (1999)
- tento článok (2000)

Osvetľovací model

Požijeme **Phongov** osvetľovací model

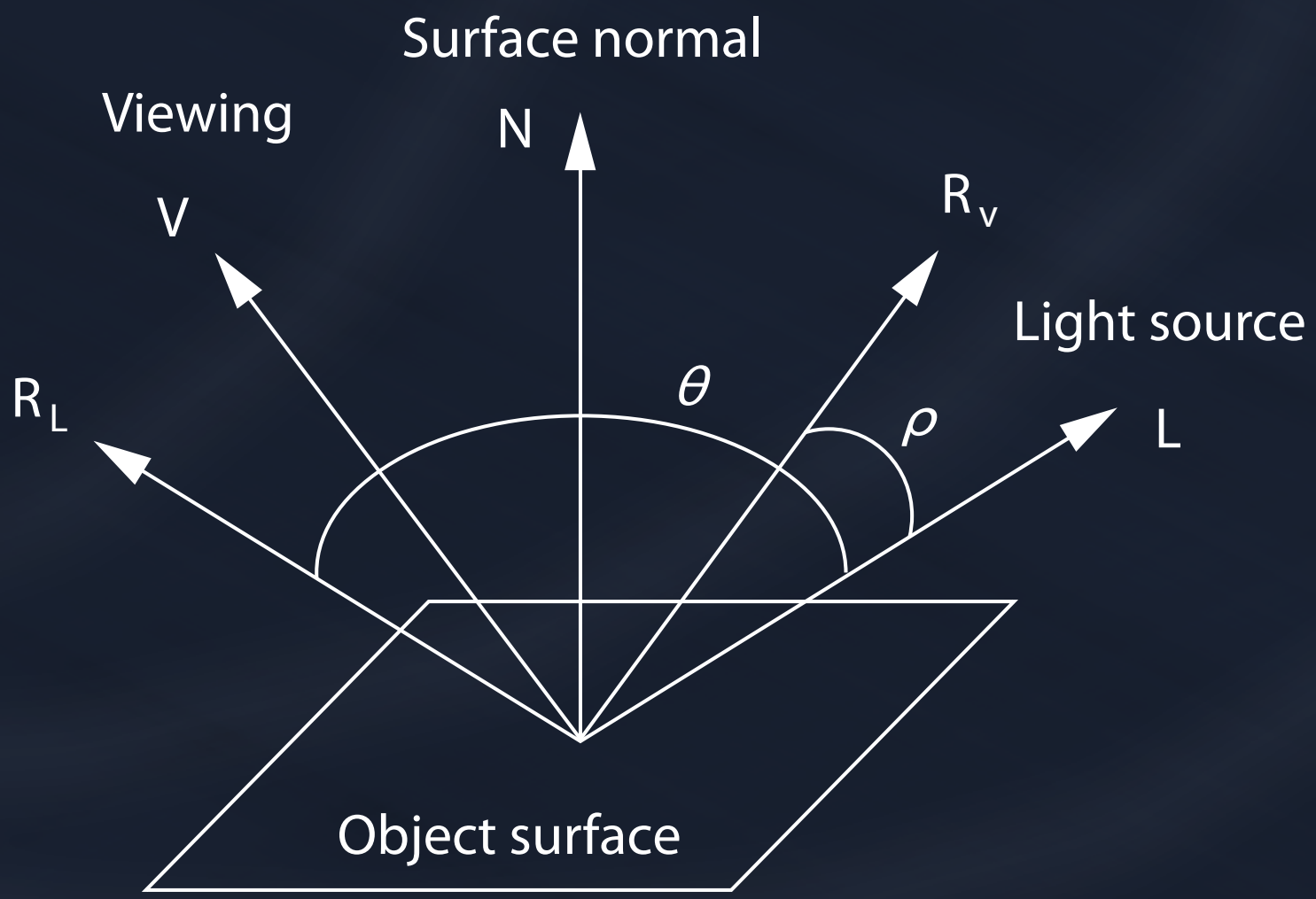
Osvetľovací model

Požijeme **Phongov** osvetľovací model

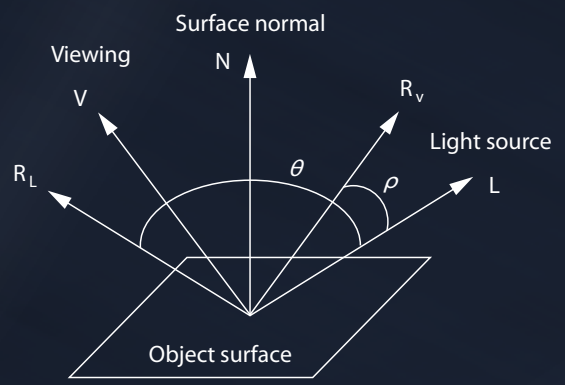
Výsledná farba sa skladá z dvoch zložiek

- vlastná farba materiálu (diffuse)
- farba svetla (specular)
- farbu okolia (ambient) neuvažujeme

Osvetľovací model (2)



Osvetľovací model (3)



Farbu v bode x získame ako

$$\begin{aligned} \mathbf{c}(x) &= \alpha(\mathbf{N}\cdot\mathbf{L})\mathbf{c}_b + \beta(\mathbf{R}_v\cdot\mathbf{L})^n\mathbf{e} \\ &= \alpha(\cos\theta)\mathbf{c}_b + \beta(\cos^n\rho)\mathbf{e} \end{aligned}$$

Zadanie úlohy

$$\begin{aligned} \mathbf{c}(x) &= \alpha(\mathbf{N}\cdot\mathbf{L})\mathbf{c}_b + \beta(\mathbf{R}_v\cdot\mathbf{L})^n\mathbf{e} \\ &= \alpha(\cos\theta)\mathbf{c}_b + \beta(\cos^n\rho)\mathbf{e} \end{aligned}$$

Ako hľadané parametre modelu nás teda zaujímajú

Zadanie úlohy

$$\begin{aligned} \mathbf{c}(x) &= \alpha(\mathbf{N}\cdot\mathbf{L})\mathbf{c}_b + \beta(\mathbf{R}_v\cdot\mathbf{L})^n\mathbf{e} \\ &= \alpha(\cos\theta)\mathbf{c}_b + \beta(\cos^n\rho)\mathbf{e} \end{aligned}$$

Ako hľadané parametre modelu nás teda zaujímajú

- vektory $\mathbf{c}_b$ a $\mathbf{e}$

Zadanie úlohy

$$\begin{aligned} \mathbf{c}(x) &= \alpha(\mathbf{N}\cdot\mathbf{L})\mathbf{c}_b + \beta(\mathbf{R}_v\cdot\mathbf{L})^n\mathbf{e} \\ &= \alpha(\cos\theta)\mathbf{c}_b + \beta(\cos^n\rho)\mathbf{e} \end{aligned}$$

Ako hľadané parametre modelu nás teda zaujímajú

- vektory $\mathbf{c}_b$ a $\mathbf{e}$
- exponent n

Zadanie úlohy

$$\begin{aligned} \mathbf{c}(x) &= \alpha(\mathbf{N}\cdot\mathbf{L})\mathbf{c}_b + \beta(\mathbf{R}_v\cdot\mathbf{L})^n\mathbf{e} \\ &= \alpha(\cos\theta)\mathbf{c}_b + \beta(\cos^n\rho)\mathbf{e} \end{aligned}$$

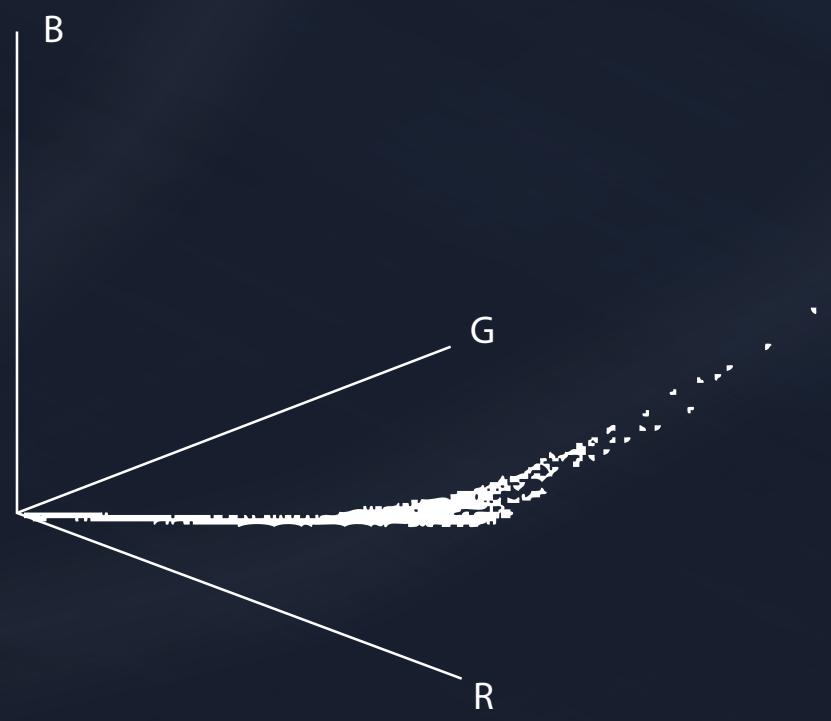
Ako hľadané parametre modelu nás teda zaujímajú

- vektory $\mathbf{c}_b$ a $\mathbf{e}$
- exponent n
- pomer váhových konštánt β/α

Histogram

Vytvoríme histogram nasnímaného obrázku

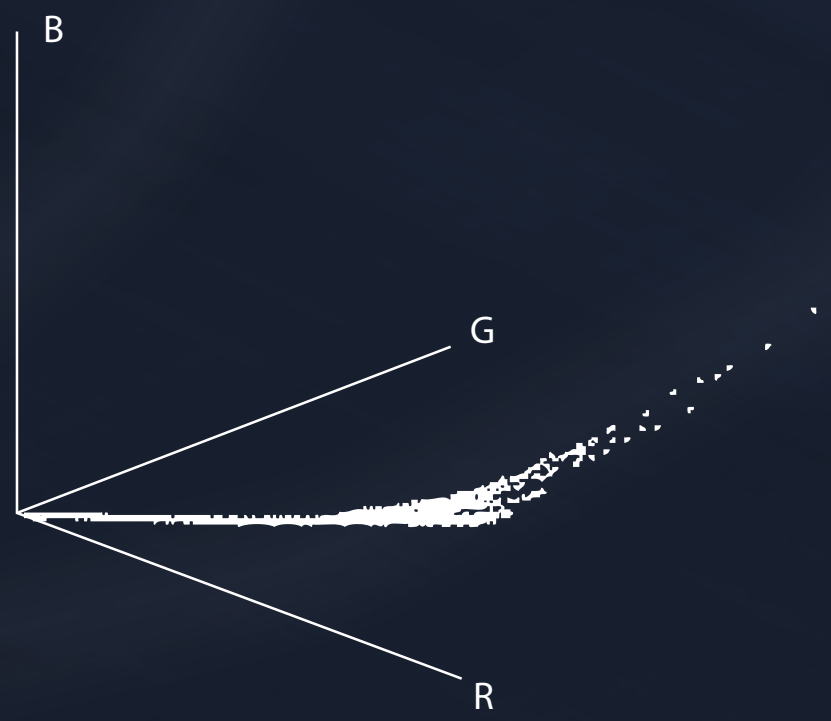
Farebné zložky budeme reprezentovať ako pozíciu v 3D priestore



Histogram (2)

Všimnime si, ako sa body histogramu zhlukujú okolo **dvoch** úsečiek

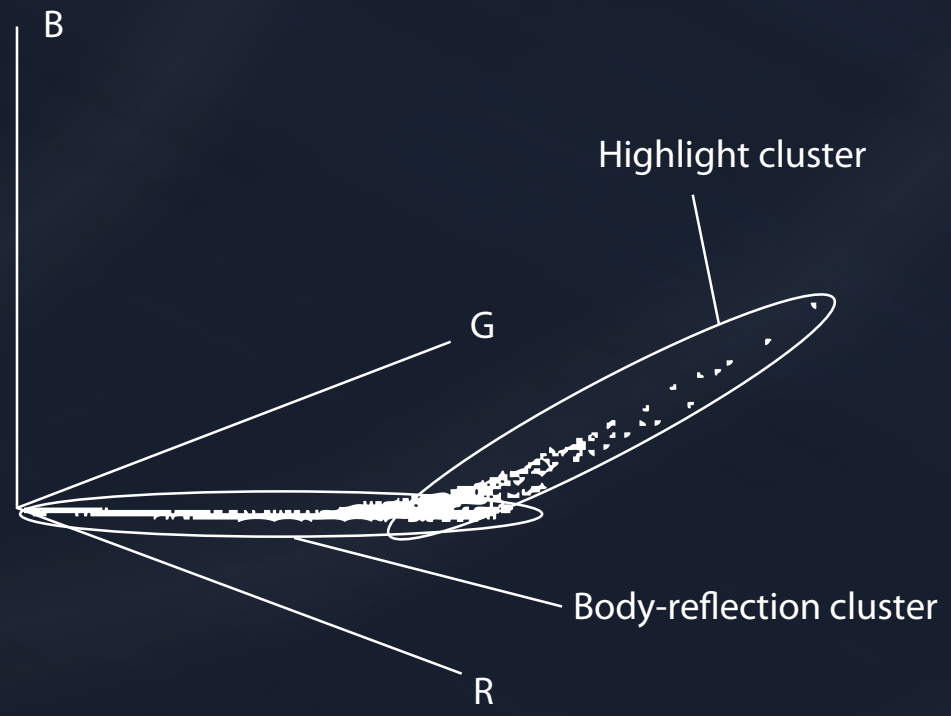
Ďalej sa budeme snažiť čo najpresnejšie zistiť **smery** týchto zhlukov



Histogram (2)

Všimnime si, ako sa body histogramu zhlukujú okolo **dvoch** úsečiek

Ďalej sa budeme snažiť čo najpresnejšie zistiť **smery** týchto zhlukov



Histogram (3)

Jednotlivé zhluky reprezentujú dve farby

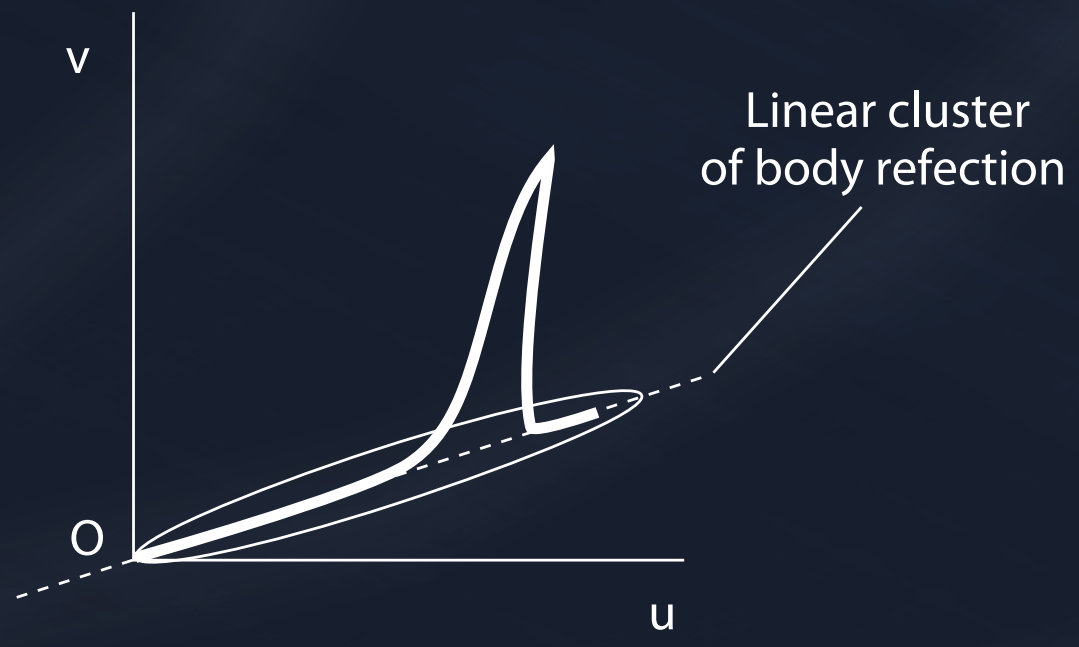
- Skupina bodov začínajúca v strede súradnicovej sústavy reprezentuje **vlastnú farbu telesa**
- Body v druhom chumáči zase vyjadrujú odrazenú **farbu svetla**

Smery týchto útvarov určujú farebné zložky farby, kým ich **dĺžky** zase vyjadrujú intenzitu

Histogram (4)

Keďže farby na obrázku sú lineárnymi kombináciami dvoch farieb ($\mathbf{c}_b$ a $\mathbf{e}$), body histogramu sa nachádzajú v rovine.

Premietneme si teda body do tejto roviny:

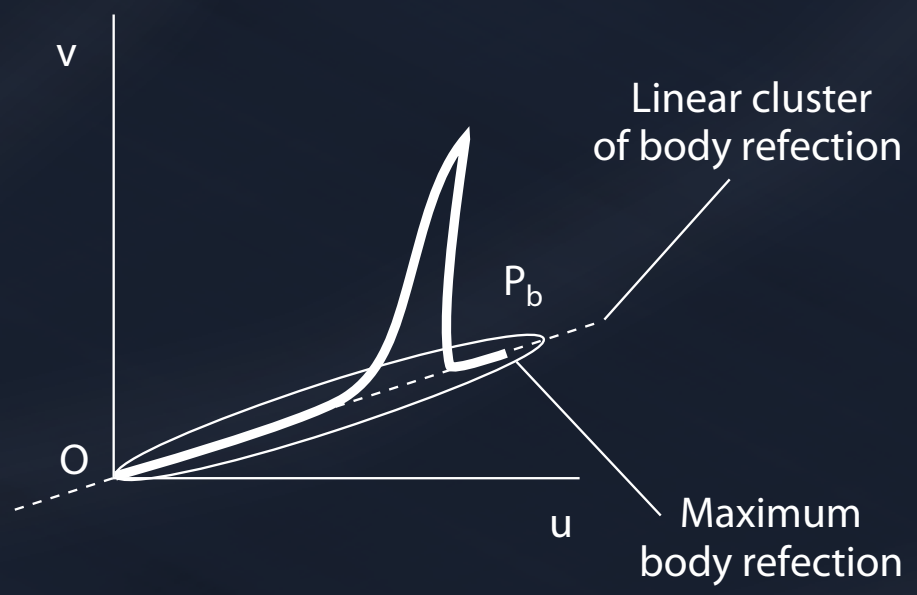


Vlastná farba telesa

Aby sme zistili smer a dĺžku zhluku bodov reprezentujúcich farbu telesa, nájdeme 'posledný' bod P_b tohoto útvaru

Ďalej využijeme fakt, že tento zhluk začína v počiatku

$\rightarrow$ Potom už máme krajné body a teda jednoznačný vektor



Vlastná farba telesa (2)

Bod P_b nájdeme na základe toho, že reprezentuje najsýtejšiu farbu na obrázku

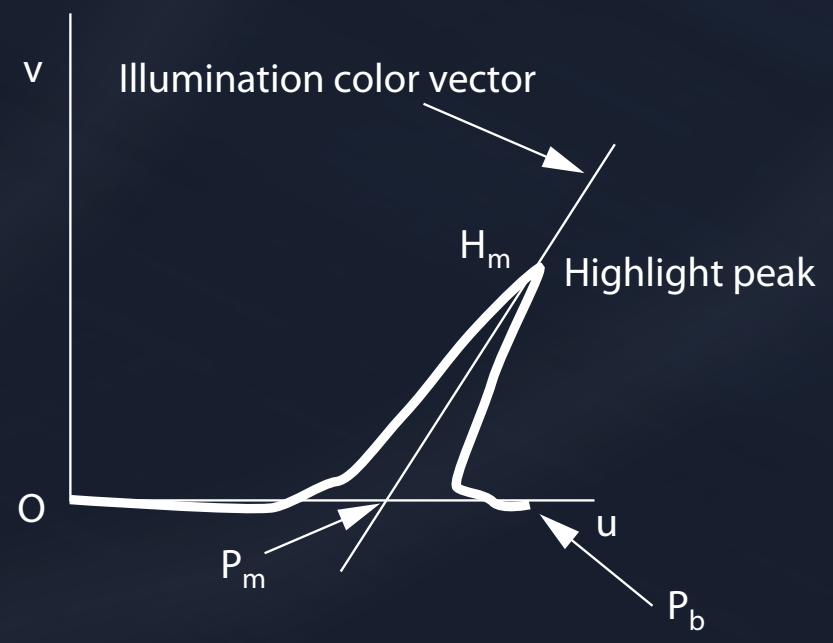
Preto smer úsečky $\overline{OP_b}$ určuje farbu telesa, kým dĺžka tejto úsečky zase váhu α

$$\mathbf{c}_b = \frac{\overrightarrow{OP_b}}{\left|\overrightarrow{OP_b}\right|}$$

Jediné čo ešte treba urobiť, je spätne transformovať $\overrightarrow{OP_b}$ do RGB priestoru.

Odrazená farba

Aby sme našli aj druhý farebný vektor, budeme potrebovať zistiť, kde tento zhluk začína. Označme si ten bod P_m a vrchol zhluku H_m

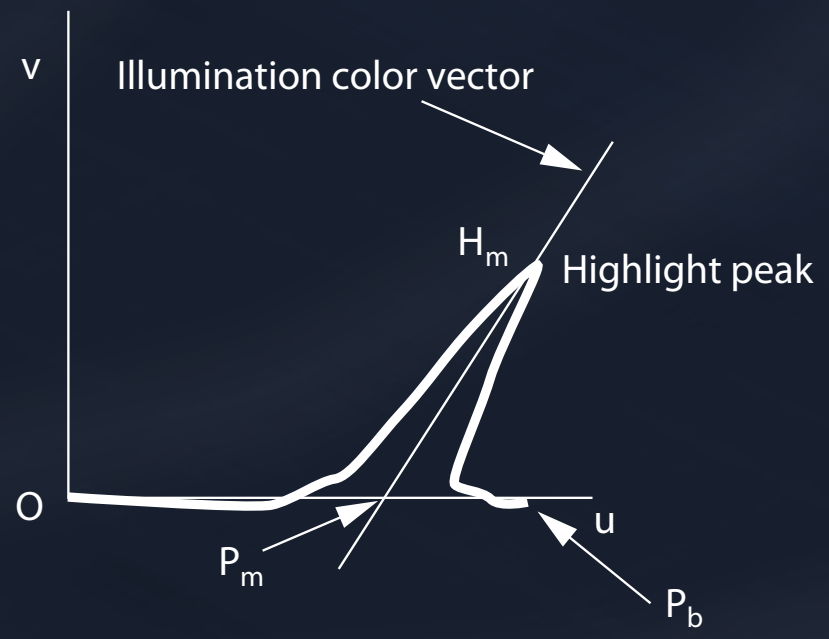


Graf je zrotovaný tak, aby $\overrightarrow{OP_b}$ splynul s osou u

Odrazená farba (2)

Najbližším cieľom bude zistiť pozície bodov H_m a P_m

- H_m - ten vieme, je na hrote histogramu
- P_m - tu je nulová zložka odrazenej farby a teda je tu prítomná iba vlastná farba pozadia. To, že s akou intenzitou, závisí na uhle dopadu svetla



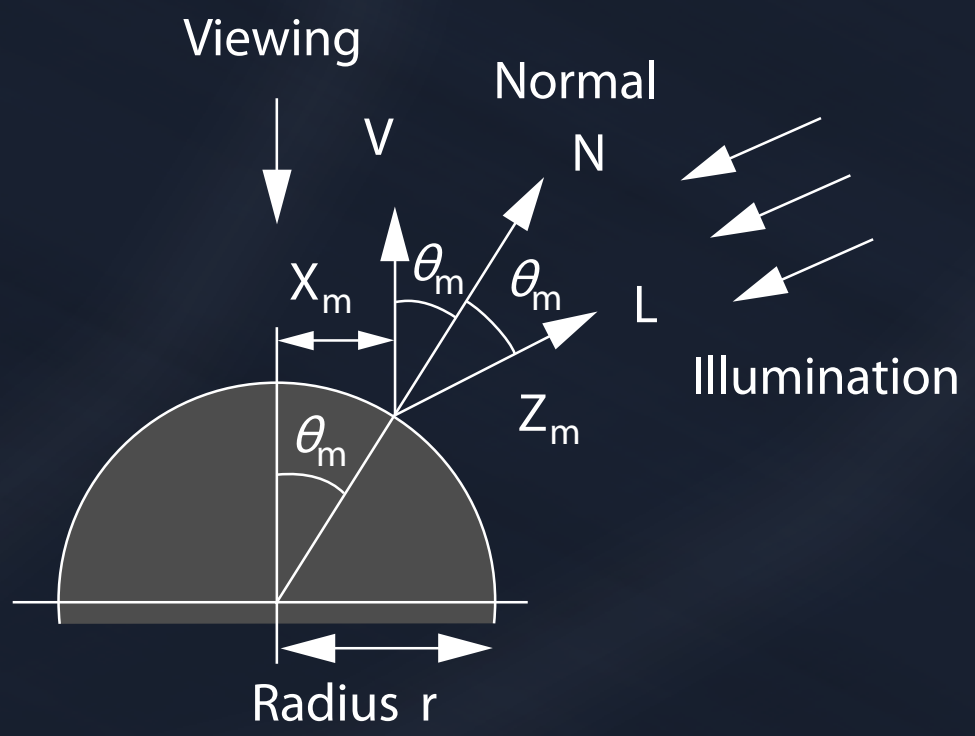
Odrazená farba (3)

Spätne na obrázku nájdeme bod zodpovedajúci H_m

Následne vieme zistiť jeho vodorovnú vzdialenosť X_m od stredu valca

Keďže sa jedná o bod z vrchola histogramu, vieme, že v tomto mieste sa svetlo ($\mathbf{L}$) odráža priamo ku kamere ($\mathbf{V}$) a teda že $\measuredangle \mathbf{V}\ \mathbf{N} = \measuredangle \mathbf{N}\ \mathbf{L}$

Odrazená farba (4)



Preto platí nasledovný vzťah

$$\theta_m = \sin^{-1}(X_m / r)$$

Odrazená farba (5)

Tento poznatok využijeme na zistenie intenzity vlastnej farby telesa v mieste najintenzívnejšieho odlesku - čiže pozície P_m

Spomeňme si na výraz $\mathbf{c}(x) \;=\; \alpha(\mathbf{N}\cdot\mathbf{L})\mathbf{c}_b \;+\; \beta(\mathbf{R}_v\cdot\mathbf{L})^n\mathbf{e}$

V bode P_m sa zredukuje na $\mathbf{c}(x) \;=\; \alpha(\mathbf{N}\cdot\mathbf{L})\mathbf{c}_b$

Už vieme že

- $\mathbf{N}\cdot\mathbf{L} \;=\; \cos\theta_m$
- $\alpha\mathbf{c}_b \;=\; P_b$

Preto napokon $\underline{P_m \;=\; \cos\theta_m P_b}$

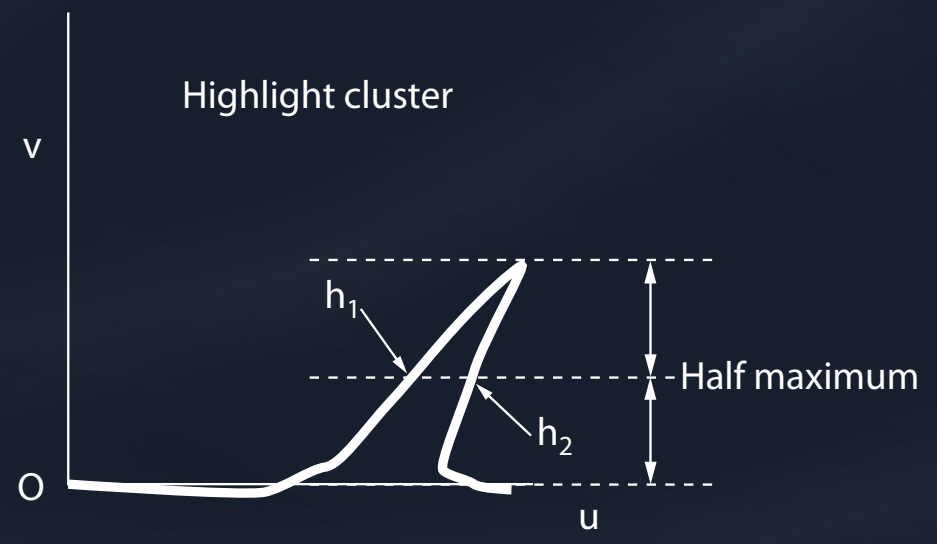
Drsnosť povrchu

Je vyjadrená exponentom n v časti osvetľovacieho modelu $\beta(\cos^n \rho)\mathbf{e}$

Drsnosť povrchu

Je vyjadrená exponentom n v časti osvetľovacieho modelu $\beta(\cos^n \rho)\mathbf{e}$

Vieme zistiť z ľubovoľného bodu pre ktorý vieme ρ
Autori v postupe použili dvojicu bodov h_1 a h_2
(vyššia presnosť) - a to tie, ktoré mali odrazenú zložku polovičnú z maximálnej



Drsnosť povrchu (2)

Tie si spätne nájdeme na valci a rovnakou metódou ako sme pred chvíľou určili θ_m nájdeme na základe vzdialenosti od stredu príslušný uhol ρ

Drsnosť povrchu (2)

Tie si spätne nájdeme na valci a rovnakou metódou ako sme pred chvíľou určili θ_m nájdeme na základe vzdialenosti od stredu príslušný uhol ρ

Čiže vieme, že

$$\begin{aligned} \cos^n \rho &= \frac{1}{2} \\ &\vdots \\ n &= -\frac{\log 2}{\log(\cos \rho)} \end{aligned}$$

Drsnosť povrchu (2)

Tie si spätne nájdeme na valci a rovnakou metódou ako sme pred chvíľou určili θ_m nájdeme na základe vzdialenosti od stredu príslušný uhol ρ

Čiže vieme, že

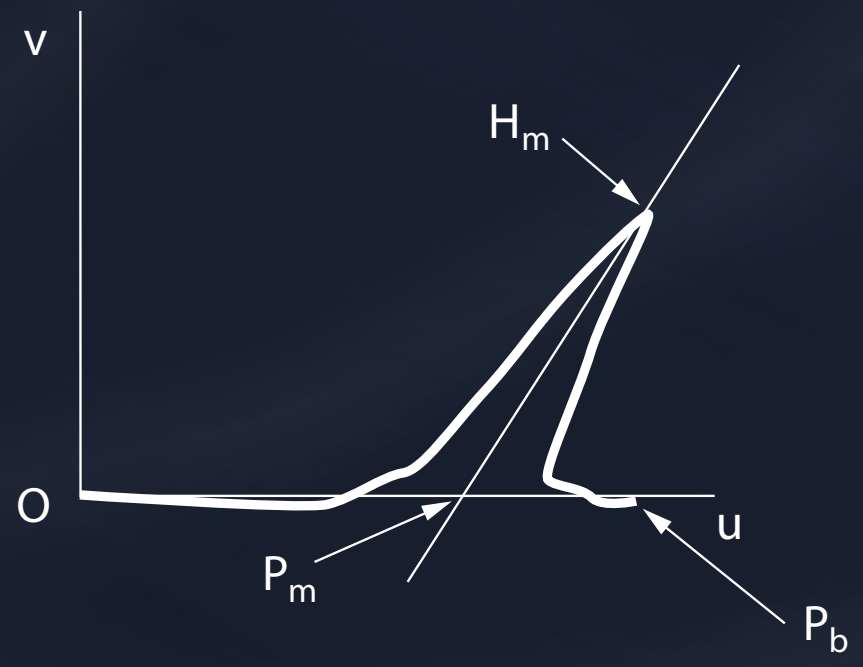
$$\begin{aligned} \cos^n \rho &= \frac{1}{2} \\ &\vdots \\ n &= -\frac{\log 2}{\log(\cos \rho)} \end{aligned}$$

Vypočítame n_1 a n_2 na základe dvoch bodov a za výsledný koeficient drsnosti materiálu budeme považovať ich priemer

Pomer β / α

Aby sme už mali všetko, stačí nám už len zistiť vážiace koeficienty pri jednotlivých farebných zložkách

Toto však bude jednoduché, ide o pomer $\frac{|\overrightarrow{P_m H_m}|}{|\overrightarrow{O P_b}|}$



O čo sa budeme snažiť teraz

Rozdiel je v tom, že fotografovaný objekt nie je valec, ale všeobecná konvexná spojitá plocha

To znamená, že podľa polohy v obrázku nevieme určiť normálový vektor, ako sme to mohli urobiť v predošlom prípade

Pri výpočte budeme tiež potrebovať vedieť uhol medzi dopadajúcim svetlom a smerom, ktorým sa pozerá kamera

Toto sme si na valci vedeli vypočítať, ale tentoraz to nepôjde

O čo sa budeme snažiť teraz

Rozdiel je v tom, že fotografovaný objekt nie je valec, ale všeobecná konvexná spojitá plocha

To znamená, že podľa polohy v obrázku nevieme určiť normálový vektor, ako sme to mohli urobiť v predošlom prípade

Pri výpočte budeme tiež potrebovať vedieť uhol medzi dopadajúcim svetlom a smerom, ktorým sa pozerá kamera

Toto sme si na valci vedeli vypočítať, ale tentoraz to nepôjde

- **Riešenie**: Uhol si vopred zistíme tak, že odfotíme valec, vypočítame uhol a potom valec nahradíme skúmaným predmetom

Ktoré postupy z minulého môžeme použiť

Opäť si zostrojíme histogram, rovnaký ako pred chvíľou

Ukazuje sa, že niektoré fázy postupu sa dajú využiť aj v tomto všeobecnejšom riešení

Ktoré postupy z minulého môžeme použiť

Opäť si zostrojíme histogram, rovnaký ako pred chvíľou

Ukazuje sa, že niektoré fázy postupu sa dajú využiť aj v tomto všeobecnejšom riešení

- Farbu telesa vieme určiť z histogramu úplne rovnakým spôsobom (pomocou najsýtejšieho bodu obrázku)

Ktoré postupy z minulého môžeme použiť

Opäť si zostrojíme histogram, rovnaký ako pred chvíľou

Ukazuje sa, že niektoré fázy postupu sa dajú využiť aj v tomto všeobecnejšom riešení

- Farbu telesa vieme určiť z histogramu úplne rovnakým spôsobom (pomocou najsýtejšieho bodu obrázku)
- Farbu odlesku zistíme trochu inak, ale tiež to nebude príliš zložité

Ktoré postupy z minulého môžeme použiť

Opäť si zostrojíme histogram, rovnaký ako pred chvíľou

Ukazuje sa, že niektoré fázy postupu sa dajú využiť aj v tomto všeobecnejšom riešení

- Farbu telesa vieme určiť z histogramu úplne rovnakým spôsobom (pomocou najsýtejšieho bodu obrázku)
- Farbu odlesku zistíme trochu inak, ale tiež to nebude príliš zložité
- Keď už máme tieto dve hodnoty, poznáme aj pomer β/α

Odrazená farba

Vieme nájsť vrchol hrotu histogramu, aj jemu zodpovedajúci bod na obrázku

Treba si uvedomiť, čo znamená fakt že bod je na tomto hrote:

Odrazená farba

Vieme nájsť vrchol hrotu histogramu, aj jemu zodpovedajúci bod na obrázku

Treba si uvedomiť, čo znamená fakt že bod je na tomto hrote:

- Že je v strede odlesku na povrchu

Odrazená farba

Vieme nájsť vrchol hrotu histogramu, aj jemu zodpovedajúci bod na obrázku

Treba si uvedomiť, čo znamená fakt že bod je na tomto hrote:

- Že je v strede odlesku na povrchu
- A teda v tomto bode povrchu sa svetlo odráža presne smerom ku kamere, čo znamená že normálový vektor smeruje presne medzi **L** a **V**

Odrazená farba

Vieme nájsť vrchol hrotu histogramu, aj jemu zodpovedajúci bod na obrázku

Treba si uvedomiť, čo znamená fakt že bod je na tomto hrote:

- Že je v strede odlesku na povrchu
- A teda v tomto bode povrchu sa svetlo odráža presne smerom ku kamere, čo znamená že normálový vektor smeruje presne medzi **L** a **V**

No a keďže poznáme uhol $\measuredangle \mathbf{LV}$, vlastnú farbu materiálu $\mathbf{c}_b$, vieme už nájsť bod P_m a teda vieme aj farbu odlesku **e**

Drsnosť

V istom zmysle podobný postup ako pred chvíľou, tiež si nájdeme bod ktorý je v polovici maxima odrazenej zložky svetla a pomocou tohto vypočítame n

Ale tentokrát nevieme z polohy tak jednoducho zistiť normálový vektor, ktorý pri výpočte potrebujeme

- Pokúsime sa potrebné uhly zistiť z tieňovania plochy

Rozdelenie na dve vrstvy

Keď už poznáme obe farby z ktorých sa obrázok skladá, vieme ho rozdeliť na dva obrázky, každý nesúci informáciu o jednej zložke svetla:

Gradient

Zaveďme si na skúmanej ploche na obrázku z-ovú súradnicu v smere ku pozorovateľovi.

Potom môžeme vyjadriť gradient tejto plochy ako vektor $\left(\frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y}\right)$

Keďže vieme, že na obrázku sa určite nachádza bod kolmo orientovaný ku svetlu, vieme pomocou gradientu zapísať smer dopadajúceho svetla ako (p_s, q_s) ako gradient tohoto bodu

Gradient (2)

Následne vieme vypočítať odrazivosť ako funkciu gradientu (p, q):

$$R(p,q) = \cos\theta = \frac{1+p_s p+q_s q}{\sqrt{1+p^2+q^2}\sqrt{1+p_s^2+q_s^2}}$$

Gradient (3)

Medzi hľadanými neznámymi existujú určité vzťahy:

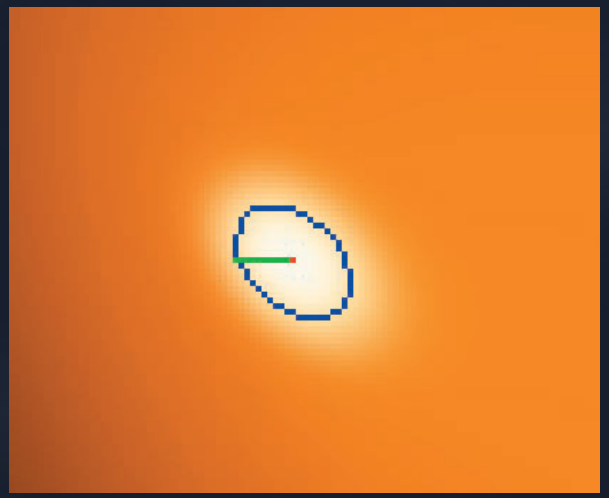
$$\frac{\partial x}{\partial \xi} = R_p, \quad \frac{\partial y}{\partial \xi} = R_q$$
$$\frac{\partial z}{\partial \xi} = pR_p + qR_q,$$
$$\frac{\partial p}{\partial \xi} = E_x, \quad \frac{\partial q}{\partial \xi} = R_y,$$

kde E_x, E_y je vektor gradientu intenzity, R_p, R_q je gradient na odrazovej mape, a ξ sa mení pozdĺž krivky riešenia

Gradient (4)

Zaujíma nás vektor (x, y, z, p, q)

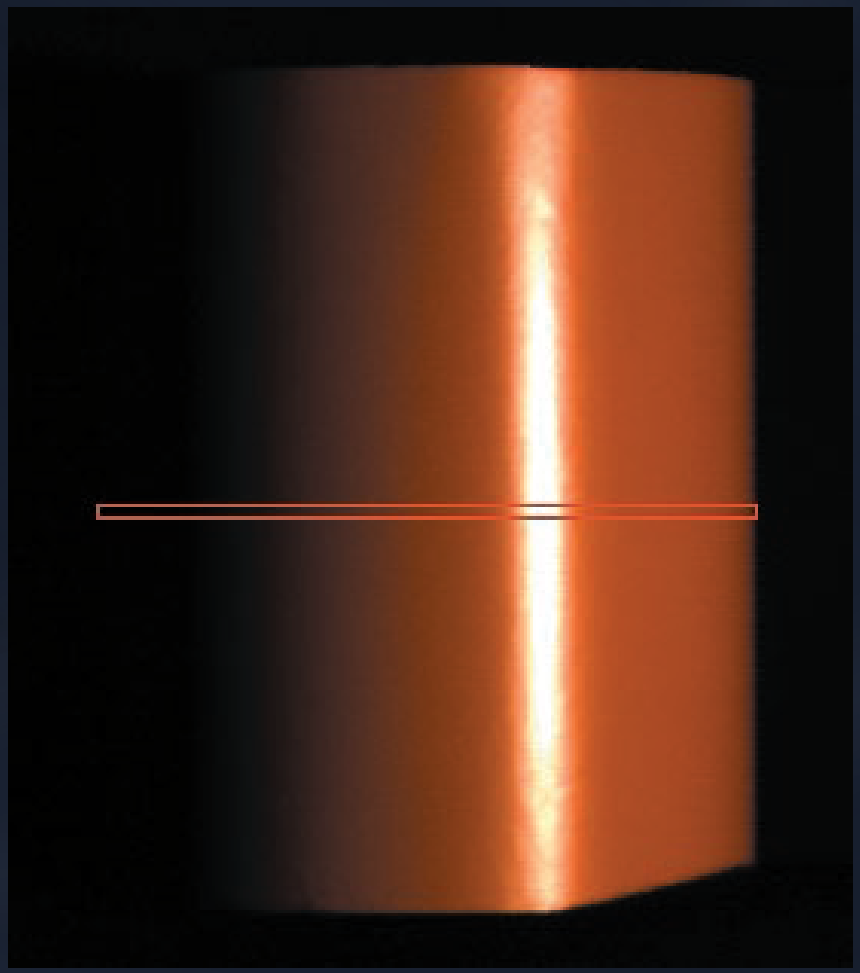
Ten získame riešením sústavy rovníc. Tá sa rieši Runge-Kutta metódou začínajúc v strede odlesku a pokračuje (ako na obrázku), až kým nedosiahne bod kde je odrazová zložka svetle polovičná

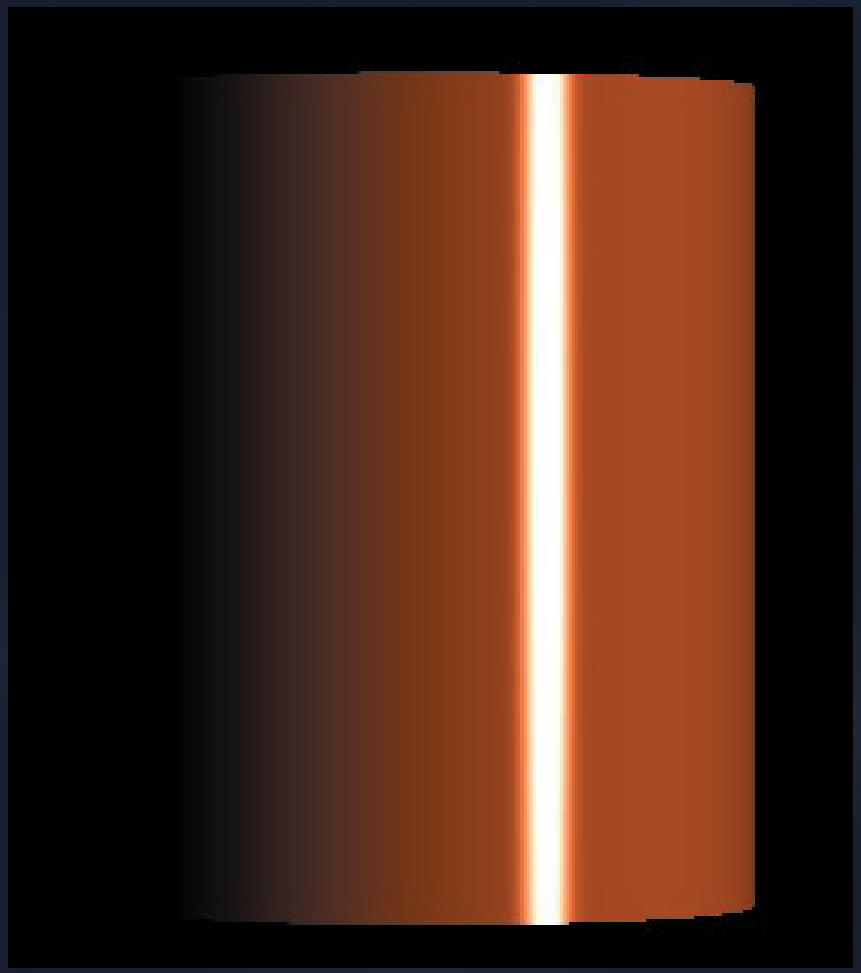


Výsledky meraní na valcovej ploche

	$\mathbf{c}_b$	$\mathbf{e}$
reálne	(0.916, 0.401, 0.035)	(0.652, 0.545, 0.526)
odhadnuté	(0.917, 0.397, 0.031)	(0.647, 0.538, 0.540)

Výsledky meraní na valcovej ploche (2)

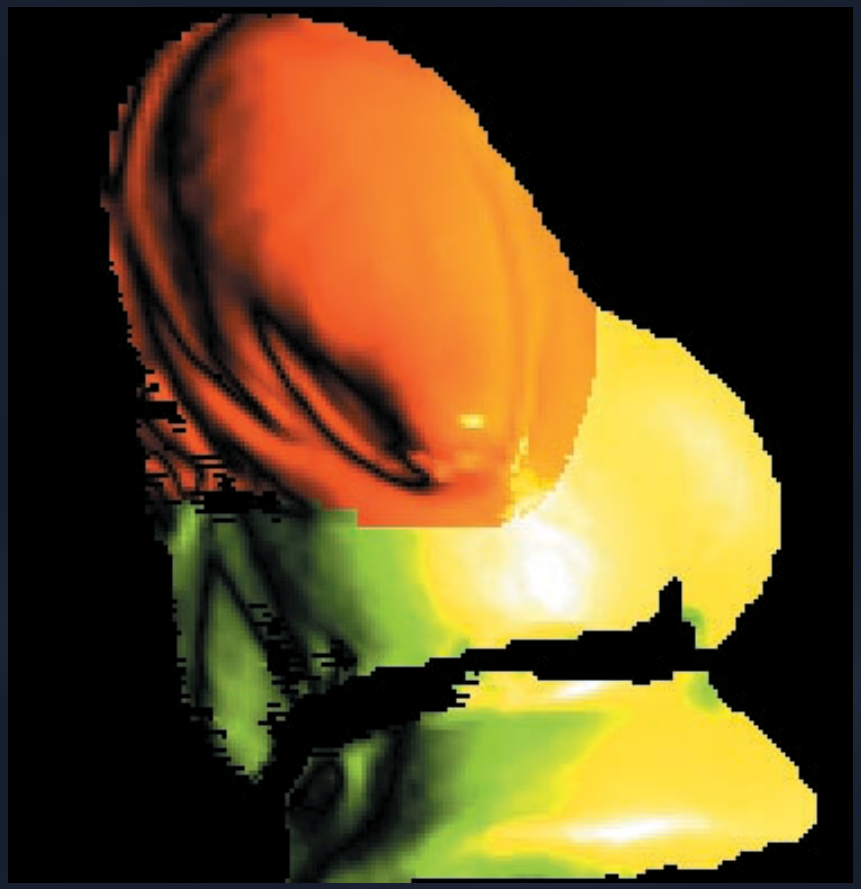




Výsledky meraní na špeciálnej ploche

	$\mathbf{c}_b$	$\mathbf{e}$	β/α
reálne	(0.864, 0.490, 0.115)	(0.687, 0.564, 0.513)	1.25
odhadnuté	(0.892, 0.442, 0.096)	(0.647, 0.564, 0.513)	1.28

Výsledky meraní na špeciálnej ploche (2)



Ďakujem za pozornosť