

# MODELLING OF THE VISUAL SYSTEM

**Katarína Judinyová**

Bachelor Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: xjudin00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Radim Kolář

E-mail: kolarr@feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

The submitted paper deals with eye models and the research of eye functions and optical aberrations of the eye. It is based on the implementation of a schematic eye model, Gullstrand's No. 2 schematic eye (accommodated) and the paraxial ray tracing method.

My programme enables tracing an arbitrary number of rays through several optical surfaces in the eye model. As a result, locations of the ray incidence on the retina are computed and displayed in a figure, as well as all other ray tracing parameters. The obtained data could be used for further examinations. This programme can be extended to implement another eye model, so a comparison of the implemented eye models can be possible.

## 1. ÚVOD

Predložená práca popisuje vznik obrazu na sietnici ľudského oka. Využíva pri tom metódu ray tracing vyvinutú na účely návrhu rôznych optických systémov. Ray tracing spočíva v sledovaní prechodu lúčov cez rôzne optické rozhrania. Modelovanie činnosti zrakového systému poskytuje podporu očnej mikrochirurgii, laserovej chirurgii, kde predpovedá efekt zákroku a pomáha tiež pri návrhu umelých šošoviek. Umožňuje určiť mieru optických chýb oka.

## 2. SCHÉMATICKÉ MODELÝ OKA

Schématické modely oka zachytávajú mechanizmus prechodu svetelných lúčov cez očné prostredia. Môžeme ich rozdeliť do týchto hlavných skupín:

- *Schématické očné modely*. Pozostávajú z niekoľkých sférických alebo asférických povrchov usporiadaných na optickej osi, ktoré predstavujú optické rozhrania v oku. Podskupinou sú *širokouhlé modely*, umožňujúce skúmať správanie svetla rozličných vlnových dĺžok.
- *Matematické modely* predstavujú opustenie anatomickej vernosti v záujme presnejšieho opisu prechodu svetla.

Modelovanie oka spočíva vo vypočítaní trasy lúča cez jednotlivé povrchy. Výsledkom sú parametre jeho dopadu na sietnicu, ktoré umožňujú posúdiť kvalitu videnia, nakoľko je očný orgán zaťažený optickými aberáciami atď. [2]

## 2.1. GULLSTRANDOV MODEL OKA

Príspevok predstavuje niekoľko výsledkov môjho modelovacieho programu, založeného na *Gullstrandovom akomodovanom (zaostrenom) oku* č. 2. Na implementáciu bol použitý jazyk MatLab, ktorý umožňuje pokročilú prácu s lineárnou algebrou.

Základné parametre modelu sú: polomer očnej gule 10,5 mm; rohovky 7,8 mm; oboch povrchov šošoviek 5,0 mm. Intervaly medzi lomnými plochami sú: sietnica–zadný vrchol šošovky 16,7 mm; zadný vrchol šošovky–predný vrchol šošovky 4,0 mm; predný vrchol šošovky–vrchol rohovky 3,2 mm; sietnica–vrchol rohovky je 23,7 mm. Index lomu vzduchu je 1,000 vnútra šošovky 1,416 a ostatných častí oka 1,333.

## 2.2. RAY TRACING

Oko má v priemere asi 23 mm. Táto malá optická sústava spracováva vnemy z mnohokrát väčšej vzdialenosti, než je priemer oka. To spôsobuje, že uhly lúčov vstupujúcich do oka sú pomerne malé. S výhodou môžeme použiť paraxiálnu aproximáciu.

Možno odvodiť dve základné rovnice trasovania lúčov. Sú to paraxiálna rovnica lomu (1) a paraxiálna prenosová rovnica (2)

$$n'u' - u = -Cn \quad (1)$$

$$h' = h + u'd \quad (2)$$

$n$  je index lomu v prostredí, odkiaľ lúč vychádza a  $n'$  v prostredí, kam lúč mieri.  $u$  je východzí uhol lúča,  $u'$  je uhol dopadu lomeného lúča na optickú os.  $h$  je výška priesečníka s lomnou plochou,  $C$  je zakrivenie povrchu ( $C = 1/r$ ).

## 3. APLIKÁCIA

### 3.1. ÚPRAVA POUŽITÝCH VZŤAHOV

Vyššie uvedený matematický aparát je implementovaný v iteračnom cykle, ktorý zabezpečuje výpočet parametrov lúčov pri prechode jednotlivými povrchmi. Rovnice (1) a (2) boli odvodené na trasovanie jediného lúča [1]. Rozšírila som tieto vzťahy na rovnice používajúce matice a vektory, takže program umožňuje trasovanie viacerých lúčov naraz.

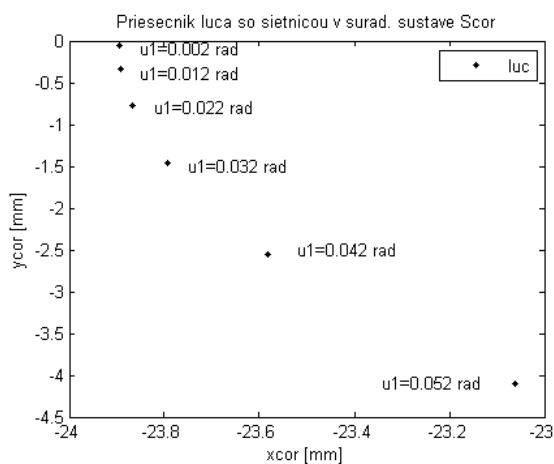
### 3.2. PREZENTÁCIA VÝSLEDKOV

V navrhnutom programe možno použiť viac spôsobov prezentácie výsledkov. Kvôli obmedzenému rozsahu ich len v stručnosti načrtnem. Jednou možnosťou je znázorniť dopad lúčov na rovinu dotyčnicovú k vrcholu sietnice. Táto možnosť zobrazenia sa dá použiť pre lúče dopadajúce neďaleko od vrchola sietnice. Väčšina lúčov dopadá i tak do tesnej blízkosti vrchola.

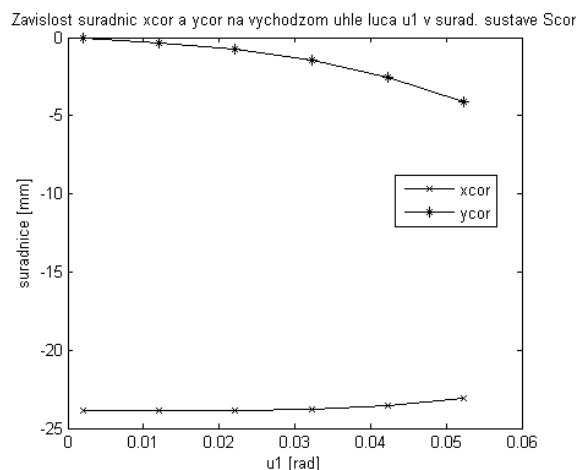
Názornejšiu predstavu poskytuje zobrazenie priesečníka lúča so sietnicou. Odvodila som funkciu Priesečník, ktorá počíta priesečník lúča so sférickou sietnicou s využitím postupov analytickej geometrie. Základný bod súradnicovej sústavy je vrchol rohovky (lat. cornea), bod  $S_{cor}$ . Súradnicový systém má kladnú poloos  $x_{cor}$  orientovanú smerom napravo od oka a kladnú poloos  $y_{cor}$  smerom nahor od oka. Na **Obr. 1.** je grafické znázornenie priebehu šiestich lúčov vychádzajúcich zo vzdialenosti 300 mm pred  $S_{cor}$  a zvierajúcich s optickou osou 0,002 až 0,052 rad. Parametrom každého bodu dopadu lúča je jeho východzí uhol  $u_1$  v radiánoch. Súradnice  $x_{cor}$  a  $y_{cor}$  udávajú polohu v súradnicovom systéme  $S_{cor}$ .

Ďalšou možnosťou je použiť získané údaje na vyhodnocovanie rozličných funkčných závislostí. **Obr. 2.** znázorňuje závislosť súradníc  $x_{cor}$  a  $y_{cor}$  na východzom uhle lúča  $u_1$ . Program vypočíta všetky údaje potrebné na načrtnutie prechodu lúča cez optické povrchy v oku.

Program zároveň vypočíta všetky parametre (uhly a výšky dopadu a lomu) na všetkých povrchoch oka. S použitím týchto údajov možno ilustrovať prechod lúčov na názornom obrázku.



**Obr. 1.:** Pohľad na sietnicu zo súradnicového systému so stredom na vrchole rohovky.



**Obr. 2.:** Súradnice lúčov dopadajúcich na sietnicu sa menia v dôsledku zakrivenia povrchu sietnice

#### 4. ZÁVER

Cieľom tohto príspevku je zoznámenie s modelovaním činnosti ľudského zrakového systému. Poskytuje stručný úvod do problematiky rôznych druhov modelov a ich využitia pre potreby modernej očnej chirurgie ako aj očnej optiky všeobecne. Táto práca by mohla slúžiť ako základ pre spracovanie komplexnejších modelov a viesť k ich pohodlnejšiemu využitiu v praxi. Práca naznačuje implementáciu vybraného modelu oka. Umožňuje niekoľko zobrazení výsledkov simulácie prechodu lúčov.

Východiskom pre tento príspevok bol Semestrálny projekt, ktorý poskytuje širší rozbor viacerých modelov oka. Nadväzujúca bakalárska práca bude rozvíjať a porovnávať medzi sebou výsledky z rôznych schématických modelov oka.

#### LITERATÚRA

- [1] Smith, G., Atchinson, D.: The Eye and Visual Optical Instrumentation, Cambridge University Press 1997, s. 20-45, ISBN 0-521-47820-0
- [2] Mouroulis, P.: Visual Instrumentation, Optical Design and Engineering Principles, McGraw-Hill Handbooks 1999, s. 131-145, ISBN 0-07-043561-8