

Modelování optické soustavy oka pomocí programu MATLAB

Dušek J.

K337 Katedra radioelektroniky, ČVUT, FEL

Abstrakt

Práce se zabývá modelováním vlivu optické části oka na zpracovávaný obraz který se promítá na sítnici, výsledkem je pak modifikovaný originální obraz. Tento model optické části lze použít jako samostatný blok předzpracování obrazu pro různé účely hodnocení kvality obrazu.

Úvod

V dnešní době masového nástupu multimediálních aplikací roste požadavek na zjišťování kvality obrazu. Existují tři základní cesty jak určovat kvalitu obrazu. První nejnákladnější, ale nejpřesnější je oblast stanovení subjektivní kvality obrazu pomocí skupiny pozorovatelů. Tato metoda vyžaduje dodržení přesných pozorovacích podmínek počtu pozorovatelů a hodnotící metody stejně tak i náročné následné statistické zpracování výsledků. Druhou metodou je objektivní stanovení kvality obrazu, to je poměrně rychlé, jelikož se jedná o softwarové počítání s obrazovými maticemi. Nicméně výsledky tohoto testování poměrně málo korelují s výsledky testování subjektivního, které je bráno jako standard. Typickými ukazateli objektivního testování jsou MSE, SNR. Třetí progresivní cestou určování kvality obrazu je testování kvality obrazu pomocí modelů lidského vizuálního systému HVS. tento způsob se snaží modelovat funkce lidského zraku. Výsledky mají lepší korelaci se subjektivními testy než metody objektivní.

Tato práce uvádí blok nezávislého zpracování obrazu, kterým je možné daný obraz předzpracovat a poté použít jako vstup příslušné testovací metody. Dále jej lze například implementovat do modelu HVS.

Teoretická část

První a jednou z nejdůležitějších popisných charakteristik oka je závislost průměru vstupní pupily na okolním osvětlení, tato závislost byla publikována v [1]. Tuto závislost jsem byla aproximována v MATLABU následujícím polynomem:

$$y = 5,636 - 0,9586x - 0,666x^2 + 0,0137x^3$$

Výsledek aproximace ukazuje graf na obr. 1. Průměr zornice spolu s pozorovací vzdáleností vstupuje do dalšího bloku který modeluje PSF (bodovou rozptylovou funkci) oka.

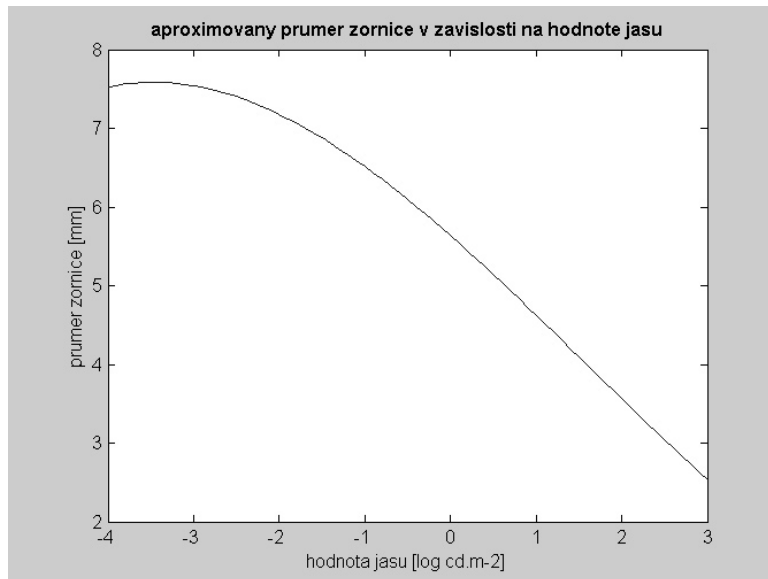
Bodová rozptylová funkce (PSF – point spread function) ta popisuje přenos a zobrazení bodu na sítnici oka, její uváděný empirický tvar je [1]:

$$Q(\rho) = 0,952e^{-2,59|\rho|^{1,36}} + 0,048e^{-2,43|\rho|^{11,74}}$$

kde ρ je vzdálenost na sítnici v úhlových minutách. Tato rovnice však principiálně vyháží z rovnice difrakce pro kruhovou aperturu:

$$I(\rho) = \left[\frac{J_1(\pi\alpha\rho/\lambda)}{(\pi\alpha\rho/\lambda)} \right]^2,$$

kde $I(\rho)$ je hodnota PSF jako funkce ρ , α je průměr pupily, J_1 je Besselova funkce prvního řádu a ρ je pozorovací úhel daného bodu v radiánech. Tato funkce je implementována v bloku optické části jako proměnná konvoluční maska (dimenze je ovlivněna pozorovací vzdáleností a velikostí obrazu) která je pak konvolučně aplikovaná na pozorovaný obrázek. Jako λ je užito střední vlnové délky 555 nm.



Obrázek 1: Aproximovaný průběh průměru zornice v závislosti na hodnotě osvětlení.

Následným blokem modelování je chromatická aberace oka byla popsána a publikována pomocí Hopkinsovy formule pro PSF oka pány Marinotem a Wandell v [2] a její vyjádření je následující:

$$H(s, \lambda, \omega_{20}) = \frac{4}{\pi \cdot a} \int_0^{\sqrt{1 - \left(\frac{s}{2}\right)^2}} \sin \left[a \cdot \left(\sqrt{1 - y^2} - \frac{|s|}{2} \right) \right] dy$$

kde

$$a = \frac{4\pi}{\lambda} \omega_{20} |s|,$$

$$s = c \cdot \frac{\lambda}{D_0 \cdot p} \cdot v,$$

$$\omega_{20}(\lambda) = \frac{p^2}{2} \cdot \frac{D_0 \cdot D(\lambda)}{D_0 + D(\lambda)},$$

$$D(\lambda) = q_1 - \frac{q_2}{\lambda - q_3},$$

kde v je prostorová frekvence (počet cyklu na radián), s je redukovaná prostorová frekvence ($s = 0$ až 2), λ je vlnová délka světla, p je průměr zornice, D_0 je počet dioptrií neakomodovaného oka, $D(\lambda)$ je relativní rozostření jako funkce λ , ω_{20} je chyba optické vzdálenosti. Konstanty $c = 3434,07$, $D_0 = 59,9404$, $q_1 = 1,7312$, $q_2 = 0,63346$, $q_3 = 0,21410$. Pomocí tohoto vyjádření je pak počítány jednotlivé přenosové funkce pro příslušné vlnové délky a jejich útlum.

Následuje model průchodu paprsku pomocí maticové optiky. Oko se skládá z optických prostředí a kulových ploch. Ty lze maticově modelovat.

Model kulové plochy:

$$\begin{bmatrix} x_o \\ k_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{n_2 - n_1}{r} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ k_i \end{bmatrix},$$

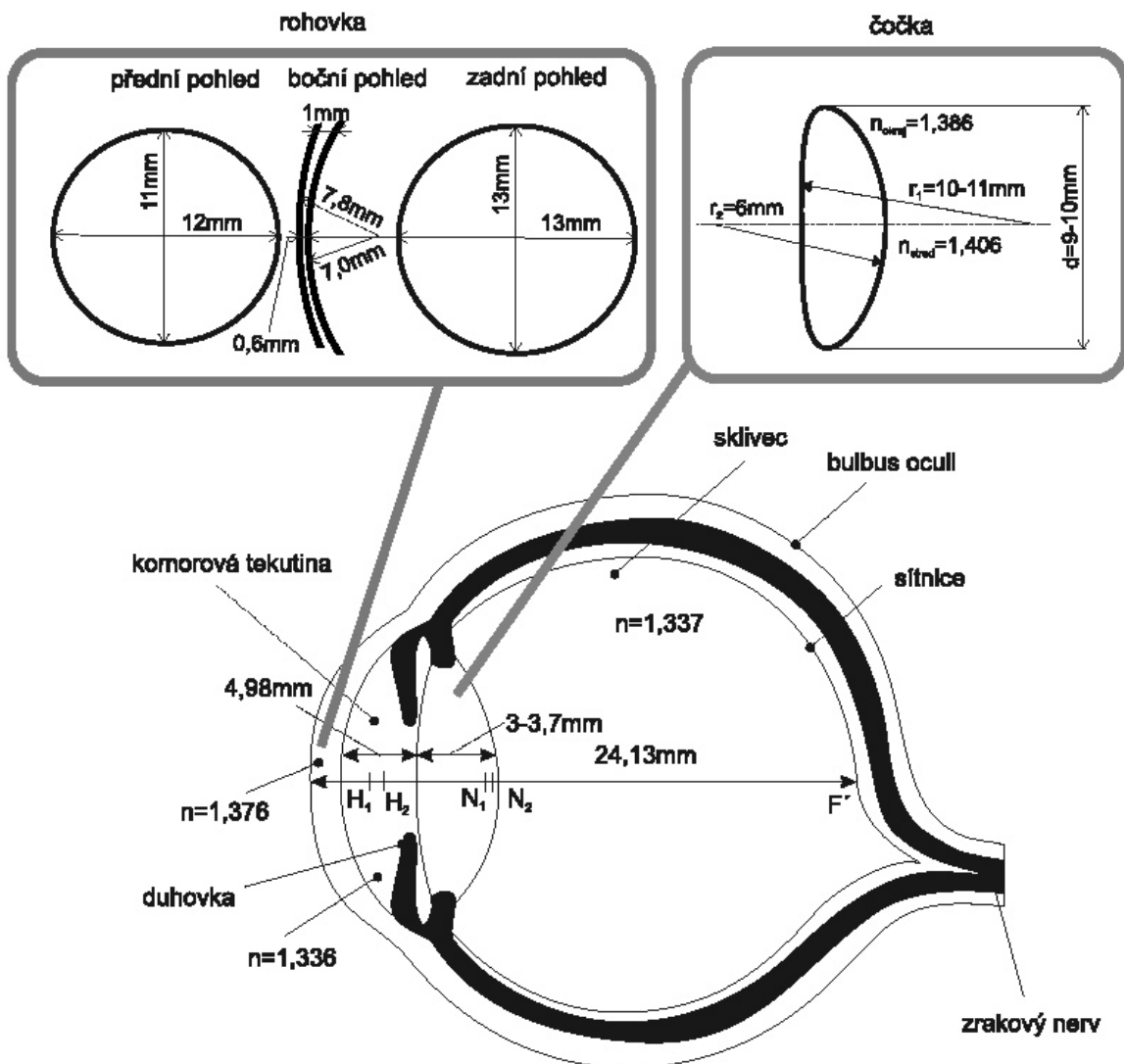
kde x_i je vzdálenost průchodu paprsku od osy a k_o je vstupní úhel (analogicky pro výstup x_o , k_o), n_1 index lomu vstupního prostředí, n_2 index lomu výstupního prostředí a r je poloměr zakřivení plochy.

Model průchodu prostředím je:

$$\begin{bmatrix} x_o \\ k_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ k_i \end{bmatrix},$$

kde n_i je index lomu prostředí a d je jeho tloušťka, ostatní je analogické s předchozím popisem.

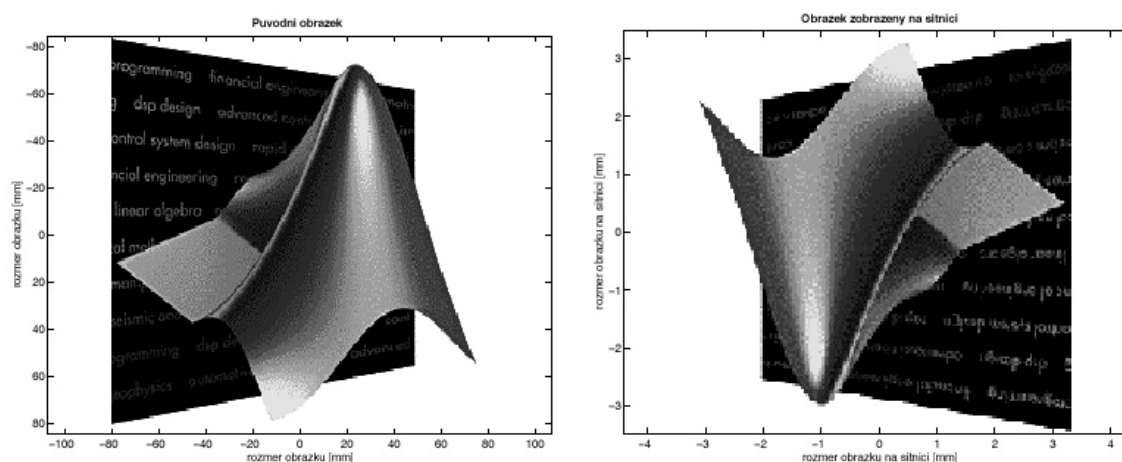
Kaskádním složením těchto přenosových matic (vzduch, rohovka, komorová voda, čočkám, sklivec) získáme rovnici pro celkový přenos (8 matic) obrazu na sítnici. Použité parametry prostředí udává obr. 2.



Orázek 2: Použité parametry optických prostředí oka.

Výsledky

Výsledek modelování je na obr. 3, na tento obraz byly aplikovány výše uvedené transformační algoritmy.



Obrázek 3: Originál (vlevo) a obraz zpracovaný optickou částí (vpravo).

Závěr

Byla navržena a sestavena optická část oka, kterou je možno použít jako nezávislý vstupní blok před jakýkoli model či metodu pro vyhodnocení kvality obrazu. Tento blok modeluje vybrané parametry vstupního očního segmentu. Modeluje závislost velikosti pupily na vstupním osvětlení, tato velikost je pak použita pro modelování bodové rozptylové funkce oka. Následně je modelována chromatická aberace a průchod obrazu optickou částí pomocí maticové optiky. Vstupními veličinami tohoto bloku jsou: velikost osvětlení, velikost obrazu, pozorovací vzdálenost a samotný obrázek.

Literatura

- [1] K. R. Boff, L.K., J. P. Thomas, *Handbook of Perception and Human Performance*. Sensory process and Perception. Vol. 1. 1986: John Wiley and Sons, UK.
- [2] D. H. Marinot, B.A.W., *Matching Color Images: The Effects of Axial Chromatic Aberration*. Journal of the Optical Society of America A, 1994. **11**(12): p. 3113 3122.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem IG ČVUT 10/83084/13137, GAČR No. 102/02/0133 a grantem MŠMT No. J04/98:212300014.

Kontaktní adresa
xdusekj@feld.cvut.cz