

EYE GAZE TRACKING

Petr Bastl

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xbastl01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Miloslav Richter

E-mail: richter@feec.vutbr.cz

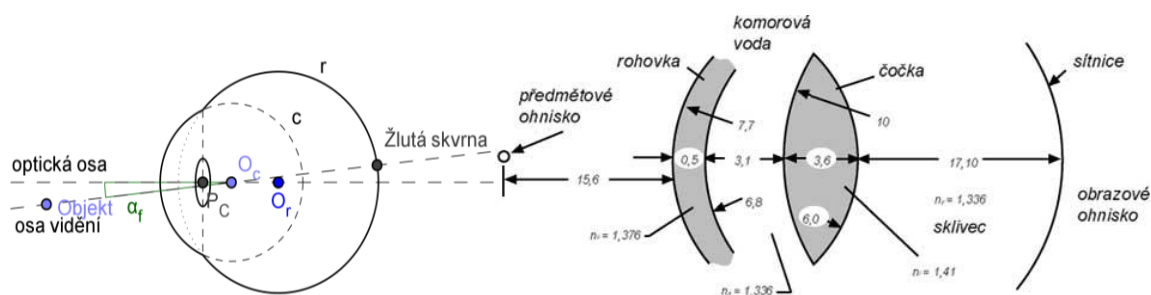
Abstract: The direct 3D eye gaze estimation technique is described in this paper. This method let estimate eye gaze of the user under natural head movement. The user needs no aid like head-mounted systems. The eye gaze is estimated in three steps - image acquisition, image processing and gaze calculation. This paper is focused on image acquisition and image processing. Cornea segmentation via genetic algorithm is proposed.

Keywords: eye gaze, eye tracking, eye model, ellipse, genetic algorithm.

1. ÚVOD

Informace, kam se člověk dívá, se využívá k interakci člověka a stroje, při navrhování efektivního rozmístění ovládacích prvků (v kokpitu, autě, softwaru) nebo ke zjišťování účinnosti reklamy reklamním průmyslem.

Mým úkolem bylo navrhnout systém pro sledování směru pohledu a navrhnout algoritmy, které budou směr určovat. Celý problém nezahrnuje pouze algoritmy pro zpracování obrazu. Je potřeba zvolit vhodnou hardwarovou konfiguraci – typ kamery, osvětlení. Dále je potřeba realizovat algoritmy, které z naměřených dat určí prostorovou souřadnici oka směr jeho pohledu. Na obrázku 1 je zjednodušený model oka. Je vidět, že optická osa není totožná s osou vidění. Určuje se směr optické osy, odchýlení osy vidění se musí kompenzovat hodnotou prostorového úhlu α_f zjištěnou při kalibraci.



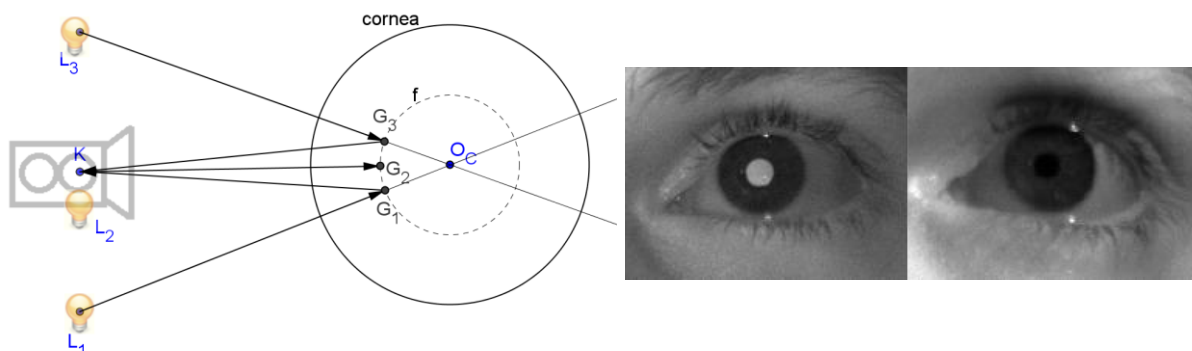
Obrázek 1: Vlevo: zjednodušený model oka – P_c je střed zorničky, O_c a O_r jsou středy křivosti rohovky a sítnice. Vpravo: Schematické Gullstrandovo oko s hodnotami optického systému.

2. METODA

Pro realizaci jsem zvolil metodu přímého určení 3D směru pohledu, která je popsána v [1] a použita v [3]. Určuje se přímo prostorový vektor optické osy ze znalosti bodů P_c a O_c ležících na ose (obr. 1). Používám jedinou kameru a tři zdroje světla. Schéma rozmístění je zobrazeno na obrázku 2a. Na rohovku (cornea) se lze dívat jako na kulovou plochu. Kamera K snímá oko a odlesky světla L_1 , L_2 a L_3 od rohovky. Virtuální obrazy světla G_1 , G_2 , G_3 leží v ohniskové vzdálenosti od středu křivosti rohovky O_c . Pro určení směru pohledu je nutné určit prostorovou polohu oka jako střed křivosti rohovky O_c a polohu středu zorničky P_c . Střed křivosti O_c je možné určit při znalosti

vzdálenosti odlesků v obraze kamery a při známém poloměru křivosti rohovky. Ten lze určit z Gullstrandova modelu obecného oka, nebo kalibrací. Střed zorničky lze odvodit za předpokladu konstantní vzdálenosti zornice na optické ose a ze znalosti středu zorničky v obraze kamery.

Použité uspořádání je výhodné, protože jedinou kamerou lze snímat obě oči zároveň. Je také možné snímání rozšířit na více osob, které si vyžádá pouze kameru s vyšším rozlišením a vyšší výpočetní výkon. Jako zdroje světla jsem použil IR led diody. Dioda L_2 zajišťuje světlý obraz zorničky.



Obrázek 2: a) vlevo: schéma snímání; b) vpravo: ukázka světlé a tmavé zorničky.

3. SNÍMÁNÍ OKA

Pro přesné nalezení středu zorničky je potřeba vysegmentovat a popsat zorničku jako elipsu. Oko osvětluji tak, aby vzniknul světlý obraz zorničky obrázek 2b. Vzniká tak, že zdroj světla osvítil sítnici. Aby toho byl schopen, musí svítit rovnoběžně a co možná nejbližší ose snímání kamery. Ke snímání jsem testoval dvě kamery - KOBİ SG-39MVR-1E (768x576) a Imaging Source DMK 21BF04 (640x480). Obě kamery umožňují snímat v blízkém IR spektru. Kamera od Imaging Source je pro snímání oka vhodnější. Lze nastavit pevnou dobu expozice, což je výhodné pro snímání světlé zorničky. Kamera je doplněna o IR filtr pro odstranění nežádoucích odlesků viditelného světla. Síla efektu světlé zorničky závisí na paralelnosti kamery a osvětlení. Efekt sílí se vzdáleností oka od kamery a zdroje světla. Závisí také na otevření zorničky – s rozevřením roste množství dopadajícího světla na sítnici.

4. SEGMENTACE ODLESKŮ

Polohy odlesků hledám prahováním. Naprahovaný obrázek je použit jako maska pro následné určení těžiště plochy odlesku přes momenty prvního a nultého řádu (1). Dosahuji tak mezixpixelové přesnosti hodnoty polohy odlesku.

$$m_{pq} = \int \int_{-\infty-\infty}^{\infty \infty} x^p y^q f(x, y) dx dy, \quad T = \begin{bmatrix} m_{10} & m_{01} \\ m_{00} & m_{00} \end{bmatrix} \quad (1)$$

5. SEGMENTACE A POPIS ZORNIČKY

Segmentace zorničky probíhá ve dvou krocích. Napřed je Cannyho detektorem určena hranová reprezentace obrazu. Ve druhém kroku je prahována zornička a duhovka. Tyto binární obrazy jsou diletovány a spojeny v masku, kterou je maskována hranová reprezentace. Vznikne tak hranová reprezentace zornice s velmi nízkým výskytem hran, nepatřících zorničce. Hranu narušují pouze hraný odlesků, které jsou napojeny na hranu zorničky. Zorničku lze popsat jako elipsu. Na přesnosti

proložení hranové reprezentace elipsou závisí určení středu elipsy a následné stanovení prostorové souřadnice středu zornice. Elipsu lze popsat obecnou rovnicí kuželosečky (2).

$$f : a \cdot x^2 + 2 \cdot h \cdot x \cdot y + b \cdot y^2 + 2 \cdot g \cdot x + 2 \cdot f \cdot y + 1 = 0 \quad (2)$$

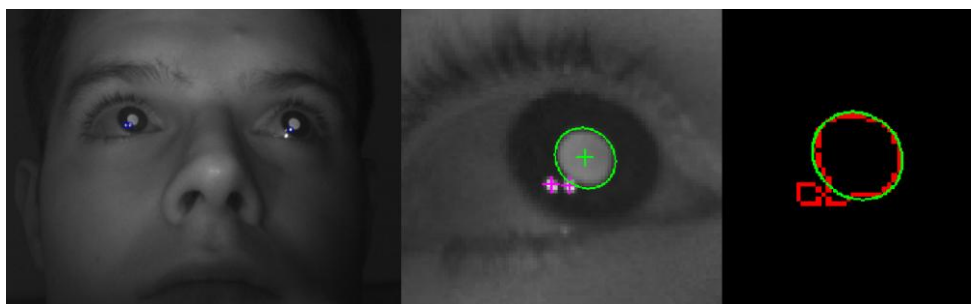
Parametry elipsy jsem hledal pomocí lineární regrese rovnice (2) a pomocí genetického algoritmu (GA). S případnými chybami hranové reprezentace si lépe poradil GA, při jeho návrhu jsem vycházel z [2]. Jedince tvoří elipsa, jednoznačně definovaná pěti body. Jedinec je ohodnocen funkcí podobnosti S (3).

$$S = \frac{\sum_{(x,y)} E(x+i, y+j)}{\#total}, \quad (3)$$

kde $E(x+i, y+j)$ vrací 1, když v okolí bodu (x, y) ležícího na elipse, leží bod hrany (jinak 0). $\#total$ je celkový počet bodů ležících na elipse. Kritérium S nabývá hodnot v rozsahu $\langle 0, 1 \rangle$, kde 1 je nejlepší shoda a 0 nejmenší. Křížení je prováděno výměnou bodů mezi jednicí a probíhá mezi jedinci, kteří jsou vybíráni s proporcionalní pravděpodobností s ohledem na výši jejich podobnosti. Mutace probíhá tak, že se vybere souvislá hrana, na níž leží alespoň jeden bod původního jedince, a z ní se vybere náhodně zmutovaný jedinec. Dále je v GA zaveden elitismus.

6. VÝSLEDKY

Obrázek 3 ukazuje nalezené odlesky a popis zorničky elipsou. Snímek je pořízen kamerou Imaging Source. I přes malé rozlišení je algoritmus schopen v oku nalézt polohy odlesků a proložit elipsou hranu zorničky. Střed zorničky GA určí se $\sigma = 0,1$ bodu, přitom si zachovává robustnost vůči kvalitě snímku, jejich rozměru a osvětlení. Použití konvenčních technik (Houghovy transformace) je pro malý počet bodů (cca 50) a pro velký šum nemožné. Při použití kamery s větším rozlišením bude možné určovat směry pohledu z větší vzdálenosti a měřit tak například více osob současně.



Obrázek 3: Zpracování obrazu: celkový pohled, segmentace odlesků a elipsa zorničky (GA).

V současné době jsou algoritmy navržené v Matlabu implementované v jazyce C++ a je testován algoritmus pro nalezení prostorové souřadnice oka. Následovat bude určení směru pohledu obou očí a nalezení prostorové informace, kam se uživatel dívá.

REFERENCE

- [1] Zhu, Z., Ji, Q., (2005). Novel Eye Gaze Tracking Techniques Under Natural Head Movement. In IEEE Transaction on Biomedical Engineering, vol. 54, no. 12, Dec. 2007
- [2] Yao, J., Kharna, N., Grogono, N., „A multi-population genetic algorithm for robust and fast ellipse detection“. In Pattern Analysis & Application, vol 8, noo 1-2, pp. 149-162, Aug. 2005
- [3] Böhme, M., Meyer, A., Martinetz, T., and Barth, E., (2006). Remote eye tracking: state of the art and directions for future development. In Proceedings of the 2nd COGAIN Conference, pp. 12-17.