

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

SEMINAR

Eye Gaze Tracking

Viktor Braut

Voditelj: Doc. dr. sc. Siniša Šegvić

Zagreb, svibanj, 2011.

Sadržaj

Uvod.....	1
Struktura ljudskog oka.....	2
Eye gaze trackers (EGT).....	3
3.1 Nametljivi EGT.....	3
3.2 EGT bazirani na kamerama.....	4
3.2.1 Robusnost i preciznost.....	7
3.3 Kalibracija i pokret glave.....	10
3.4 Zahtjevi za upotrebljivost EGT-a.....	11
Tehnika pomoću odsjaja zjenice na rožnici.....	13
Zaključak.....	14
Literatura.....	15

Uvod

Eye gaze trackers (EGT) su uređaji za praćenje smjera pogleda. Rani EGT-ovi su razvijeni za znanstvene svrhe samo u kontroliranim uvjetima. Podaci dobiveni o pogledu oka korišteni su u oftalmologiji, neurologiji, psihologiji i područjima povezanim s okulomotornim karakteristikama te njihov odnos sa spoznajom i mentalnim stanjima. Iako su EGT-ovi zamišljeni kao ulazni uređaji za računalna sučelja, uspješni pokušaji su dugo vremena bili ograničeni samo za vojne aplikacije i razvoj sučelja za osobe s invaliditetom. Posljednjih godina nastaju aplikacije za istraživanje u marketingu, oglašavanju i praćenje očiju pri pregledu web stranica i sučelja.

Prema Duchowskom¹ aplikacije za praćenje pogleda mogu biti kategorizirane kao dijagnostičke i interaktivne. Dijagnostičke aplikacije koriste podatke o pogledu kao kvantitativne dokaze ljudskih vizualnih procesa i pažnje. Interaktivne aplikacije koriste ih za interakciju s korisnikom baziranu na pokretima očiju.

Mnoge tradicionalne tehnike praćenja pogleda su nametljive, tj. zahtjevaju opremu koja je u fizičkom kontaktu s korisnikom. Takve tehnike uključuju npr. kontaktne leće, elektrode... Ne nametljive (daljinske) tehnike se baziraju na snimanju oka kamerom.

Za dijagnostičke aplikacije gdje podaci o pokretu oka mogu biti snimljeni tijekom kratkog eksperimenta i obrađeni poslije, vrijeme potrebno za usklađivanje EGT-a i neudobnost koju oprema izaziva ne predstavlja problem. Težnji da se interaktivnim aplikacijama poveća uporaba veliki problem predstavlja neudobnost opreme. Remote eye gaze tracker – REGT (daljinski EGT) nude udobnost korištenja, jednostavnije i brže postavljanje, dopuštajući korisniku dužu uporabu nego nametljive tehnike. Premda preciznost REGT-a je generalno lošija od nametljivog EGT-a. Tehnika odsjaja zjenice na rožnici se često reklamira ne osjetljivom na male pomake glavom i jednostavnom za kalibriranje. Te tvrdnje nažalost nisu sasvim točne jer samo mali pomaci glavom (oko 5 cm) značajno utječu na preciznost. Problemi također nastaju zbog ne adekvatnog osvjetljenja, postavljanje kamere tako da trepavice smetaju, suhih očiju, naočala, kašnjenju sistema kod micanja glave.

Usprkos ograničenjima trenutne tehnologije, interaktivne aplikacije upravljane pogledom imaju veliki potencijal u revolucioniranju načina korištenja računala. U sljedećih nekoliko poglavlja ukratko se obrađuje građa oka zbog jednostavnijeg razumijevanja principa i ograničenja različitih tehnika praćenja oka. Zatim neke tradicionalne EGT-ove i njihovu usporedbu.

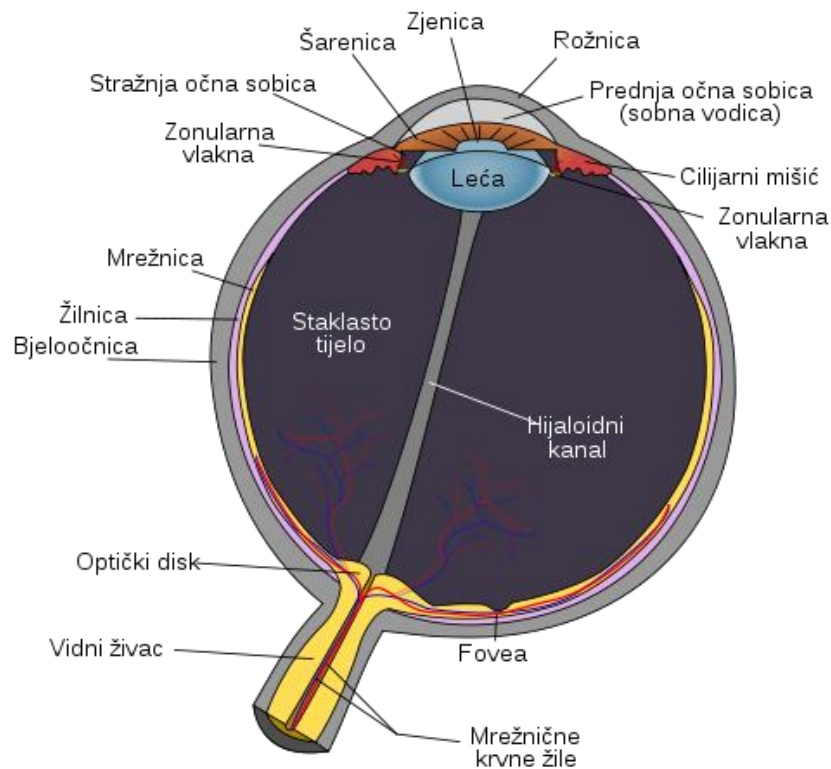
Struktura ljudskog oka

Slika 1. pokazuje glavne komponente ljudskog oka. Oko je približno sferičnog oblika radijusa 12-tak milimetara. Vanjski (vidljivi) dijelovi oka u očnoj šupljini su bijeloočnica (bijeli dio oka), iris (šarenica oka) i zjenica koja se nalazi u centru šarenice. Rožnica je transparentna zaštitna ovojnica bez krvnih žilica koja prekriva prednju stranu oka. U otvoru šarenice se nalazi zjenica koja stalnim promjenama veličine regulira količinu svjetla koje ulazi u oko.

Iza šarenice nalaze se leće, bikonveksna višeslojna struktura. Oblik leća mijenja se tijekom izoštravanja. Izoštravanje je proces koji omogućuje oštar prijenos slike objekta na mrežnicu koja je ovojnica s fotoosjetljivim stanicama smještenim na stražnjoj strani oka. Između rožnice i leća leži prednja komora punjena očnom vodicom, a između leća i mrežnice transparentno staklasto tijelo.

Na rožnici leži malo ali važno područje poznato kao fovea, na kojem je koncentrirana većina fotoosjetljivih stanica. Zaslužna je za percepciju finih detalja. Ne nalazi se na optičkoj osi oka definiranoj s centrom oka i centrom zjenice već malo pomaknuta.

Optičku os oka naziva se „line of gaze“ (LoG), a liniju iz fovea-e kroz centar zjenice „Line of sight“ (LoS). LoS određuje položaj na što je osoba fokusirana. Ako se LoG ili LoS mogu proračunati i postoji informacija o objektima u prostoru, točka fokusa se računa presjecištem LoG (ili LoS) s najbližim objektom. Za interakciju između čovjeka i računala monitor je objekt a točka fokusa je piksel na monitoru.



Slika 1.

Eye gaze trackers (EGT)

U ovom poglavlju ukratko se opisuju karakteristike nekih tradicionalnih nametljivih i ne nametljivih tehnika praćenja oka i zahtjeve interaktivnih kompjuterskih aplikacija.

3.1 Nametljivi EGT

Nametljive EGT tehnike generalno su preciznije od ne nametljivih (daljinskih). Jedna od najtradicionalnijih metoda je bazirana na kontaktnim lećama. Robinson² koristi malu zavojnicu ugrađenu u kontaktne leće koja čvrsto prijanja na bjeloočnicu da bi se izbjeglo pomicanje tijekom brzog pomaka oka. Korisnikov pogled proračuna se iz

mjerenja voltaže inducirane u zavojnici pomoću vanjskog elektro-magnetskog polja. Premda je sustav vrlo nametljiv, također je i vrlo točan (približno 0.08°).

Jeftinija tehnika bazira se na mjerenju potencijala kože. „Electro-oculogram“ (EOG) je uobičajena tehnika snimanja pokreta očiju za bolinčku primjenu zbog svoje tehničke jednostavnosti. Postavljanjem elektroda oko očiju, moguće je mjeriti male promjene potencijala kože koje se podudaraju s pokretima oka. Ova tehnika također nije prikladna za svakodnevnu uporabu, a točnost joj je oko 2° .

Kamere ili neki ostali optički uređaji mogu se koristiti za mjerenje pozicije oka bez direktnog kontakta s korisnikom ali zahtijevaju da se oko nalazi u neposrednoj blizini optičkog uređaja, stoga glava mora biti fiksirana.

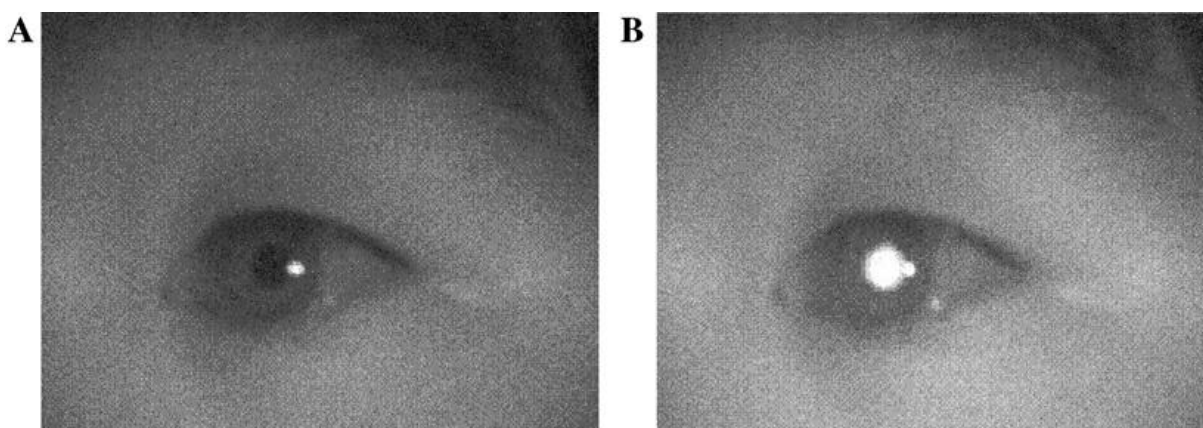
3.2 EGT bazirani na kamerama

EGT bazirane na kamerama oslanjaju se na neka svojstva i karakteristike oka koje kamera ili neki drugi optički ili fotoosjetljivi uređaj mogu otkriti i pratiti. Uglavnom se te tehnike mogu implementirati na nenametljiv način.

Za praćenje se često koriste zjenica i limbus. Limbus je granica između bjeloočnice i šarenice oka. Zahvaljujući kontrastu ta dva područja, lako se može pratiti horizontalno, ali pošto kapci uglavnom pokrivaju dio šarenice, tehnike praćenja limbusa vertikalno su dosta neprecizne. Zjenice je teže detektirati i pratiti zbog malog kontrasta na granici između zjenice i šarenice, ali tehnike praćenja zjenica su preciznije budući da one nisu prekrivene kopcima (osim za vrijeme treptaja).

Kako bi poboljšali kontrast između zjenice i šarenice, mnogi EGT-ovi koriste infracrveni (IC) izvor svjetla. Budući da IC svjetlo nije vidljivo, ono ne ometa korisnika. U praksi, većina implementacija koristi izvore svjetlosti blizu IC spektra, sa valnom duljinom oko 880 nm, što je gotovo nevidljivo ljudskom oku, ali ga svejedno može otkriti većina komercijalnih kamera.

Katkad se izvor IC svjetlosti postavi blizu optičke osi kamere. Budući da kamera tada može „vidjeti“ svjetlo koje se odbija nazad od oka, slično efektu crvenih očiju na noćnim fotografijama snimljenima jakim flashom, kamera vidi jarku zjenicu, kao na slici 2.B, umjesto normalne tamne zjenice, prikazane na slici 2.A.



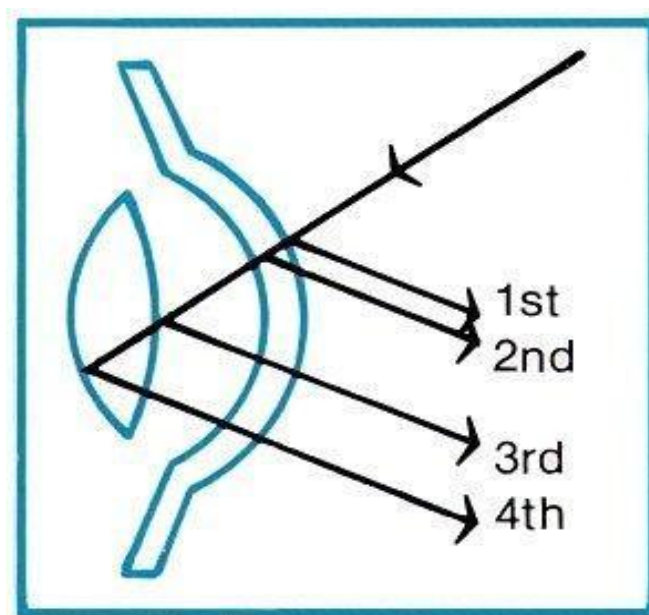
Slika 2.

Nguyen³ i ostali proveli su eksperimente koji pokazuju ponašanje ljudskih očiju i njihov odgovor IC svjetlosti, jarkih zjenica, razmatrajući faktore koji mogu izazvati velike varijacije u odgovoru na IC svjetlost kod različitih subjekata.

Svjetlosni izvor također generira odraz, odnosno odsjaj na površini rožnice, koji se jasno vidi na slici 2.A, kraj zjenice. Taj odsjaj se koristi kao referentna točka za tehniku opisanu u 4. poglavlju.

Reulen⁴ i ostali koriste varijaciju tehnika za praćenje limbusa sa IC svjetlosti zvanu infracrvena okulografija (eng. IROG). Postave diode koje emitiraju IC svjetlost i fototranzistore osjetljive na svjetlost u međudnos iznad i ispod oka. Nekoliko takvih IC parova može se postaviti na naočale ili kacige, tako da je limbus uvijek osvijetljen, konkretno, nosna i sljepoočna strana limbusa. Fototranzistor transformira odraženu IC svjetlost u napon. Napon na fototranzistoru smještenom kraj nosa uspoređuje se s onim na fototranzistoru smještenom kraj sljepoočnice. Rezultirajuća razlika u naponu proporcionalna je kutnoj devijaciji oka. Svoj sustav nazvali su IRIS eye tracker, koji je originalno dizajniran za kliničke dijagnoze na okulomotornom živcu u ljudi. Međutim, zbog svoje velike preciznosti (do u 2 kutne minute) i propusnosti također omogućava fundamentalno proučavanje ponašanja oka, poput raznih vrsta pomicanja oka. Sustav IROG IRIS se postavlja na glavu i teži oko 300 g.

Cornsweet i Crane⁵ opisuju drugi veoma precizan sustav za praćenje oka koji koristi prvu i četvrtu Purkinje sliku (slika 3).



Slika 3.

Purkinje slike su odrazi koji nastaju na različitim slojevima strukture oka. Prva Purkinje slika odgovara odrazu vanjske površine rožnice. Taj odraz je najsjajniji i najlakše ga je detektirati i pratiti. Detekcija ostalih Purkinje slika zahtijeva posebnu opremu, ali omogućava procjenu 3D točke gledanja pomoću treće i četvrte Purkinje slike, koje odgovaraju opuštanju očne leće, kao što su opisali Crane i Steele⁶. U DPI (dual Purkinje image) sustavu za praćenje oka, kada se oko translacija, obje slike se pomiču skupa; ali kad oko rotira, one premašuju različite udaljenosti te se razdvajaju. To razdvajanje daje mjeru kutne orijentacije oka. Autori navode impresivnu preciznost, do u 1 kutnu minutu.

Umjesto korištenja eksplicitnih geometrijskih osobina poput kontura limbusa ili zjenice, alternativan pristup procjene položaja objekta je tretiranje slike kao točke u višedimenzionalnom prostoru. Tehnike koje koriste ovu metodu bazirane su na izgledu, odnosno perspektivi. Tan i ostali⁷ koriste 252 slike od tri korisnika kako bi konstruirali metodu za procjenu pogleda, uz preciznost do u 0.5°.

Ni metoda koju predlažu Baluja i Pomerleau⁸ ne koristi eksplicitne geometrijske osobine. Oni opisuju sustav za praćenje oka baziran na umjetnim neuronskim mrežama (ANN – artificial neural networks). Kad se jednom detektira oko, slika oka se izreže i koristi kao input za ANN. Uzimaju se slike za uvježbavanje sustava kad

korisnik gleda u specifičnu točku na zaslonu. U svojim eksperimentima koristili su 2000 testnih uzoraka. Njihov prototip sustava za praćenje oka radi na 15Hz, a precizan je do u 2° te djelomično omogućava pomicanje glave.

3.2.1 Robusnost i preciznost

Prvi korak pri daljinskoj procjeni pogleda (REGT) je detekcija i praćenje oka. Osim oka, neke tehnike zahtijevaju i detekciju drugih osobina. Robusno i precizno detektiranje i praćenje oka i njegovih osobina je temelj za poboljšavanje upotrebljivosti trenutnih REGT-ova kako bi se operater morao manje brinuti oko uvjeta osvjetljenja i pozicije kamere za dobivanje dobre slike oka, izbjegavanju smetnji koje mogu uzrokovati trepavice ili čak naočale.

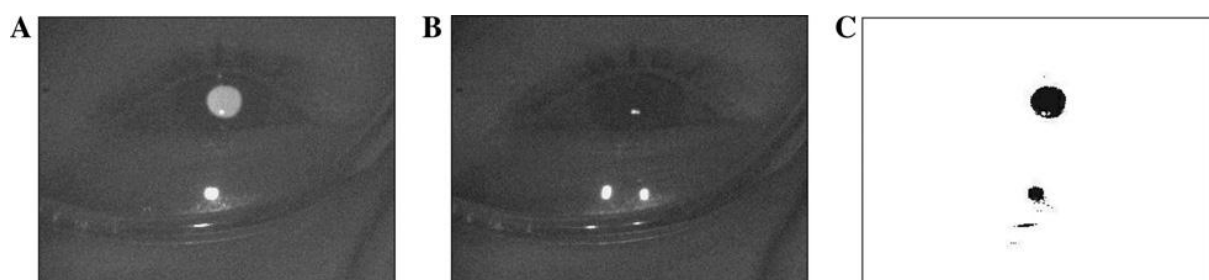
Literatura nudi nekoliko tehnika za detektiranje očiju direktno, ili kao dio lica. Lica se mogu detektirati oduzimanjem pozadine, segmentacijom boje kože, pomoću geometrijskih modela i predložaka, umjetnih neuronskih mreža itd.

Kotari i Mitchell koriste informacije o prostoru i vremenu kako bi otkrili lokaciju očiju. Njihov proces počinje odabiranjem nekoliko potencijalnih kandidata korištenjem polja gradijenata. Gradijenti duž granice šarenice i bjeloočnice uvijek pokazuju prema van od centra šarenice, te se akumulacijom tih linija može procijeniti gdje je centar šarenice, odabirući dio s najvećim gradijentom. Pogrešni kandidati za zjenicu se eliminiraju pomoću heurističkih pravila i velike temporalne podrške. Ova metoda će naći kandidate za oko koji mogu biti relativno mali, ali većina REGT sustava pretpostavlja da je u slici oko veliko i lako ga je segmentirati koristeći jednostavne pragove koje operater može prilagođavati.

Jednostavna tehnika pragova za segmentiranje jarkih ili tamnih zjenica možda nije robusna za varijacije prostornog osvjetljenja. Osim toga, ona zahtijeva da operater sustava nađe prikladan nivo praga za svako korištenje. Kim i Ramakrishna te Perez i ostali koriste tehnike detekcije rubova kako bi segmentirali limbus ili zjenicu, što također zahtijeva korištenje pragova.

Tomono te Ebisawa i Satoh razvili su slične tehnike za robusnu detekciju zjenice i odraza s rožnice. Tomono i ostali razvili su vrlo razrađen real-time sustav sastavljen

od jedne kamere sa tri CCD-a i dva izvora skoro infracrvene svjetlosti. Izvori svjetlosti imaju različite valne duljine (λ_1 i λ_2). Također, izvor svjetlosti valne duljine λ_1 je polariziran. λ_2 se postavi blizu optičke osi kamere, a λ_1 blago otklonjen od osi, generirajući slike jarke odnosno tamne zjenice. CCD3 je osjetljiv samo za λ_2 , tj. prikazuje samo jarku zjenicu. CCD1 i CCD2 su osjetljivi za λ_1 (λ_2 se filtrira) i CCD1 ima polarizirajući filter kako bi primio samo difuzne komponente svjetlosti – na primjer, odraz s rožnice se zbog λ_1 ne pojavljuje na slikama s CCD1. Kad su dostupne tri slike, zjenica se segmentira pomoću diferenciranja i pragova slika s CCD3 i CCD2, a odraz s rožnice koji se koristi za procjenu pogleda se segmentira koristeći slike s CCD2 i CCD1.



Slika 4.

Primjetite na slici 4.C da se zjenica može lako segmentirati zbog razlike u slikama jarke i tamne zjenice, čak i za ljude koji nose naočale. Operacija detekcije pomoću pragova je olakšana i lakše ju je automatizirati. Sistem Ebisawa i Satoha se također bazira na razlikama u svjetlosti koristeći dva izvora, ali su izvori iste valne duljine (na osi kamere i otklonjeno od nje) za generiranje slika jarke/tamne zjenice. Detekcija odraza s rožnice koji stvore izvori svjetlosti zahtijeva upotrebu uskog polja gledanja kamere (dugačku fokalnu duljinu) budući da je odraz uglavnom veoma malen. Ebisawa predstavlja real-time implementaciju sustava korištenjem posebnog hardvera i stabilizacije svjetline zjenice za optimalnu detekciju zjenice i odraza s rožnice. Taj sustav ne koristi odsjaj iz slike tamne zjenice, jer u toj implementaciji odsjaj od LED-ice otklonjene od osi se pomiče sa zumiranjem, a i bilo ga je teško otkriti zbog niskog kontrasta sa okolinom.

Sustavi za praćenje oka od Tomona i ostalih te Ebisawe razvijeni su za praćenje pogleda u kontroliranom (laboratorijskom) okruženju koje zahtijeva visoku preciznost. Za potrebe interakcije čovjeka i računala, Morimoto i ostali, Haro i ostali te Zhu i ostali predložili su upotrebu diferencirane svjetlosne sheme za daljinsku detekciju i praćenje oka. Svi navode dobru robusnost za promjene u osvjetljenju, ali za kamere sa širokim poljem gledanja, kandidati za zjenice moraju biti filtrirani. Zbog upotrebe aktivne IC svjetlosti, ova tehnika bolje radi na zatvorenom prostoru te čak i noću, ali nije prikladna za upotrebu na otvorenom jer sunčeva svjetlost sadrži IC, a i zjenice postaju manje u svijetlom okruženju.

Preciznost i rezolucija smjera pogleda jako ovisi o preciznosti detekcije zjenice (ili šarenice). Kako bi se postigla subpikslna preciznost, izračun centra mase područja zjenice je vjerojatno najprirodniji način za izračunavanje njenog centra, iako nije veoma robusan zbog prisutnosti odraza i trepavica.

Zhu i Yang predlažu elipsno podešavanje za subpikslnu praćenje šarenice, koristeći rubove limbusa. Implicitna reprezentacija konusa dana je jednadžbom:

$ax^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0$. Kako bi konus bio elipsa, mora vrijediti $b^2 - 4ac < 0$. Ograničenje normalizacije parametara elipse može se dati izrazom $4ac - b^2 = 1$. Koristeći ovu normalizaciju, Fitzgibbon i ostali predstavljaju direktnu metodu najmanjih kvadrata kako bi izračunali parametre elipse iz $N \geq 6$ točaka elipse.

Budući da su konture zjenice također podložne vanjskim utjecajima, poput trepavica i odraza s rožnice, mehanizam podešavanja s dvije elipse, koji predlažu Ohno i ostali može još povećati robusnost i preciznost procjene pogleda. Prvo, rubovi zjenice se koriste za elipsno podešavanje, a potom se za drugo podešavanje koriste samo rubovi zjenice blizu rubova izračunate elipse. Ovo pomaže razlikovanju vanjskih smetnji od stvarne konture zjenice i povećava preciznost procjene položaja zjenice.

Neke tehnike zahtijevaju detekciju drugih osobina, poput odraza s rožnice. Njegova detekcija se može postići greedy, tražeću svijetli dio najbliži centru zjenice. Izračun centra odraza s rožnice može se dovoljno dobro izračunati kao pozicija centroida svijetlog dijela.

Tipična NTSC kamera može generirati 30 slika po sekundi, ali pošto su slike isprepletene, većina sustava za praćenje pogleda baziranih na kamerama može raditi na do 60Hz. Rezolucija slike je 640x480 piksela. Ako kamera ima usko područje gledanja od otprilike 4° horizontalno, to znači da kamera vidi područje od otprilike 40mm na 600mm udaljenosti (tipična udaljenost od oka do monitora i kamere). U toj konkretnoj situaciji, jedan piksel slike otprilike odgovara 0.0625mm. Budući da IROG i DPI tehnike koriste fotosenzitivne ćelije umjesto kamere za daljinsku detekciju promjena pozicije oka, one mogu otkriti promjene brže i točnije od većine uobičajenih kamera.

3.3 Kalibracija i pokret glave

Do sada je u osnovi samo opisano što se mjeri u svakoj tehnici da bi se procijenio smjer pogleda. Ta mjerenja, kao što je položaj zjenice, limbusa, potencijala kože, relativni položaj Purkinje slika, itd. moraju biti translaterani na položaj oka. Postupak kalibracije je potreban kako bi pridružili mjerenja orijentaciji oka. Osim orijentacije oka, smještaj leće se također može mjeriti za 3D praćenje oka. Tipična procedura kalibracije predstavlja korisniku skup vizualnih ciljeva u koje treba gledati dok se odgovarajuća mjerenja naprave. Iz ovih mjerenja, funkcija pridruživanja ili kalibracije se može izračunati. U idealnom slučaju ova funkcija treba biti linearna u širokom kutu pogleda. Cornsweet i Crane⁹ pokazuju da DPI tehnika ima dobru linearnost unutar 10° u promjeru.

Za tradicionalne tehnike praćenja zjenice i limbusa položaj središta zjenice ili šarenice mora biti pridružen vizualnim ciljevima. Budući da položaj oka varira s pozicijom glave, glava treba ostati i dalje mirna i nakon kalibracije. Jedan od načina kompenziranja malih pomaka glave je uzeti u obzir da je pozicija zjenice/šarenice relativna u odnosu na očnu duplju ili neke pouzdane fiksne točke na licu korisnika. Stoga mapiranje se računa koristeći vektor od referentne točke do sredine zjenice/šarenice. Za tehniku odsjaja zjenice-rožnice odsjaj zjenice na rožnici se koristi kao referentna točka.

Tehnika koja na temelju izgleda korisnika pomoću neuronskih mreža „nauči“ kalibraciju na velikom skupu slika, i generalizira mapiranje na ostale korisnike, ima prednost jer ne zahtjeva kalibraciju za svakog korisnika jednom kad je istrenirana, ali pošto se slika oka mijenja s pozicijom glave ova tehnika je također osjetljiva na pomicanje glave.

3.4 Zahtjevi za upotrebljivost EGT-a

Tehnika	Točnost	Komentar
Kontaktne leće	1'	Vrlo nametljivo, točno, brzo
EOG	2°	Nametljivo, jednostavno, jeftino
IROG	2'	Montirano na glavu, praćenje limbusa
DPI	1'	Ne nametljivo ali koristi naslon za glavu
Praćenje limbusa	1°	Kamera, niža vertikalna točnost
Praćenje zjenice	1°	Kamera, teško detektirati zjenicu
Odsjaj zjenice	1°	Kamera, tolerira malo pomicanje glavom
Bazirano na slici	0,5°-2°	Kamera, zahtjeva „učenje“ ANN

Tablica prikazuje neke karakteristike tradicionalnih EGT-a. Osim točnosti, postoji nekoliko zahtjeva koje EGT treba zadovoljiti. Prema Scott i Findlayu¹⁰ idealni EGT treba imati svojstva:

1. neometano vidno polje s dobrim pristupom licu i glavi
2. nemati kontakt s subjektom
3. biti sposoban umjetno stabilizirati sliku šarenice
4. imati točnost od barem 1% ili nekoliko kutnih minuta
5. razlučivost od 1' i detektirati najmanje promjene u položaju oka
6. imati odziv u realnom vremenu
7. mjeriti sva 3 stupnja kutne rotacije i biti ne osjetljiv na očnu translaciju

8. jednostavno proširenje na snimanje s dvije kamere
9. biti jednostavno za korištenje na različitim subjektima
10. kompatibilnost sa snimanjem glave i tijela

Navedeni popis uključuje nekoliko tehničkih zahtjeva za brzinom, točnošću i rezolucijom, i ostale općenitije zahtjeve za jednostavniju uporabu. Za izradnju aplikacije EGT-a za javnu uporabu većina ovih zahtjeva je previše restriktivna. Tako da oni mogu biti malo „labaviji“, čak i kompletno ignorirani, kao što je uvjet 3.

Da bi se koristili u sustavu računalnog sučelja, idealni EGT bi trebao biti:

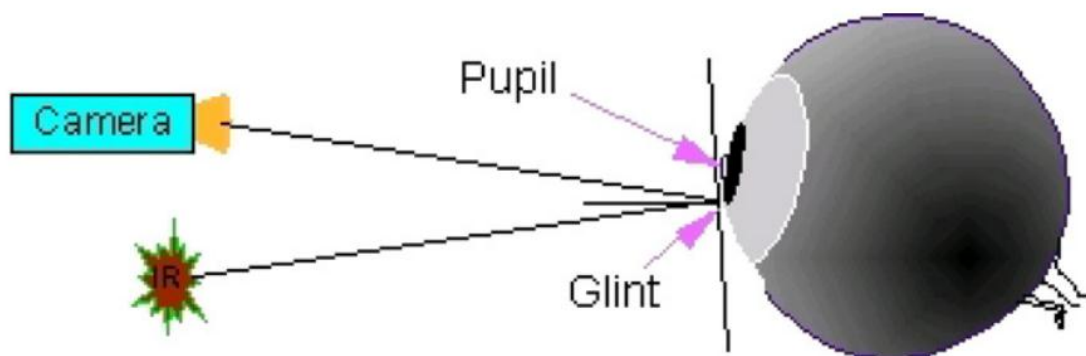
1. točan - preciznost od nekoliko kutnih minuta
2. pouzdan - imati konstantno, ponavljajuće ponašanje
3. robustan – raditi pod različitim uvjetima, kao što je vani / unutra, naočale, leće
4. ne nametljiv – ne uzrokuje neudobnost, štetu
5. omogućeno slobodno kretanje glave
6. ne zahtjeva kalibraciju, instantno postavljanje
7. ima odziv u realnom vremenu

Ukratko, trebao bi raditi svugdje, biti primjenjiv na svakome, uvijek, kompatibilan sa svakom aplikacijom, bez potrebe za kalibracijom, ne nametljiv. Naravno, niti jedna tehnika ne zadovoljava ove zahtjeve uporabljivosti, ali odsjaj zjenice-rožnice nudi neke prednosti nad ostalim dostupnim alternativama. Premda učinkovitost ove metode proizlazi iz korištenja naslona za bradu, neki proizvođači poput ASL, LC Technologies i SMI tvrde da njihovi uređaji pomoću odsjaja zjenice-rožnice toleriraju male pomake glave, otprilike unutar kocke veličine stranica 30 cm. Nakon jednostavne kalibracije postiže točnost od između 0.5° i 1° .

Nažalost nema pristupa njihovoj implementaciji, ali poznati su neki algoritmi i metoda koje se koriste u provedbi EGT pomoću odsjaja zjenice-rožnice.

Tehnika pomoću odsjaja zjenice na rožnici

Zbog svoje jednostavnosti i zadovoljavajuće točnosti mnogi REGT-ovi danas svoj rad temelje na odsjaju rožnice. Slično poput DPI tehnike, ona također zahtijeva IC izvor svjetla za generiranje prve Purkinje slike. Uz pretpostavku da je oko sfera i da se rotira samo oko svog centra i da su kamera i izvor svjetlosti fiksni, položaj odsjaja zjenice na rožnici se ne miče s rotacijom oka, te se stoga može koristiti kao referentna točka. Središte zjenice i položaj odsjaja zjenice na rožnici definiraju vektor na slici. Ovaj vektor se lako može pridružiti koordinatama na ekranu nakon kalibracije i koristiti npr. za kontrolu kursora u grafičkim sučeljima. Ovo je jednostavan način ocjenjivanja kvalitete umjerevanja preko monitora. Kalibracija se radi tako da se korisnika zamoli da pogleda u nekoliko točaka, jednu po jednu, i pretisne gumb.



Slika 5.

Zaključak

U seminaru je opisan način rada daljinski upravljanih uređaja za praćenje pogleda oka (REGT), i pokazane dvije najveće prepreke današnje REGT tehnologije. Opisane su tradicionalne tehnike praćenja pogleda, i dotaknuta danas jedna od najpopularnijih metoda – odsjaja zjenice na rožnici. Prvi i manji problem je potreba za kalibracijom uređaja pri svakom korištenju. Drugi problem je vrlo ograničen prostor micanja glave, jer pomicanjem glave dolazi do promjene parametara koje smo odredili kalibracijom. Ti problemi su se uz modernu tehnologiju i tehnike praćenja proteklih nekoliko godina smanjili, premda se EGT uređaji koriste još uvijek samo u laboratorijima i u kontroliranim uvjetima gdje se nametljive tehnike mogu lakše tolerirati. Osim u medicinske svrhe koriste se u izlozima dućana za grubo praćenje pogleda kupaca, ocjenjivanja na kojim dijelovima se korisnik zadržava na web stranicama itd. Veliki korak će biti kad EGT krenu u javnu uporabu jer postoje invalidi kojima će ovo uvelike olakšati korištenje računala.

Literatura

1. Morimoto C., Mimica M., Eye gaze tracking techniques for interactive applications, Computer Vision and Image Understanding 98 (2005) 4-24
2. Zhu Z., Ji Q., Eye gaze tracking techniques under natural head movement
3. Lu H.C., Fang G. L., A novel method for gaze tracking by local pattern model and support vector regressor (2009)
4. Eye gaze tracking, 21.4.2011., http://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking, 8.5.2011.

Reference

- ¹ A.T. Duchowski, A breadth-first survey of eye tracking applications, *Behav. Res. Methods Instrum. Comput.* (2002) 1–16.
- ² D.A. Robinson, A method of measuring eye movements using a scleral search coil in a magnetic field, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 10 (1963) 137–145.
- ³ K. Nguyen, C. Wagner, D. Koons, M. Flickner, Differences in the infrared bright pupil response of human eyes
- ⁴ J. Reulen, J.T. Marcus, D. Koops, F. de Vries, G. Tiesinga, K. Boshuizen, J. Bos, Precise recording of eye movement: the iris technique, part 1, *Med. Biol. Eng. Comput.* 26 (1) (1988) 20–26.
- ⁵ T. Cornsweet, H. Crane, Accurate two-dimensional eye tracker using first and fourth purkinje images, *J. Opt. Soc. Am.* 63 (8) (1973) 921–928.
- ⁶ H. Crane, C. Steele, Accurate three-dimensional eyetracker, *J. Opt. Soc. Am.* 17 (5) (1978) 691–705
- ⁷ K. Tan, D. Kriegman, H. Ahuja, Appearance based eye gaze estimation, in: *Proc. of the IEEE Workshop on Applications of Computer Vision—WACV02, 2002*, pp. 191–195.
- ⁸ S. Baluja, D. Pomerleau, Non-intrusive gaze tracking using artificial neural networks, *Tech. Rep. CMU-CS-94-102*, School of Computer Science, CMU, CMU Pittsburgh, Pennsylvania 15213 (January 1994).
- ⁹ T. Cornsweet, H. Crane, Accurate two-dimensional eye tracker using first and fourth purkinje images, *J. Opt. Soc. Am.* 63 (8) (1973) 921–928.
- ¹⁰ D. Scott, J. Findlay, Visual search, eye movements and display units, Human factor report, University of Durham (1993).