

TEHNOLOGIJE I PRIMENA SISTEMA ZA PRAĆENJE OČNIH POKRETA**TECHNOLOGY AND APPLICATIONS OF EYE MOVEMENT TRACKING SYSTEMS**Vesna Nedić, Platon Sovilj, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO**

Kratak sadržaj – Istraživanje korisničkog iskustva ima za cilj da razume tačku gledišta korisnika, jer praćenje očiju omogućava da se bukvalno vidi kroz oči korisnika. Upravo zbog toga može nam poslužiti kao dragocen alat u veb istraživanjima, a posebno u veb dizajnu i razvoju. Da bi se razumelo kako praćenje očiju može biti ključno u istraživanjima veb stranica, ovaj rad naučno objašnjava kako čovekov vizuelni sistem funkcioniše i kako tehnologije za praćenje oka mogu snimiti ono što se registruje očima. Takođe, u radu se opisuje široka primena sistema za praćenje očnih pokreta.

Ključne reči: praćenje očnih pokreta, tehnike za praćenje očnih pokreta, GazepointGP3, VT3 mini eye-tracker

Abstract – User experience research aims to understand the user's point of view, as eye tracking allows us to literally see through the user's eyes. That's why it can serve us as a valuable tool in web research, and especially in web design and development. To understand how eye tracking can be crucial in web page research, this paper scientifically explains how the human visual system works and how eye tracking technologies can record what we register with our eyes. Also, the paper describes the wide application of eye movement tracking systems.

Keywords: eye-tracking, techniques for eye-tracking movements, GazepointGP3, VT3 mini eye-tracker

1. UVOD

Neuronauka je naučna disciplina nervnog sistema. Kao grana nauke, uključuje anatomiju, fiziologiju, biohemiju ili molekularnu biologiju nerva i nervnih tkiva. Najraniji termin reči "kognitivno" u "kognitivna nauka" u Oksfordskom engleskom rečniku opisuje da se njeno značenje odnosi na "akciju ili proces saznavanja".

Kognitivna neuronauka se preklapa sa mnogim disciplinama kao što su neuronauka, psihologija, kognitivna psihologija i neuropsihologija.

Kognitivna neuronauka ima za cilj da pronade vezu između nervnih centara u mozgu i njihovih odgovarajućih psiholoških ili kognitivnih funkcija.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Platon Sovilj.

2. TEHNOLOGIJA ZA PRAĆENJE OČNIH POKRETA

Praćenje očnih pokreta (engl. Eye-tracking) je eksperimentalna metoda snimanja kretanja očiju i lokacije pogleda tokom vremena i zadatka. To je uobičajena metoda za posmatranje alokacije vizuelne pažnje. Tipično, sistem za praćenje očiju se sastoji od jedne ili više kamera, nekih izvora svetlosti i računarskih mogućnosti. Algoritmi prevode kamere u tačke podataka uz pomoć mašinskog učenja i napredne obrade slike.

2.1. Kako vidimo?

Da bi se „video“ neki predmet, svetlost mora da se reflektuje od objekta i putuje do ljudskog oka. Svetlosna energija koju oči prime pretvara se u električne (neuronske) signale, a zatim se oni šalju u naš mozak na dalju obradu. Dakle, prvi korak u gledanju objekta počinje registrovanjem reflektovane svetlosti od objekta sa mrežnjačom, sloj osetljiv na svetlost na zadnjoj strani očiju.

2.2. Pokreti oka

Pokreti jednog oka u raznim pravcima zahtevaju koordinisanu akciju, kontrakciju i/ili relaksaciju više očnih mišića istovremeno. Postoje šest tipova očnih pokreta, i to: sakade, mikrosakade, vestibulookularni pokreti, glatki pokreti, vergentni pokreti i optokinetički refleksi. Sakade su brzi, nagli pokreti očiju koji se javljaju kada se oči pomeraju sa jedne tačke fiksacije na drugu. Mikrosakade su pokreti oka koji su poput trzaja i ne zavise od volje čoveka. Vestibulo-okularni refleks je refleks oka koji stabilizuje slike na retini dok se glava pomera, stvarajući očni pokret u smeru obrnutom od pokreta glave. Pomoću glatkih pokreta očiju oči takođe mogu pratiti pokretni objekat. Vergentni pokreti poravnavaju foveu svakog oka sa metom lociranom na različitim udaljenostima od ispitanika. Optokinetički refleks je kombinacija sakada i glatkih pokreta praćenja.

2.3. Tehnike za praćenje očnih pokreta

Tehnike praćenja očiju su metode koje se koriste za merenje i analizu pokreta očiju. Neke od uobičajenih tehnika za praćenja očiju su: daljinsko praćenje očiju, praćenje očnih pokreta sa uređajem na glavi, mobilno praćenje očiju, merenje proširenja zenica, elektrookulografija (EOG), funkcionalna magnetna rezonanca (fMRI).

2.4. Nametljive i nenametljive tehnike praćenja očnih pokreta

Tehnike za praćenje očnih pokreta mogu da se podele i na nametljive i nenametljive. Mnoge tradicionalne tehnike praćenja pogleda su nametljive, tj. zahtevaju opremu koja je u fizičkom kontaktu s korisnikom. Takve tehnike uključuju npr. kontaktna sočiva, elektrode itd. Nena-

metljive (daljinske) tehnike se baziraju na snimanju oka kamerom.

Nametljive tehnike, generalno su preciznije od nenametljivih (daljinskih). Jedna od najtradicionalnijih metoda je bazirana na kontaktnim sočivima. Radi se o veoma invazivnoj metodi, jer korisnik mora, sočivo koje je spojeno sa žicama, da stavi direktno u oko. Zbog toga se koristi samo u laboratorijskim istaživanjima.

U nenametljive tehnike praćenja očnih pokreta spada elektrookulogram.

2.5. Poređenje uređaja za praćenje očnih pokreta

Poređene su dve vrste hardvera i softvera koji se koristi za upravljanje opremom: jedan par naočara za praćenje očiju i drugi uređaj za praćenje očiju montiran na kompjuterski monitor. Poređenje je prikazano u tabeli 1.

Attributes	LET*	GET*
Hardware portability	Portable to data collection site but not during data collection	Portable to data collection site and during data collection
Hardware location	Magnetic attachment to bracket at base of computer monitor	Battery-operated unit, worn like safety glasses hard-wired to a small (12 x 8 x 3 cm) recording device
Hardware compatibility	Users may wear some types of corrective glasses and contact lenses	Users may wear some types of corrective contact lenses
Calibration procedure	Nine-point process completed on the monitor screen	Nine-point process completed with IR marker on a flat surface
Pupils monitored (no.)	1	2
Light sensitivity (reducing recording capability)	Moderate	High
Data aggregation ease	Easy	Possible only through use of IR markers
Recording distance for optimum accuracy	1 m from screen	1-15 m
Software compatibility	Microsoft Windows only (Microsoft Corp., Redmond, WA)	
Site license	Valid for data collection for 1 year; separate data analysis license available for purchase	

*1 cm = 0.3937 inch, 1 m = 2.2088 ft.

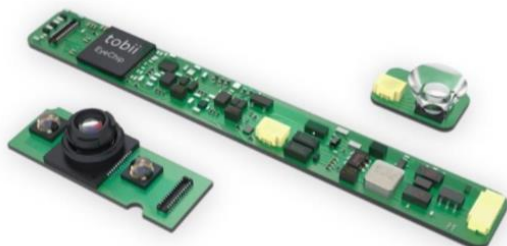
Tabela 1. Poređenje uređaja

3. METODOLOGIJA PRAĆENJA OČNIH POKRETA

Proces praćenja očiju može se grubo podeliti na sledeće korake: podešavanje subjekta, kalibracija subjekta i praćenje. U fazi postavljanja subjekta, subjekt sedi i podešava se njegova lokacija u odnosu na uređaj za praćenje očiju. U fazi kalibracije subjektu se prikazuje šablon kalibracije koji se sastoji od više tačaka kalibracije. Od subjekta se traži da usmeri svoj pogled na svaku od tačaka kalibracije, a lokacija POG-a (engl. Point of gaze - POG) za svaku tačku kalibracije se beleži. Faza kalibracije se ponavlja sve dok se ne zabeleže zadovoljavajuće vrednosti kalibracije za svaku tačku kalibracije. Faza praćenja se sastoji od pregleda statusa praćenja oka i, ako je potrebno, ponovnog podešavanja tokom praćenja stvarnih zadataka eksperimenta.

4. DELOVI UREĐAJA ZA PRAĆENJE OČNIH POKRETA

Eye tracker uređaj sastoji se od kamera, projektor i algoritama. Projektori stvaraju zrak infracrvenog svetla na očima. Senzori kamera uzimaju sliku oka i obrasca korisnika u velikom broju slika. Algoritmi za obradu slike pronalaze određene detalje u očima korisnika i obrasce refleksije. Na osnovu tih detalja matematički algoritmi izračunavaju položaj oka i tačku gledanja, na primer na monitoru računara. Eye tracker uređaj prikazan je na slici 1.



Slika 1. Delovi eye-tracker uređaja

4.1. Hardverska jedinica za praćenje očnih pokreta (GazepointGP3)

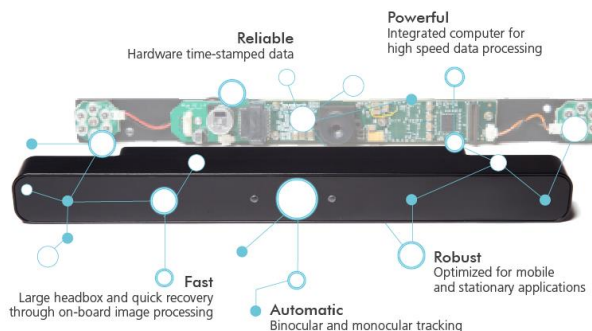
Ovo je uređaj opšte namene za istraživanje, GazepointGP3 eye-tracker (slika 27), koji je uspešno primenjen u nekim ranijim istraživanjima. To je ultraprenosivi uređaj (320 k 45 k 40 mm, 145 g) koji može da se kreće 25 cm horizontalno, 11 cm vertikalno i 15 cm u dubinu; može se postaviti na monitor i koristi posmatranje infra kamere i obradu slike za otkrivanje i praćenje kretanja očiju sa brzinom uzorkovanja od 60 Hz.



Slika 2. Gazepoint GP3

4.2. VT3 mini eye-tracker

Često korišćen uređaj za praćenje očnih pokreta je VT3 mini eye tracker upravo zbog njegove male veličine i visoko profesionalne 100% obrade podataka na čipu. Brza analiza podataka slike oka na čipu je ključna za dobijanje pouzdanih rezultata. Prednosti ovog uređaja su to što je pouzdan, moćan, robustan, automatski i višenamenski.



Slika 3. VT3 mini eye-tracker

5. PREDNOSTI I MANE UREĐAJA ZA PRAĆENJE OČNIH POKRETA

Jedna od prednosti tehnologije praćenja očiju je što beleži stvarne pokrete očiju. Snimke praćenja očiju tačno prikazuju prirodno kretanje i fiksaciju oka. Dodatna prednost upotrebe tehnologije praćenja oka u istraživanjima je kvalitet i količina podataka. Takođe prednosti su i primene u dijagnostici i terapijama, čiji se prikupljeni podaci od eye trackera koriste u medicinske svrhe kao i lečenje pacijenata.

Jedan od glavnih nedostataka tehnologije za praćenje očiju je u tome što se ne može istovremeno pratiti više pokreta očiju. Kontaktna sočiva, naočare i boja zenica mogu uticati na sposobnost kamere za praćenje oka da

beleži pokrete očiju. Zbog toga, ne mogu svi (obično 10–20% uzorka) sudelovati u studiji praćenja očiju. Eksperimenti praćenja očiju zahtevaju znatna finansijska, vremenska i radna sredstva. Oprema za praćenje očiju (tj. kamera, računar, softver) može biti skupa.

6. PRIMENA

Primena praćenja očnih pokreta u današnjem svetu je izuzetno rasprostranjena i korisna, ne samo u medicini, nego i u drugim oblastima nauke.

Danas se uređajima za praćenje očiju služe psiholozi, neuronaučnici, inženjeri, marketinški stručnjaci, dizajneri, arhitekta, doktori...

6.1. Primena u obrazovne svrhe

Tehnologija praćenja očiju takođe može imati različite primene u obrazovanju, u rasponu od procene poteškoća u učenju do poboljšanja nastavnih metoda. Neke moguće primene praćenja očiju u obrazovanju uključuju:

- Procena teškoća u učenju
- Istraživanje u učenju i pamćenju
- Prilagodljivo učenje
- Učenje jezika
- Procena efikasnosti nastave

Tehnologija praćenja očiju ima potencijal da unapredi obrazovanje pružanjem uvida u procese učenja, identifikovanjem poteškoća u učenju i poboljšanjem nastavnih metoda.

6.2. Primene u medicinskim istraživanjima za proučavanje širokog spektra neuroloških i psihijatrijskih stanja

Praćenje oka u kombinaciji s konvencionalnim metodama istraživanja ili drugim biosenzorima mogu pomoći u proceni i potencijalnoj dijagnozi stanja poput poremećaja hiperaktivnosti s deficitom pažnje (ADHD), poremećaja spektra autizma (ASD), opsesivnokompulzivnog poremećaja (OCD), šizofrenije, Parkinsonove bolesti i Alzheimerove bolesti. Uz to, tehnologija praćenja oka može se koristiti za otkrivanje stanja pospanosti ili podržavanje više drugih područja medicinske upotrebe, osiguranja kvaliteta ili praćenja.

6.2.1. Studija praćenja oka za poboljšanje upotrebljivosti izveštaja o molekularnoj dijagnostici u preciznoj medicini raka

Sprovedene su studije upotrebljivosti na komercijalno dostupnim izveštajima o molekularnoj dijagnostici (engl. molecular diagnostic - MDx) da bi se identifikovale prednosti i slabosti u sadržaju i obliku koji podstiču donošenje kliničkih odluka. S obzirom na rutinsko genomsko testiranje u medicini raka, onkolozi moraju precizno tumačiti izveštaje o MDx-u, kao i dokaze o kliničkoj korisnosti biomarkera za lečenje ili izbor ispitivanja. Cilj je da se proceni efikasnost MDx izveštaja u olakšavanju planiranja lečenja raka.

6.2.2. Upotreba praćenja očnih pokreta u testiranju upotrebljivosti medicinskih uređaja

Studija je napravljena u saradnji sa proizvođačem medicinskih uređaja. Obično proizvođač uređaja koristi verbalne protokole samoprijavlivanja, intervju i zapažanja u svojim formativnim testovima upotrebljivosti tokom

razvoja proizvoda. Cilj studije jeste da se istraži da li upotreba tehnologije za praćenje očiju (Tobii Pro Glasses 2 i softver za snimanje iMotions 6.2.5) može doprineti prikupljanju podataka i uneti nove podatke i znanje u razvoj proizvoda. Studija se fokusira na dva scenarija ili slučaja upotrebe medicinskog uređaja:

(1) kako korisnik ispravno identifikuje „status uređaja“ i
(2) kako korisnik postupa sa zamenom potrošnog materijala u održavanju uređaja. Identifikacija statusa uređaja uključuje:

(a) da biste mogli da identifikujete da li je uređaj spreman za upotrebu ili ne i

(b) da biste mogli da identifikujete da li je uređaju potrebno održavanje ili da se problemi moraju rešiti pre upotrebe (i koji probleme koje treba rešiti, ako ih ima).

6.2.3. Korišćenje uređaja za praćenje očnih pokreta za procenu upotrebljivosti zdravstvene informacione tehnologije

Tehnologija praćenja očnih pokreta obećava u istraživanju upotrebljivosti zdravstvene informacione tehnologije (engl. Health Information Technology – HIT) zbog bliskog odnosa između vizuelnih stimulusa i mehanizama pažnje. Na osnovu teorije obrade ljudskih informacija, ljudi mogu istovremeno da prisustvuju samo određenoj količini vizuelnih stimulansa, zbog ograničene količine mentalnih resursa. Prekomerni informacioni stimulansi će dovesti do mentalnog preopterećenja koje je u korelaciji sa fiziološkim promenama, kao što je prečnik zenice. Stoga, praćenjem infracrvene svetlosti koju reflektuje ljudsko oko, može se razumeti mentalno opterećenje i kognitivno stanje učesnika.

6.3. Primena u industriji igara (gaming)

Tehnologija praćenja očiju može se koristiti u igrama na različite načine kako bi se poboljšalo iskustvo igranja i pružili novi oblici interakcije. Neke primene praćenja očiju u igrama uključuju:

- Ciljanje na pogled
- Dinamičko podešavanje težine
- Navigacija u igri
- Virtuelna stvarnost
- Emocionalno prepoznavanje

Sve u svemu, tehnologija za praćenje očiju može poboljšati iskustvo igranja pružanjem novih oblika interakcije, poboljšanjem tačnosti i stvaranjem doživljaja koji će biti impresivniji.

6.4. Primena tehnologije praćenja očnih pokreta u veb istraživanjima

Praćenje očnih pokreta za testiranje veb stranica je često korišćen pristup, koji daje uvid u to kako se veb stranice gledaju i doživljavaju, kako ljudi prate reklame, komunikaciju i pozive na akciju. Podaci praćenja oka mogu korisniku pružiti dragocen uvid u obrasce pogleda posetilaca veb stranice - koliko im treba da pronađu određeni proizvod na veb stranici, kakve vizuelne informacije ignorišu, a koje bi zapravo trebalo da vide, koje im privlače pažnju itd.

Iste pretrage mogu se primeniti čak i na mobilne aplikacije na tabletima i pametnim telefonima. Budući da nam praćenje očiju može pomoći da uvidimo ono što privlači pažnju korisniku na vizuelnom ekranu, to nam

može pružiti neprocenjiv uvid u interesovanja potrošača. Zbog toga praćenje očiju ima potencijal da postane industrijski standard za dizajniranje i razvoj veb stranica.

6.5. Primena praćenja očnih pokreta u automobilskoj industriji

Analiza podataka pokreta očiju vozača može biti od velike pomoći za merenje pažnje i pospanosti tokom vožnje. Dobro je poznat odnos između pokreta očiju i pažnje, koji dele istu oblast na moždanom korteksu. Na putu, vozač nije sve vreme fokusiran na vožnju.

Kada se uređaji koriste u automobilu, na primer, obično je potrebno oko 1-2 sekunde ili čak duže (u zavisnosti od saobraćajnih uslova i geometrije puta) da se dobije dovoljno informacija sa određenog uređaja.

Tokom vožnje, pokreti očiju i upravljanje su usko povezani.

Kada se vozači suočavaju sa krivinom puta, oni imaju tendenciju da pogledaju unutrašnju krivinu neposredno pre početka procedure upravljanja.

Upoređene su prednosti različitih obrazaca pokreta očiju kako se vidljivost unutrašnje krivine smanjivala. Rezultati pokazuju da su oni korisnici koji su gledali ka unutrašnjoj krivini, iako ona nije bila vidljiva, imali bolje performanse od onih koji su odlučili da ne pogledaju u tom pravcu, pošto je meta postala nevidljiva. Ovo implicira da pokreti očiju poboljšavaju koordinisane pokrete, čak i ako je prikupljanje vizuelnih informacija ometano, što potvrđuje da vizuelno vođeno ručno praćenje poboljšava preciznost kada se pokreti očiju poklapaju sa pokretima upravljača.

6.6. Primena praćenja očnih pokreta u sportu

Tehnologija praćenja očiju ima širok spektar primena u sportu:

- Analiza učinka
- Obuka i razvoj veština
- Prevencija povreda i rehabilitacija
- Razvoj opreme
- Emitovanje i mediji

Sve u svemu, tehnologija za praćenje očiju ima brojne primene u sportu i može biti dragoceno sredstvo za poboljšanje performansi sportista, sprečavanje povreda i poboljšanje ukupnog sportskog iskustva za sportiste i navijače.

6.7. Primena praćenja očnih pokreta u turizmu

Tehnologija praćenja očiju može se primeniti na turističku industriju na različite načine:

- Marketing i oglašavanje
- Iskustvo i ponašanje posetilaca
- Dizajn odredišta i atrakcija
- Pristupačnost
- Proširena stvarnost i virtuelna stvarnost

Tehnologija praćenja očiju može pružiti vredan uvid u ponašanje posetilaca, preferencije i iskustva u turističkoj industriji, pomažući turističkim marketinškim radnicima i dizajnerima da kreiraju privlačnije i efikasnije kampanje, atrakcije i okruženja.

6.8. Primena tehnologije praćenja očnih pokreta u vazduhoplovstvu, pomorstvu i građevinskoj industriji

Većina nesreća u vazduhoplovstvu, pomorstvu i građevinarstvu je uzrokovana ljudskim greškama, koje se mogu pratiti unazad do poremećenih mentalnih performansi i nedostatka pažnje. Istraživanje Nacionalnog odbora za bezbednost u saobraćaju pokazalo je da je 88% vazduhoplovnih nesreća između 1989. i 1992. uzrokovano ljudskim greškama. Prema Međunarodnoj pomorskoj organizaciji (IMO), ljudska greška je takođe glavni uzrok incidenata u pomorskoj industriji, čineći 85% svih nesreća u industriji. Građevinska industrija je jedna od najopasnijih industrija na svetu. Na primer, iako čini samo 5% radne snage u SAD, građevinska industrija je činila skoro 20% smrtnih slučajeva na radnom mestu među svim industrijama između 2003. i 2012. Dobar alat za merenje kretanja očiju i informacija o položaju očiju je korišćenje uređaja za praćenje oka. Ovaj jedinstveni alat omogućava snimanje informacija o pokretima očiju, što može pomoći u proceni mentalnog stanja pojedinca, razumevanju kognitivne obrade i ponašanja i tumačenju odgovora pojedinaca na različite vizuelne stimuluse.

7. ZAKLJUČAK

Poslednjih godina praćenje očiju postaje jedna od najperspektivnijih metodologija za interakciju između čoveka i računara: njegove primene se očekuju u mnogim različitim poljima kao što su implementacija interfejsa čovek-računar, adaptivni interfejsi zasnovani na pažnji korisnika, medicinska istraživanja itd. Iako je praćenje očnih pokreta obećavajuća tehnologija, primena tehnologije praćenja očiju na procenu upotrebljivosti zdravstvenih IT je još uvek u razvoju, sa ograničenim teorijskim smernicama i praksom.

8. LITERATURA

- [1] <http://kelm.ftn.uns.ac.rs/bmi-biomedicinsko-inzenjerstvo-ukognitivnim-neuronaukama/>
- [2] <https://www.tobii.com/learn-and-support/get-started/what-is-eye-tracking>
- [3] <https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1062&context=thci>
- [4] [https://www.df.uns.ac.rs/wpcontent/uploads/publikacije/filip_grujic_-_strucni_rad_\(d591\).pdf](https://www.df.uns.ac.rs/wpcontent/uploads/publikacije/filip_grujic_-_strucni_rad_(d591).pdf)
- [5] <https://zir.nsk.hr/islandora/object/pmfst:44/preview>
- [6] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6960643/>
- [7] <https://imotions.com/products/hardware/gazepoint-gp3-hd-2/>
- [8] <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/fe947>
- [9] <https://imotions.com/blog/eye-tracking/>
- [10] <https://humanfactors.jmir.org/2015/1/e5/>
- [11] <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/13/4289>

Kratka biografija:



Vesna Nedić rođena je u Doboju 1997. god. Diplomirala je na fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na katedri za električna merenja 2021. godine.
kontakt: vesnica_97@hotmail.com