

**VEB PLATFORMA ZA TESTIRANJE ZNANJA SA PRAĆENJEM POKRETA OKA
WEB PLATFORM FOR KNOWLEDGE TESTING WITH EYE-TRACKING**Ognjen Vlajić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je opisana veb platforma za online testiranje čiji glavni zadatak jeste da uz pomoć uređaja za praćenje pokreta oka prikupi podatke o ispitaniku. Predstavljena je tehnologija za praćenje pokreta oka. Data je specifikacija i objašnjenje dela implementacije platforme.

Ključne reči: Praćenje pokreta oka, online testiranje, metrike, tačke pogleda, fiksacija, regija od interesa

Abstract – This paper describes a web platform for online testing whose main purpose is collecting eye-tracking data about students. The eye-tracking technology is presented. The specification and implementation of the platform are given.

Keywords: Eye-tracking, online testing, metrics, gaze point, fixation, area of interest

1. UVOD

Razvoj tehnologije i revolucija Interneta utiču na sve sfere života, pa tako i na obrazovanje i dovode do toga da se tradicionalno testiranje na papiru (pen-and-pencil testing, paper-based testing - PBT) polako zamenjuje testiranjem na računaru (computer-based testing - CBT).

Testiranje na računaru započeto je pre skoro jednog veka kada je izvršeno testiranje na IBM računaru [1] i od tada se značajno promenilo. Prvo je vršeno testiranje na samo jednom računaru, potom testiranju u okviru lokalne računarske mreže, da bi se danas došlo do online testiranja (web-based testing - WBT).

Online testiranje ima mnoge prednosti u odnosu na testiranje na papiru, a neke od njih su: upotreba svih vrsta multimedijalnog sadržaja u okviru testa, uklanjanje prostornog ograničenja i mogućnost da se test radi sa bilo kog mesta gde ima Interneta, mogućnost da se automatski dobiju rezultati testa.

Ipak, pored svih ovih prednosti online testiranje ima i jednu manu, a to je da veliki broj profesora ima problema sa sastavljanjem testa.

Kako bi im se ovaj posao donekle olakšao u ovom radu će biti predstavljena tehnologija za praćenje pokreta oka i platforma za online testiranje bazirana na njoj. Glavni zadatak ove platforme će biti da profesorima uz odgovarajuću interpretaciju da podatke o tome kako studenti razmišljaju i kako se ponašaju u toku testa.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Goran Savić, vanr.prof.

2. TEHNOLOGIJA ZA PRAĆENJE POKRETA OKA

Praćenje pokreta oka (eye-tracking, gaze interaction) je tehnologija koja se koristi kako bi se procenilo gde i koliko dugo neko gleda na stimulans dok obavlja neki zadatak [2]. Tehnologija za praćenje pokreta oka je našla svoju primenu u mnogim oblastima kao što su: medicina, marketing, industrija. Pored korišćenja u istraživačke svrhe tehnologija se može iskoristiti i kao pomoćni alat kod osoba sa invaliditetom kako bi im se omogućilo upravljanje sadržajem na ekranu.

2.1. Tipovi uređaja za praćenje pokreta oka

Postoje četiri osnovna tipa uređaja za praćenje pokreta oka:

- *screen-based* (remote, desktop)
- *glasses* (mobile)
- uređaj ugrađen unutar VR (virtual reality) opreme
- *webcam-based*

Poslednji navedeni tip (*webcam-based* uređaj) tehnološki zaostaje za ostalima iz razloga što ne koristi infrared tehnologiju.

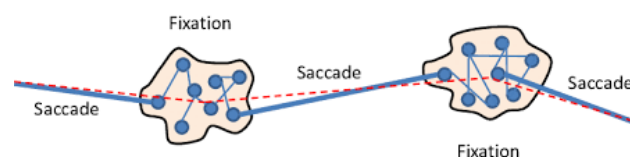
2.2. Osnovni pojmovi

U ovom delu rada će biti predstavljeni osnovni pojmovi vezani za pokrete oka i izlaze koji se dobijaju sa uređaja.

Tačka pogleda (gaze point, point of gaze, point of regard) je jedan od osnovnih izlaza koji se dobijaju sa uređaja i predstavlja tačku na ekranu u koju se gleda. Broj tačaka pogleda koji se može dobiti u jednoj sekundi od uređaja zavisi od frekvencije uzrokovanja uređaja, pa tako ukoliko uređaj ima frekvenciju od 60 Hz dobijamo 60 tačaka pogleda u sekundi.

Fiksacija (fixation) predstavlja uspostavljanje i zadržavanje pogleda na vizuelnom cilju tj. fokusiranje pogleda na neki objekat u određenom vremenskom periodu (200-300 ms). Sa stanovišta uređaja fiksacija predstavlja klaster koji formiraju tačke pogleda koje su veoma blizu u vremenu i prostoru kao što se može videti na slici 1. Fiksacija je idealna mera za vizuelnu pažnju.

Saccade predstavlja brzo pomeranje pogleda sa jedne fiksacije na drugu (40-50 ms).

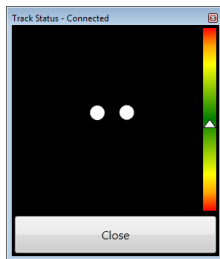


Slika 1. Tačke pogleda, fiksacije (klaster tačaka) i *saccade*

2.3 Priprema uređaja za upotrebu

Od uređaja za praćenje pokreta oka želimo da dobijemo što preciznije podatke. Kako bi se ovo postiglo pre prikupljanja podataka sa uređaja potrebno je proći kroz dva koraka:

1) Pozicioniranje uređaja na optimalnu distancu i ugao u odnosu na lice korisnika - Ovo se postiže uz pomoć softvera koji dolaze sa uređajima. Softver ukazuje na to da li je uređaj dobro pozicioniran pomoću *track status*-a. *Track status* se sastoji od linije sa indikatorom pozicije koji mora da bude što bliže sredini linije. Primer *track status*-a se može videti na slici 2.



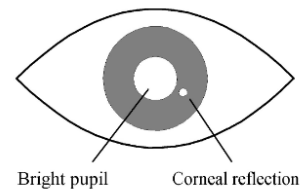
Slika 2. *Track status*

2) Prolaženje kroz proces kalibracije - Kalibracija je proces u toku kog uređaj meri kako oči reflektuju svetlost odnosno procenjuje gde se nalazi tačka posmatranja. Ona se vrši tako što se od korisnika traži da prati tačke ili druge grafičke elemente na ekranu kao što je prikazano na slici 3. Dok korisnik prati grafičke elemente uređaj uz pomoć LED kamera šalje infracrvene zrake ka oku kako bi stvorio jaku refleksiju koja će omogućiti lakše praćenje oka. Refleksija se stvara tako što infracrveni zrak prolazi kroz mrežnjaču i veliki deo se reflektuje nazad omogućavajući da se zenica vidi kao svetla tačka (bright pupil effect), nešto slično poput efekta crvene zenice prilikom slikanja foto aparatom.

Pored ovoga infracrveni zrak takođe stvara refleksiju na rožnjači koja se pojavljuje kao mali odsjaj kao što se može videti na slici 4. Kamera uređaja prikuplja informacije o refleksijama oka, one se kombinuju sa 3D modelom oka koji uređaj poseduje i uz pomoć određenih kalkulacija i filtriranja pronalazi se tačka posmatranja. Prikupljanje opisanih refleksija je u nauci poznato kao "corneal-reflection/pupil-centre" metoda [3]. Određeni uređaji imaju podršku i za efekat tamne zenice (dark pupil effect) pošto se ona kod nekih korisnika pokazala kao bolje rešenje.



Slika 3. Prikaz grafičkih elemenata koji se koriste prilikom kalibracije (od korisnika se očekuje da zadrži pogled unutar krugova)



Slika 4. Efekat svetle zenice i refleksija na rožnjači

2.4 Metrike

Metrika predstavlja alat koji se koristi nad određenom grupom podataka (izlaza) koji su dobijeni od uređaja za praćenje pokreta oka sa ciljem da se da uvid u to kako se korisnik ponašao i kako je razmišljao u određenim situacijama. Postoje različite metrike, neke u literaturi imaju i više imena [4], a ovde će biti navedene samo neke:

1) *Area of interest* (region of interest) omogućava da se označe regije stimulansa koji se prikazuje korisniku. Mogu biti različitih oblika, ali su najčešće u obliku pravougaonika ili elipse. Koristi se za izvođenje drugih metrika.

2) *Time to first fixation* ukazuje na to koliko ukupno vremena treba ispitaniku da pogleda u određenu regiju od interesa od početka prikaza stimulansa. Ukoliko postoji više ispitanika ova metrika može da podrazumeva prosečno vreme koje je potrebno svim ispitanicima da pogledaju regiju.

3) *Time spent* (fixation time, dwell time) predstavlja ukupno vreme koje je ispitanik proveo gledajući u određenu regiju od interesa.

4) *Ratio* metrika pruža informaciju o tome koliko ispitanika je zaista pogledalo u specifičnu regiju. Može se koristiti isključivo kada postoji veći broj ispitanika.

5) *Fixation sequences* se bazira na prostornim i vremenskim informacijama tj. gde i kada je ispitanik gledao. Sekvenca se može sastojati samo od fiksacija, a može i od fiksacija i *saccade* (u ovom slučaju se u literaturi može naći i pod nazivom *scanpath*).

6) *Revisits* predstavlja informaciju o tome koliko puta je ispitanik vratio pogled na određenu regiju od interesa.

7) *First fixation duration* pruža informaciju o tome koliko dugo je trajala prva fiksacija u okviru neke regije.

8) *Average fixation duration* predstavlja informaciju o tome koliko se u proseku ispitanik zadržavao na nekoj regiji od interesa. Ova informacija se može izvući za pojedinca ili grupu.

9) *Heatmap* predstavlja prikaz različitih gradijenata boja nad slikom. U slučaju praćenja pokreta oka *heatmap* predstavlja vizualizaciju distribucije tačaka pogleda na stimulanu. Uglavnom se koriste tri boje (crvena, zuta i zelena) za prikaz količine tačaka pogleda koje su usmerene ka određenom delu stimulansa.

10) *Opacity map* predstavlja vizuelnu reprezentaciju podataka uređaja za praćenje pogleda. Ova mapa je suprotnost *heatmap*-i. Na ovoj mapi delovi stimulansa kojima je ispitanik posvetio najviše pažnje su potpuno transparentni, onima kojima je manje su delimično transparentni, a onima kojima uopšte nije su zatamnjeni.

3. VEB PLATFORMA ZA TESTIRANJE ZNANJA

U ovoj sekciji će biti prikazani specifikacija i delovi implementacije platforme za testiranje znanja.

3.1 Specifikacija platforme

Platforma treba da podrži dve vrste korisnika: profesora i studenta. Profesor kreira test tako što definiše pitanja, odgovore i regije od interesa u okviru svakog pitanja. Student rešava test putem platforme pri čemu se vrši snimanje njegovog pogleda pomoću uređaja za praćenje pokreta oka. Nakon završenog testiranja student dobija izveštaj o rezultatima na osnovu tačnosti odgovora, dok profesor dobija izveštaj o rezultatima i o tome gde je student gledao prilikom rešavanja testa.

3.2 Tehnologije

Za implementaciju platforme su korišćeni Java sa Spring Boot-om na serverskoj strani i React na klijentskoj strani. Za bazu podataka je korišćena SQL baza MySQL.

3.3 Implementacija regija od interesa

Regije od interesa su uz fiksacije najvažnije za analizu podataka, pa je iz tog razloga nemoguće zamisliti jednu ovakvu platformu bez njih. Implementacija regija je izvršena crtanjem po html stranici u okviru <div> taga. Da bi se ovo omogućilo iskorišćeno je nekoliko stvari:

- kombinacija *Javascript Mouse Event*-ova *mousedown* i *mouseup*, čime se dobila mogućnost da se prevlačenjem po ekranu nacrtaju regije od interesa
- apsolutno pozicioniranje html elemenata uz pomoć *CSS property-a position*
- preklapanje <div> elementa koji sadrži elemente pitanja i <div> elementa koji služi kao *canvas* uz pomoć *CSS property-a z-index*
- korišćenje *viewport* CSS jedinica za širinu i visinu (vh i vw), kao i korišćenje dimenzija ekrana i *browser-a* uz pomoć *Javascript window* objekta

Profesor za vreme definisanja pitanja kreira regije od interesa prevlačenjem miša. Tom prilikom u bazu se smeštaju 4 koordinate, po 2 za gornju levu tačku i donju desnu tačku regije. Ove koordinate su u opsegu od 0 do 1 u zavisnosti od *viewport-a*. Formule za računanje ovih koordinata su sledeće:

$$x = \text{Math.round}\left(\frac{\text{event.clientX} + \text{window.scrollX}}{\text{window.innerWidth} * 10000}\right) * 10000$$

$$y = \text{Math.round}\left(\frac{\text{event.clientY} + \text{window.scrollY}}{\text{window.innerHeight} * 10000}\right) * 10000$$

U toku testiranja 4 koordinate koje su izračunate za vreme definisanja pitanja se koriste prilikom učitavanja svakog pitanja. Ove koordinate se prvo prebacuju u piksele, a zatim u vrednosti u opsegu od 0 do 1, ali ovaj put u zavisnosti od ekrana monitora pošto te vrednosti koriste i uređaji za praćenje pokreta oka. Izračunate vrednosti se čuvaju u bazi zajedno sa vremenom kada je pitanje promenjeno i kasnije se koriste za generisanje izveštaja.

3.4 Implementacija komunikacije sa uređajem za praćenje pokreta oka

Implementacija komunikacije između servera i uređaja za praćenje pokreta oka je ostvarena preko TCP/IP *socket-a*. Ovakav tip komunikacije je zgodan pošto se zasniva na otvorenim standardima TCP/IP protokolu i XML ili JSON

formatu, kao i to što se može koristiti za dobijanje podataka od uređaja u realnom vremenu.

Da bi se postigao ovakav tip komunikacije potrebno je implementirati *ClientSocket* klasu pošto je u ovom slučaju server klijent, a uređaj server. Po pravilu komunikaciju preko *socket-a* započinje klijent, pa je to slučaj i u ovoj platformi. Veza sa uređajem se uspostavlja pre nego što se započne testiranje. Od studenta se traži da preko forme unese ip adresu (ukoliko nije tačna ona koja je automatski popunjena), port i tip uređaja, a zatim se kreira instanca klase *ClientSocket* i poziva njena metoda *connect()*, sa listinga 1. koja startuje dve nove niti. Dve nove niti koje su startovane služe za slanje i primanje poruka ka/od uređaja. Nit zadužena za primanje poruka, sve poruke upisuje u fajl zajedno sa vremenom kad su primljene, a onda se one kasnije parsiraju i koriste za generisanje izveštaja.

```
public boolean connect() {
    try {
        InetAddress addr =
            InetAddress.getByAddress(address);
        Socket sock = new Socket(addr, port);
        BufferedReader in = new BufferedReader(new
            InputStreamReader(sock.getInputStream()));
        PrintWriter out = new
            PrintWriter(newBufferedWriter(new
                OutputStreamWriter(sock.getOutputStream()),
                true));
        filename = UUID.randomUUID() + ".txt";
        BufferedWriter fileWriter = new
            BufferedWriter(new FileWriter(filename));

        SocketData sd = new SocketData();
        data.put(id, sd);
        new ReaderThread(sock, in, fileWriter);
        new WriterThread(sock, out, sd);
    } catch (Exception ex) {
        ex.printStackTrace();
        return false;
    }
    return true;
}
```

Listing 1. Prikaz *connect()* metode *ClientSocket* klase

Uspešan proces testiranja obuhvata slanje četiri poruke sa servera ka uređaju: za uspostavljanje konekcije, za kalibraciju, za prijem podataka sa uređaja i za raskidanje konekcije.

3.5 Generisanje i prikaz izveštaja

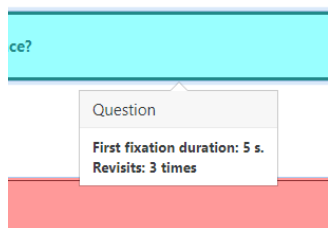
Pre generisanja izveštaja trebalo je doneti odluku koji podaci se očekuju od uređaja. Kako bi se ova odluka donela iskorišćena je dokumentacija *Open Gaze API*-ja [5], *open-source* rešenja za komunikaciju sa uređajem. Sledeći podaci su proglašeni za bitne:

- Counter - brojač pristiglih zapisa sa uređaja. Pomaže da se proveriti da li neki zapis fali
- Timer - vreme koje je prošlo od poslednje inicijalizacije sistema
- Fixation POG - sadrži koordinate fiksacije, vreme početka, trajanje, identifikator i indikator da li je fiksacija validna
- Best POG - sadrži prosečnu vrednost tačaka pogleda levog i desnog oka (ukoliko je vrednost jednog oka nedostupna uzima se vrednost tačke pogleda samo onog oka koje je dostupno) i indikator da li je tačka validna

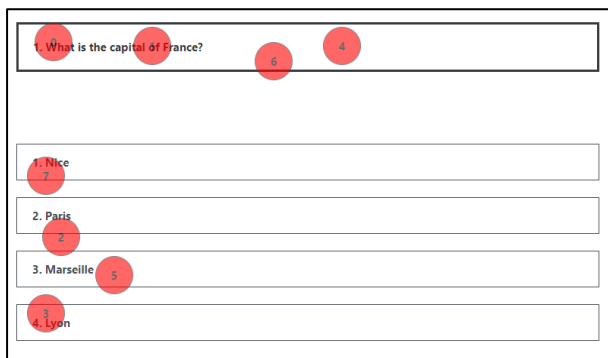
Generisanje izveštaja se vrši automatski. Kada se pokrene generisanje, svi ovi podaci bi trebali da se dobiju parsiranjem fajla koji je napravljen za vreme testiranja. Nakon parsiranja podaci se čuvaju u bazi, zajedno sa vremenom kad su pristigli. Ovo vreme se upoređuje sa vremenom kad je student prelazio sa pitanja na pitanje i na osnovu toga se podaci grupišu po pitanju. Uz podatke koje imamo o regijama, vrše se izračunavanja i na kraju se dobijaju podaci potrebni da se prikažu *first fixation duration*, *revisits*, *fixation sequence* i *heatmap* metrike. Primeri ovih metrika se mogu videti na slikama 5, 6, 7. i 8.



Slika 5 Prikaz regija od interesa



Slika 6. Prikaz *first fixation duration* i *revisits* u okviru regija



Slika 7. Prikaz *fixation sequence*



Slika 8. Prikaz *heatmap*-e

4. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljena tehnologija za praćenje pokreta oka i platforma za testiranje znanja koja koristi ovu tehnologiju. Naglasak platforme je stavljen na kreiranje regija od interesa, komunikaciji između platforme i uređaja za praćenje pokreta oka i generisanju izveštaja uz odgovarajuće metrike. Omogućena je podrška za komunikaciju sa više uređaja istovremeno.

Opisana platforma ima za cilj da poboljša obrazovni sistem, tako što će profesorima olakšati kreiranje testova dajući im podatke o studentima koji ne mogu biti prikupljeni ni na jedan drugi način osim upotrebom tehnologije za praćenje pokreta oka. Ipak, treba biti oprezan sa uvođenjem ovakve tehnologije jer ona zahteva laboratorijske uslove, što podrazumeva konstantno snimanje studenata, a u nekim slučajevima čak i nošenje opreme prilikom testiranja. Sve ovo može da izazove nelagodu kod studenta i time stvori suprotni efekat od željenog. Takođe, pokazalo se da uređaji za praćenje pokreta oka u određenim trenutcima nisu precizni ukoliko student nosi naočare ili sočiva.

Trenutna zastupljenost uređaja, pre svega zbog visoke cene, ograničava upotrebu tehnologije za praćenje pokreta oka. Ipak nije teško zamisliti da će jednog dana ona početi intenzivno da se koristi pogotovo ako se nađe način da se dobiju precizni podaci od običnih kamera koje su ugrađene u prenosne računare i mobilne uređaje ili ako se i u te uređaje počnu ugrađivati infrared kamere.

Dalji razvoj platforme se može kretati u nekoliko pravaca. Prvi je da se omogući *export* podataka za određene ili sve testove u okviru platforme i da se nad njima izvrši još detaljnija analiza upotrebom mašinskog učenja. Drugi je da se napravi platforma slična opisanoj u ovom radu koja će služiti kao alat protiv varanja na online testovima. Takođe, pošto je iskorišćena samo jedna od savremenih tehnologija, može se razmišljati i o proširenju platforme tako da kombinuje tehnologiju za praćenje pokreta oka sa nekim drugim tehnologijama kao što su tehnologije za praćenje izraza lica ili glasa.

5. LITERATURA

- [1] S. Parhizgar, "Testing and Technology: Past, Present and Future", Theory and Practice in Language Studies 2(1), pp. 174, 2012.
- [2] A.T. Duchowski, "Eye tracking methodology: Theory and practice", Springer, 2017.
- [3] J.H: Goldberg. & A.M: Wichansky, "Eye tracking in usability evaluation: A practitioner's guide", In the Mind's Eye, pp. 493-516, 2003.
- [4] Z. Sharafi, T. Shaffer, B. Sharif & Y. G. Guéhéneuc, "Eye-tracking metrics in software engineering", In 2015 Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC) pp. 96-103, IEEE, 2015.
- [5] Open Gaze API. dostupno na: https://www.gazept.com/dl/Gazept_API_v2.0.pdf (pristupljeno u oktobru 2020.)

Kratka biografija:

Ognjen Vlajić rođen je u Bačkoj Topoli 1995. godine. Master rad na fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva - Elektronsko poslovanje odbranio je 2020. godine.