



SOFTVERSKI SISTEM ZA PRAĆENJE I ANALIZU POKRETA OČIJU TOKOM IZRADE ON-SCREEN TESTA

SOFTWARE SYSTEM FOR EYE-TRACKING AND DATA ANALYSIS DURING ON-SCREEN TESTING

Marko Pejić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu predstavljen je softverski sistem za praćenje i analizu pokreta očiju ispitanika tokom izrade on-screen testa. Predloženi sistem sastoji se iz dve komponente: klijentska aplikacija koja komunicira sa uređajem za praćenje pokreta očiju i funkcionalnosti obrade i vizuelizacije prikupljenih podataka. Obrada podataka podrazumeva mapiranje sirovih parova koordinata dobijenih praćenjem pokreta očiju u sekvencu regija od interesa. Predloženi sistem obezbeđuje podršku za tri načina vizuelizacije: putem toplotnih mapa pogleda, putem grafa toka pogleda i putem grafa toka regija od interesa. Istraživanje je evaluirano primenom predloženog sistema u okviru eksperimenta u kom je 51 student rešavao on-screen test opšte kulture.

Ključne reči: praćenje pogleda, on-screen testiranje, analiza i vizuelizacija podataka

Abstract – The paper proposes a software system for eye-tracking and data analysis during on-screen testing. Proposed system consists of two components: client application that communicates with eye-tracking device and functions for processing and visualization of collected data. Data processing involves mapping raw pairs of coordinates obtained by eye-tracking device in a sequence of regions of interest. Proposed system provides support for three types of visualization: via gaze heatmaps, via gaze flow graphs and via flow of regions of interest. The research has been evaluated by applying the proposed system within an experiment in which 51 undergraduate students took a general knowledge test.

Keywords: eye-tracking, on-screen testing, data analysis and visualization

1. UVOD

Primena računara za potrebe testiranja studenata donela je veliki broj prednosti kako predavačima, tako i samim studentima. Neke od tih prednosti su: brže i jednostavnije ocenjivanje, jednostavnije skladištenje testova, izgubila se potreba za štampom velikog broja testova, moguće je automatizovati ocenjivanje, itd. Pored navedenih prednosti, upotreba računara za potrebe testiranja donela je i veliki broj mogućnosti za prikupljanje i analizu različitih tipova podataka, kombinujući računarske komponente

NAPOMENA:

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

i različite senzore. Upotrebom računara moguće je imati uvid u znatno veći broj parametara samog toka rešavanja testova, za razliku od testiranja na papiru, kada je jedini parametar bio rezultat (osvojeni broj bodova). Sada je moguće znati koliko je student provodio vremena na kom pitanju, da li se dvoumio prilikom davanja odgovora (kliknuo više ponuđenih odgovora), da li više vremena provodi gledajući slike koje idu uz pitanje ili ponudene odgovore i slično. Ovaj rad bavi se upravo primenom metode praćenja pogleda za prikupljanje podataka tokom izrade on-screen testa, uz obradu i vizuelizaciju dobijenih podataka.

Osnovna ideja ovog rada jeste prikupljanje podataka o ponašanju studenata prilikom testiranja metodom praćenja pogleda, kao i obrada i vizuelizacija prikupljenih podataka. Motivacija za implementaciju sistema za praćenje i analizu pokreta očiju tokom izrade on-screen testova jeste u mogućnostima koje postojanje ovakvog sistema otvara. Vizuelizacijom i analizom podataka prikupljenih na opisan način moguće je utvrditi koji delovi testa privlače najviše pažnje studentima, da li studenti obrađuju više pažnje na slike ili na tekst, moguće je identifikovati pitanja koja su izazivala najviše nedoumica kod studenata i slično. Prema tome, uz adekvatnu analizu vizuelizacija tokova pogleda ispitanika prilikom rešavanja on-screen testova moguće je i vršiti personalizaciju testova.

Pod personalizacijom testova podrazumeva se prilagođavanje testova studentima, u skladu sa zaključcima donesenim analizom rezultata vizuelizacije podataka. Ovakvom personalizacijom može se znatno poboljšati kvalitet nastave, kao i rezultati koje studenti postižu na testovima, bez snižavanja kriterijuma.

Pored personalizacije, još jedan motiv za razvoj ovakvog sistema jeste obezbeđivanje softverske podrške za prikupljanje podataka praćenjem pokreta očiju, što može biti veoma korisno za istraživanja iz različitih oblasti: neurologija, eksperimentalna psihologija, računarske nauke, itd.

2. PREGLED RELEVANTNE LITERATURE

Upotreba metodologije praćenja pogleda tokom posete veb sajtovima je veoma popularna, pa zbog toga postoji veliki broj radova na tu temu. U radu [1] akcenat je na prikupljanju podataka metodom praćenja pogleda i vizuelizaciji. Rad [1] bavi se i analizom razlika fokusa pažnje različitih polova, prilikom pregleda sadržaja veb stranice. Takođe, postoji i značajan broj radova koji se bave upotrebom metode praćenja pogleda u obrazovne svrhe. Jedan od

takvih radova je [2], čiji cilj je analiza pažnje studenata na slike u okviru *PowerPoint* prezentacije. U radu [2], akcentat je stavljen na vizuelizaciji prikupljenih podataka, da bi se jasno uočili delovi prezentacije na koje studenti obraćaju najviše pažnje, što je pristup sličan onom opisanom u ovom radu.

3. SOFTVERSKI SISTEM ZA PRAĆENJE I ANALIZU POKRETA OČIJU

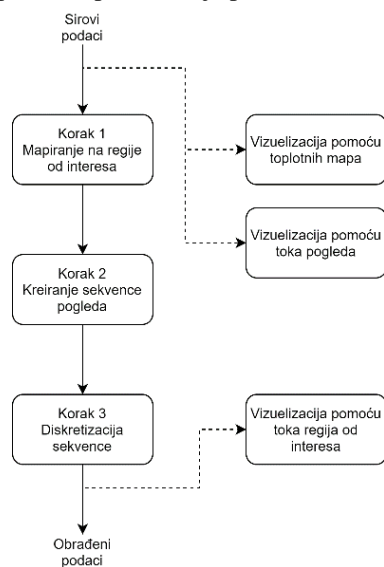
U ovoj glavi detaljnije će biti objašnjena implementacija klijentske aplikacije, procesiranje i vizuelizacija podataka dobijenih praćenjem pokreta očiju.

3.1. Implementacija klijentske aplikacije

Da bi prikupljanje podataka bilo moguće, neophodno je implementirati klijentsku aplikaciju koja će se koristiti za testiranje studenata. Zadatak ove aplikacije je da poseduje adekvatan korisnički interfejs, u okviru kog se prikazuju pitanja i korisniku je omogućen izbor jednog od ponuđenih odgovora, kao i povezivanje sa uređajem za praćenje pogleda i prikupljanje podataka. Korišćen je *Gazepoint GP3* uređaj za praćenje pogleda, koji pokreće server na *localhost*-u. Klijentska aplikacija treba da uspostavi komunikaciju sa *Gazepoint* serverom preko porta 4242, pošalje adekvatne komande u XML (*Extensible Markup Language*) formatu i skladišti podatke koje joj server šalje. Pored podataka dobijenih metodom praćenja pogleda, klijentska aplikacija beleži i odgovore na pitanja, kao i informaciju da li je izabrani odgovor tačan. Klijentska aplikacija implementirana je upotrebom .NET WPF tehnologije i C# programskog jezika.

3.2. Obrada podataka

Podaci dobijeni metodom praćenja pogleda su u formatu X i Y koordinata, što nije dovoljno semantički bogato za realizaciju svih navedenih tipova vizuelizacije. Zbog toga, neophodno je transformisati sirove podatke u odgovarajući oblik, što je zadatak procesiranja. Faza procesiranja realizovana je iz više koraka, od kojih su najznačajniji: mapiranje parova koordinata na regije od interesa, kreiranje sekvence pogleda i smanjivanje uticaja vremenske dimenzije. Slika 1 prikazuje dijagram toka aktivnosti prilikom procesiranja podataka.



Slika 1. Dijagram toka procesiranja podataka

Koracima prikazanim na slici 1 dobijaju se podaci koji omogućuju realizaciju svih potrebnih tipova vizuelizacije, kao i podaci koji su primenjivi za dalja istraživanja koja će se osloniti na ovo istraživanje.

Mapiranje parova koordinata na regije od interesa je prva faza procesiranja. Da bi ovakvo mapiranje bilo realizovano, neophodno je definisati regije od interesa i njihove granice (dve tačke – gornji levi i donji desni ugao) za svako pitanje. Kada postoje jasno definisane granice svih regija od interesa za sva pitanja testa, u 2D prostoru jednostavno se može odrediti kojoj regiji pripada svaka od tačaka. Ovim se sirovim parovima koordinata dobijenim od strane uređaja za praćenje pogleda daje određena semantika, tj. svaka tačka se mapira na tačno jednu regiju od interesa. Za predstavu svake regije od interesa odabran je po jedan karakter, tako da dobijena sekvenca predstavlja niz karaktera, tj. jedan string koji predstavlja način na koji je određeni student posmatrao jedno pitanje. Podaci koji se evidentiraju metodom praćenja pogleda sačinjeni su iz sledećih atributa: vreme (interna meru koju beleži uređaj), X i Y koordinate i validnost podatka. Ovaj skup sirovih podataka proširuje se rezultatima prvih koraka procesiranja, tj. dodaju se atributi: trajanje pogleda (razlika vremena dve susedne tačke) i regija od interesa na koju se date koordinate odnose.

Mapiranjem X i Y koordinata na regije od interesa dobija se sekvenca toka pogleda studenta u okviru jednog pitanja. Međutim, ovakva sekvenca je previše osetljiva na vremensku dimenziju. Pošto uređaj za praćenje pogleda šalje podatke velikom frekvencijom, očigledno je da će se u ovakvom skupu podataka pojavljivati grupe u okviru kojih se mnogo puta ponavlja isti simbol regije od interesa. Na primer, ukoliko je student potrošio dve sekunde na čitanje naslova, u skupu podataka će to biti zapisano kao 120 ponavljanja T simbola regije od interesa. Zbog toga, neophodno je transformisati dobijenu sekvencu regija od interesa u odgovarajući oblik.

Prvi korak u transformaciji sekvenci regija od interesa je smanjivanje dužine originalne sekvence. Ovo je realizovano tako što su svi susedni isti simboli regija predstavljeni pomoću jednog simbola, a sačuvana je i informacija o trajanju pogleda. Ovim se dobija znatno kraća sekvenca, ali vreme i dalje ima prevelik uticaj. Upravo zbog toga, neophodno je pronaći adekvatnu meru između potpunog zanemarivanja vremenske dimenzije i ostavljanja vremena u sirovom obliku.

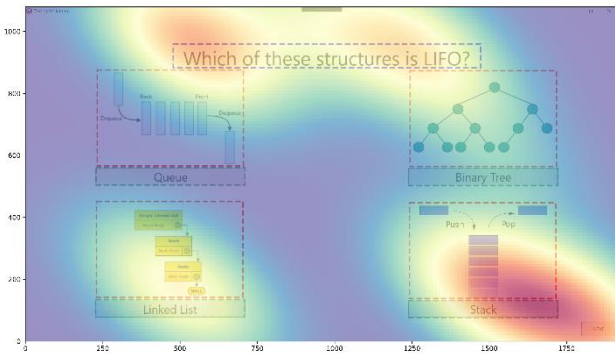
Smanjivanje uticaja vremenske dimenzije realizovano je diskretizacijom. Kontinualna vrednost vremena zadržavanja pogleda unutar neke regije diskretizovana je na dve moguće vrednosti, u zavisnosti od definisanog praga. Prag je određen kao medijan vremena zadržavanja unutar svih regija za sve studente, za određeno pitanje. Finalne sekvence formiraju se na sledeći način: ukoliko je vreme zadržavanja unutar regije od interesa označene karakterom 'X' manje od praga, u sekvencu se dodaje jedan karakter 'X'. U suprotnom, u sekvencu se dodaju dva karaktera 'X'.

3.3. Vizuelizacija

Vizualizacija je od velikog značaja za ovaj rad, jer omogućuje prikaz rezultata koraka obrade podataka, kao i dublju analizu interakcije ispitanika sa pitanjima *on-screen*

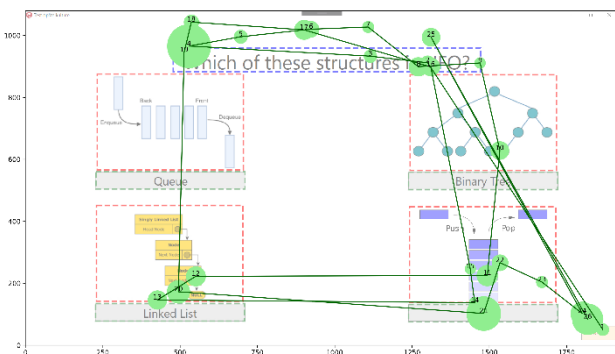
testa. U okviru ovog istraživanja realizovana su tri različita tipa vizuelizacije, koja su detaljnije objašnjena u nastavku.

Prvi način vizuelizacije je pomoću toplotnih mapa. Ovim načinom se korišćenjem sirovih (X, Y) koordinata pogleda iscrtavaju posmatrane regije od interesa. Sa ovakvih grafika moguće je zaključiti na koje delove pitanja je ispitanik obratio najviše pažnje, ali se gubi informacija o toku pogleda. Slika 2 ilustruje ovakav vid vizuelizacije.

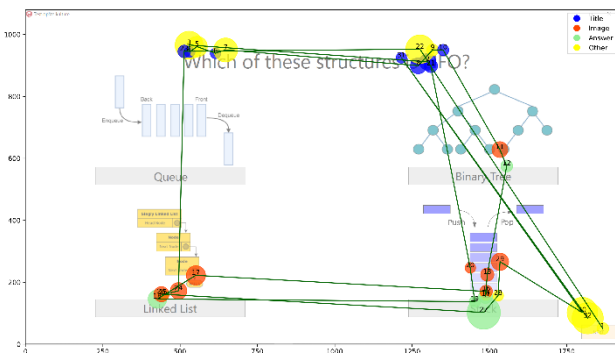


Slika 2. Vizuelizacija putem toplotnih mapa

Preostala dva načina vizuelizacije razvijena su sa ciljem očuvanja toka pogleda u vizuelnom prikazu. Drugi način vizuelizacije takođe koristi sirove (X, Y) koordinate, ali za razliku od toplotnih mapa iscrtava tok pogleda. Funkcija koja realizuje ovaj način vizuelizacije prvo grupiše tačke koje se nalaze u okviru iste delta okoline i potom iscrtava dijagram koji predstavlja tok pogleda između formiranih grupa tačaka. Prečnik čvora na grafu srazmeran je broju pogleda usmerenih u okolinu te tačke, tj. dužini zadržavanja pogleda. Brojevima unutar čvorova definisan je tok pogleda. Slika 3 ilustruje ovakav vid vizuelizacije.



Slika 3. Vizuelizacija putem toka pogleda



Slika 4. Vizuelizacija putem toka regija od interesa

Poslednji, treći način vizuelizacije predstavljen je na slici 4. Ovim načinom ilustruje se tok kojim su posmatrane

regije od interesa u okviru određenog pitanja, kao i trajanje zadržavanja pogleda u odgovarajućim regijama.

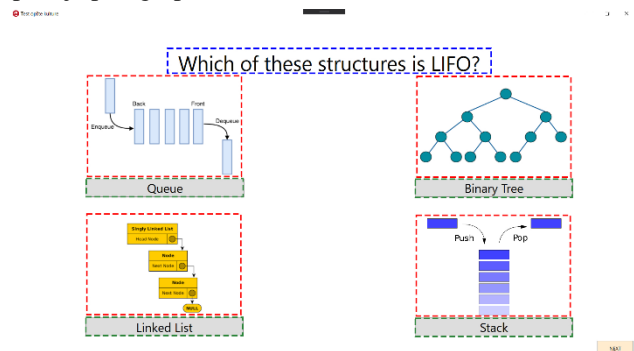
Implementacija svih obrada podataka i načina vizuelizacije realizovana je upotrebom *Python* programskog jezika i biblioteka *numpy* [3], *pandas* [4] i *matplotlib* [5].

4. STUDIJA SLUČAJA

Za potrebe ovog rada sproveden je eksperiment u kom je učestvovao ukupno 51 student. Velik deo ispitanika su studenti viših godina Fakulteta tehničkih nauka, uglavnom sa smerova koji se bave računarstvom. Svi učesnici su rešavali *on-screen* test opšte kulture kreiran za potrebe eksperimenta, koji se sastojao od ukupno 20 pitanja.

Za izvođenje eksperimenta neophodni su računar za kojim student rešava test i uređaj za praćenje pokreta očiju, postavljen ispod monitora, na adekvatnoj udaljenosti od ispitanika.

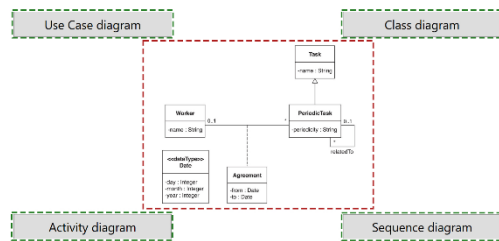
Ako sadržaj pitanja posmatramo sa vizuelne tačke gledišta, postojala su dva različita tipa pitanja. Pitanja prvog tipa uz svaki ponuđeni odgovor imaju i sliku. Prema tome, pitanja ovog tipa sastavljena su iz deset regija od interesa: tekst pitanja, četiri ponuđena odgovora, četiri slike uz ponuđene odgovore i ostalo, tj. deo površine pitanja koji nije neka od prethodno navedenih regija. Slika 5 ilustruje jedno od pitanja prvog tipa.



Slika 5. Primer pitanja prvog tipa

Pitanja drugog tipa imaju četiri ponuđena odgovora i jednu sliku koja detaljnije opisuje tekst pitanja ili je predmet pitanja. Ova pitanja sastavljena su iz sedam regija: tekst pitanja, četiri ponuđena odgovora, slika uz tekst i ostalo. Slika 6 prikazuje jedno od pitanja drugog tipa.

What type of UML diagram does the picture show?



Slika 6. Primer pitanja drugog tipa

Podaci za studente prikupljeni su tako što je uređaj za praćenje pogleda slao informacije tokom trajanja celog testa, a klijentska aplikacija je beležila te podatke u CSV (*Comma Separated Values*) fajl.

Rezultat eksperimenta jeste skup podataka sačinjen iz 51 CSV fajla koji sadrže sirove podatke dobijene od uređaja za praćenje pogleda. Pored toga, beleže se i odgovori ispitanika, i da li su ti odgovori bili tačni. Tabela 1 prikazuje deo sirovih podataka, zajedno sa izračunatim trajanjem i regijom od interesa, dobijenih procesiranjem prikupljenih podataka.

Tabela 1. Skup podataka sa dodatim regijama od interesa

Vreme	X	Y	Trajanje	Regija
7047.959	0.74574	0.2346	0.0166	Q
7047.975	0.74662	0.22547	0.01612	Q
7047.992	0.746	0.21951	0.0166	Q
7048.007	0.7408	0.1817	0.01562	T
7048.024	0.73939	0.17776	0.01661	T
7048.041	0.73447	0.17774	0.01709	T
7048.057	0.73098	0.18239	0.01562	T
7048.074	0.72809	0.18769	0.01709	O
7048.09	0.72524	0.18254	0.0166	T

U trećoj glavi detaljnije je objašnjen postupak transformacije podataka iz formata prikazanog u tabeli 1 u sekvencu regija od interesa. Tabela 2 predstavlja izgled nekoliko sekvenci kreiranih na već opisan način.

Tabela 2. Obradene sekvence regija od interesa

Sekvenca regija od interesa
OPTOOTTOOTTOOTTOTTOOTTOARROSSOPPOSOB OQQBOORROSSQOOSSOSSOOSOOSBQTTOO
OSQTTOTOTOOTOOTOOTTOTOTQQBSSDDOSSORR CCODDSQTTOTTPARRORRCODDOSSOOSQTOOTOSOOSSO
OTTOTTOTTOOTTOQOPPOAARCORROCCOROSSQO TOOTTOOTTQBSSDSSBOQTTOTQBSSOODDOODOO
OOSOOPPOOTOQQBSSDOOPRCRROCCOCCOOSO
PPTTOTOOTOQQBOBOOSSDDOCCORAOAAAPPOQQB BOSSODDOSOROOAAOSSDOOSOP

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisan je softverski sistem za praćenje i analizu pokreta očiju ispitanika tokom izrade *on-screen* testa. Sproveden je eksperiment sa preko 50 ispitanika koji su rešavali test opšte kulture, dok je uređaj za praćenje pokreta očiju beležio aktivnosti njihovih zenica.

Predloženi sistem sadrži funkcionalnosti prikazivanja *on-screen* testa i skladištenja podataka dobijenih praćenjem pokreta očiju, kao i funkcionalnosti obrade i vizuelizacije tih podataka.

Aplikacija za izvođenje *on-screen* testa i skladištenje podataka implementirana je upotrebom C# programskog jezika i .NET WPF tehnologije. Praćenje pokreta očiju ispitanika realizovano je upotrebom *Gazepoint GP3* uređaja. Obrada i vizuelizacija prikupljenih podataka realizovana je upotrebom *Python* programskog jezika.

Problem koji može uticati na validnost rezultata i podataka je osetljivost uređaja na pomeranje ispitanika. Zbog osetljivosti uređaja, poželjno je da ispitanik sedi mirno i pravi što manje pokreta glavom, a zbog same tematike testa neophodno je da se ponaša što prirodnije.

Ovaj rad može poslužiti kao osnova za dalja istraživanja, koja bi mogla biti usmerena ka primeni implementiranog softverskog sistema u različitim istraživanjima. Značaj ovog rada jeste i veliki broj učesnika u eksperimentu, što omogućava formiranje većeg, javno dostupnog skupa podataka.

Jedan od pravaca budućeg istraživanja može biti proširivanje predloženog sistema sa funkcionalnostima koje bi nad podacima primenjivale tehnike mašinskog učenja. Istraživanja koja se bave primenom mašinskog učenja nad podacima dobijenim praćenjem pokreta očiju mogu da koriste ceo proces obrade podataka opisan u ovom radu za formiranje sekvenci toka pogleda. Sekvence formirane na opisan način mogu se koristiti za dalju obradu tehnikama istraživanja podataka (eng. *data mining*). Neke od mogućnosti za primenu tehnika mašinskog učenja nad ovim podacima su identifikacija šablona toka pogleda, predikcija nivoa znanja ispitanika i slično.

Za ovakva istraživanja, od značaja mogu biti i implementirane vizuelizacije, kako bi se detaljnije analizirali rezultati algoritama mašinskog učenja.

6. LITERATURA

- [1] M. Schiessl, S. Duda, A. Tholke and R. Fisher, Eye tracking and its applications in usability and media research, Berlin, 2003.
- [2] D. A. Slykhuis, E. N. Wiebe and A. A. Len, Eye-Tracking Students Attention to PowerPoint Photographs in a Science Education Setting, 2005.
- [3] "The fundamental package for scientific computing with Python" NumPy. [Online]. Available: <https://numpy.org/>. [Accessed: Jun-2020].
- [4] "Python Data Analysis Library" Pandas. Available: <https://pandas.pydata.org/>. [Accessed: Jun-2020].
- [5] "Visualization with Python" Matplotlib. [Online]. Available: <https://matplotlib.org/>. [Accessed: Jun-2020].

Kratka biografija:



Marko Pejić rođen je u Novom Sadu 1996. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Računarstva i automatike – Savremene obrazovne tehnologije i standardi odbranio je 2020.god. kontakt: markopejic@uns.ac.rs