

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 1830

**ANALIZA DINAMIČKIH  
OKULOMETRIJSKIH ZNAČAJKI**

Filipa Bobinac

Zagreb, lipanj 2019.

Zagreb, 7. ožujka 2019.

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 1830

Pristupnik: **Filipa Bobinac (0036486130)**  
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija  
Profil: Elektroničko i računalno inženjerstvo

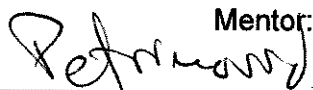
Zadatak: **Analiza dinamičkih okulometrijskih značajki**

### Opis zadatka:

U okviru diplomskog rada, potrebno je obraditi i analizirati okulometrijske podatke snimljene nad kandidatima za kontrolore zračnog prometa i studentima. Cilj analize je određivanje okulometrijskih značajki koje se odnose na vršne brzine sakada, latencije, područja fiksacije, itd., a povezane su s uspješnošću simultanog praćenja više pokretnih objekata. Kroz prostorno-vremensku analizu trajektorija praćenja objekata, grupirati trajektorije u klase koje predstavljaju različite strategije koje pojedinci koriste pri simultanom praćenju više pokretnih objekata. Dobivene klase strategija praćenja statističkom analizom usporediti i povezati s uspješnošću na zadacima praćenja objekata. Podatke refleksnog praćenja jedne točke na ekranu potrebno je uvrstiti u analize u svojstvu normalizacijskog faktora koji opisuje pojedinačne ispitanike, ili kao dodatne značajke.

Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2019.

Rok za predaju rada: 28. lipnja 2019.

Mentor:  


Prof. dr. sc. Davor Petrinović

Djelovođa:  


Doc. dr. sc. Tomislav Petković

Predsjednik odbora za  
diplomski rad profila:



Prof. dr. sc. Mladen Vučić

*Hvala prof. dr. sc. Krešimiru Čosiću, prof. dr. sc. Davoru Petrinoviću, doc. dr. sc.  
Siniši Popoviću, mag. ing. Igoru Mijiću i mag. ing. Mirku Kokotu!*

## Sadržaj

Uvod.....	2
1. Značaj i pregled okulometrijskih značajki.....	4
1.1. Neurološka pozadina okulometrijskih značajki .....	6
1.2. Dinamička analiza okulometrijskih značajki .....	13
2. Dinamička analiza okulometrijskih značajki pri selekciji kontrolora zračnog prometa.....	15
2.1. Struktura paradigmi za selekciju .....	16
2.2. Refleksno praćenje točke .....	16
2.3. Vizualno kognitivni zadaci .....	18
3. Mjerne metode i laboratorijska oprema.....	20
3.1. Sustav za praćenje pokreta očiju .....	20
3.2. Programska potpora i metode za analizu podataka .....	28
4. Rezultati mjerenja .....	32
5. Rasprava .....	41
Zaključak .....	42
Literatura .....	43
Sažetak .....	46
Summary .....	47
Privitak .....	48
Popis slika i tablica .....	69

# Uvod

Dosadašnja istraživanja pokazala su da analiza promjena dinamike okulomotornog sustava, promjera zjenice te treptanja očiju može dati uvid u umor oka [1], doživljeni stres [20] i općenito način na koji određena osoba percipira okolinu, tj. njene procese vizualne pažnje [17]. Rezultati navedenih analiza mogu uvelike doprinijeti prilikom selekcije u visokostresnim profesijama gdje se očekuje određeni stupanj obavljanja kompleksnih kognitivnih radnji i psihološke otpornosti na stres, poput kontrolora zračnog prometa, civilnih i vojnih pilota itd. Osim toga, važnost analize pokreta očiju općenito je prepoznata u medicinsko-psihološkim primjenama. Primjer jedne takve primjene može se pronaći u [6], gdje se praćenjem različitih trajektorija pokretnih objekata procjenjuje sposobnost pokreta glave i vrata nakon trzajnih ozljeda vratne kralježnice. Od ispitanika se očekivalo da pokušavaju pratiti zadane trajektorije uz što manju pogrešku te se analizirala efikasnost praćenja.

Analiza dinamičkog praćenja objekata može ukazati na različite strategije pokreta očiju čijim se primjenama može povećati efikasnost zadatka koji se obavlja. Laboratorijsko proučavanje procesa distribucije pažnje s paradigmom istodobnog praćenja više objekata može ukazati na veću ili manju sposobnost pravilnog usmjeravanja pažnje tijekom procesiranja okoline u stvarnom svijetu u određenim situacijama ili zanimanjima. U eksperimentu ispitivanja strategije čitanja pokazano je da čitači koji ostvaruju duže sakade (pokreti očiju između dvije fiksne točke) i povremeno se vraćaju na prethodne rečenice i riječi pokazuju osjetljivost na strukturu sadržaja teksta, tj. osvrću se na glavne točke teksta [14]. Sposobnost praćenja više pokretnih objekata odjednom, danas se još uvijek istražuje zbog kompleksnosti samog vida. Jedna od pretpostavki je da um ima limitirajući broj tzv. vizualnih indeksa [22],[23] koji predstavljaju lokacije meta koje se dinamički ažuriraju prilikom kretanja istih. Žarište pažnje potom može pristupiti informacijama pojedinačne mete koristeći određeni vizualni indeks. Višestruko žarište pažnje može istovremeno biti alocirano većem broju lokacija prema referenci [3]. Pažnja može biti podijeljena nezavisno ili kroz grupiranje meta u cjelinu [30]. Strategije dobivene uzorcima pokreta očiju mogu biti dosljednije jednoj od teorija. Strategija izmjene pogleda s mete na metu više prati teoriju vizualnog indeksa, dok je strategija centralnog fokusiranja, gdje osoba stvara grupacije meta, bliža više-žarišnoj teoriji opažanja [8]. Prethodna istraživanja praćenja više-pokretnih objekata pokazala su da je praćenje uspješnije kada sudionici koriste strategiju mentalnog grupiranja više objekata u jedan kojeg potom prate kao jedinstveni objekt [30], dok je u [9]

pokazano da se često kombiniraju obje strategije te da uključivanje gledanja u centar virtualnog objekta sačinjenog od manjih objekata olakšava sposobnost praćenja.

U svrhu ispitivanja otpornosti na stres (engl. *stress resilience*) u kontekstu selekcije kontrolora zračnog prometa, Laboratorij za interaktivne simulacijske sustave FER-a (Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu) razvio je sustav za multimodalno generiranje stimulacija i kompleksnu analizu multimodalnih psihofizioloških značajki gdje se aktivnosti poput kardiovaskularne, elektrodermalne, elektromiografske, facijalne te govorne ekspresije koriste kao osnovni indikatori za procjenu i predikciju otpornosti na stres. Uz navedeno, kao dodatni pokazatelji analiziraju se razne okulometrijske značajke, što uključuje i ispitivanje strategija pri praćenju više-pokretnih objekata. Sustav ima mogućnost generiranja različitih vizualnih, zvučnih i taktilnih stimulacija te raznih kognitivnih zadataka radi mjerenja i izračunavanja svih prethodno navedenih multimodalnih značajki od interesa za procjenu i predikciju otpornosti na stres.

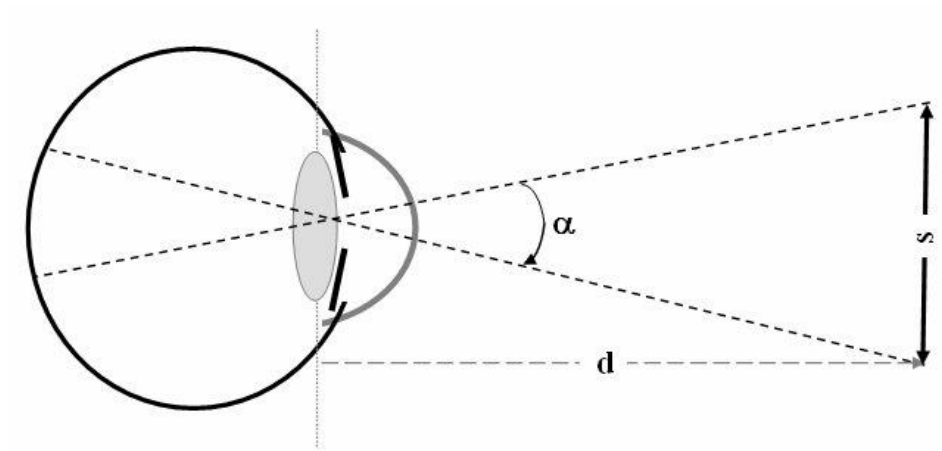
U okviru opisanih istraživanja razvijene su različite simulacijske paradigme, no u ovom radu, naglasak je bio na analizi dinamičkih okulometrijskih značajki nad potpuno anonimiziranim i depersonaliziranim skupom snimljenih okulometrijskih podataka kontrolora zračnog prometa i studenata elektrotehnike i računarstva te na analizi strategija praćenja više-pokretnih objekata uz različit broj distraktora, kao i utjecaja primijenjenih strategija na uspješnost obavljanja ovih zadataka. Rad započinje uvodom u neurološku pozadinu dinamičkih okulometrijskih značajki, nakon čega slijedi redom: opis samih značajki i njihove važnosti, kasnije primijenjeno na kontrolore zračnog prometa, opis simulacijske paradigme, mjernih metoda i laboratorijske opreme te konačno prikaz i rasprava rezultata provedenih analiza.

# 1. Značaj i pregled okulometrijskih značajki

Postoji pet različitih tipova pokreta očiju, koji uključuju sakadične, glatke, vergentne, vestibulo-okularne i optokinetičke pokrete [12],[13]. Svaki od navedenih pokreta aktivira se u različitim okolnostima kako bi se oči zadržale na meti od interesa. **Sakadični pokreti**, simultani pokreti oba oka u istom smjeru koje kontrolira frontalni režanj mozga, naglo orijentiraju oči na metu koja se nalazi na periferiji vidnog polja. Brzina sakade je određena udaljenošću mete od središta vidnog polja, tj. nije pod dobrovoljnom kontrolom. Međutim, njezina usporenost može biti izazvana umorom, lijekovima ili patološkim stanjima [12]. **Vestibulo-okularni refleks** je refleks oka koji stabilizira slike na mrežnici dok se glava pomiče, stvarajući očni pokret u smjeru obrnutom od pokreta glave, tako čuvajući sliku u centru vidnog polja. Primjerice, kada se glava okreće u desno, oči se kreću u lijevo, i obrnuto. Oči također mogu pratiti pokretni objekt za što su zaslužni **glatki pokreti**. Ovo praćenje je manje točno od vestibulo-okularnog refleksa, jer je potrebno da mozak obradi ulazne informacije, te izdaje povratne informacije. Praćenje objekta konstantnom brzinom je relativno lagano, iako će oči često činiti sakade da bi sustigli pokret. Glatki pokreti praćenja u odraslih mogu dostići i  $100^\circ/s$ . Na *Slika 1.1* prikazan je vidni kut  $\alpha$  koji se može izračunati pomoću sljedeće jednadžbe

$$\alpha = 2\arctan\left(\frac{s}{2d}\right) \quad (1)$$

pri čemu  $d$  označava udaljenost objekta, a  $s$  njegovu visinu. **Optokinetički refleks** je kombinacija sakada i glatkih pokreta praćenja. **Vergentni pokreti** su istovremeni pokreti oba oka u suprotnim smjerovima (npr. oba oka prema nosu), čime se omogućava binokularni vid. Pri tome oči rotiraju oko vertikalne osi kako bi slika promatranog objekta pala na središte mrežnice oba oka. Kod gledanja bliskih objekata oči rotiraju jedno prema drugome, i ta se spregnuta kretnja oba oka naziva konvergencija. Kod gledanja udaljenih objekata oči rotiraju jedno od drugoga i taj se pokret naziva divergencija. Održavanje mete u središtu vidnog polja omogućeno je aktivnim sustavom fiksacije, koji aktivno sprječava pokrete očiju kada se pregledava meta interesa [12]. U nastavku poglavlja najprije je dan kratki uvod u neurološku pozadinu okulometrijskih značajki, nakon čega slijedi opis i važnost samih značajki.



**Slika 1.1** Vidni kut

(preuzeto s:

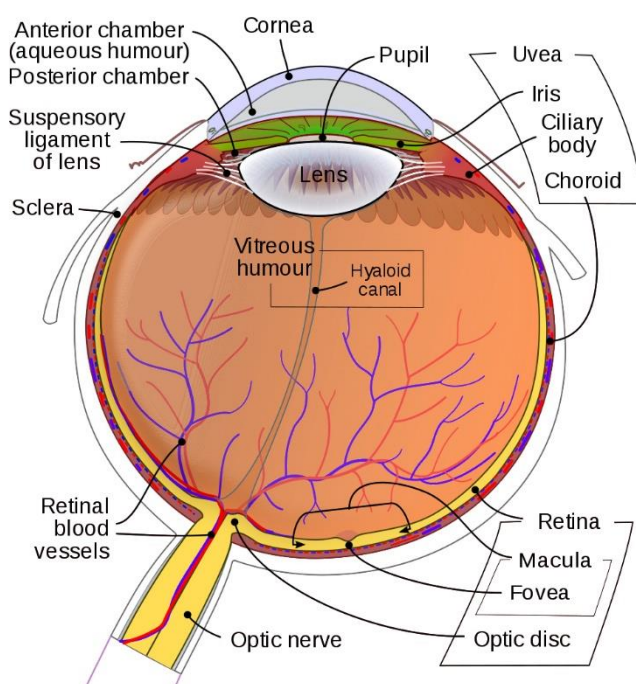
[https://www.researchgate.net/publication/33692093\\_Eyes\\_in\\_attentive\\_interfaces\\_experiences\\_from\\_creatin\\_g\\_iDict\\_a\\_gaze-aware\\_reading\\_aid/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/33692093_Eyes_in_attentive_interfaces_experiences_from_creatin_g_iDict_a_gaze-aware_reading_aid/figures?lo=1), svibanj 2019.)



## 1.1. Neurološka pozadina okulometrijskih značajki

Za prikupljanje vizualnih informacija čovjek koristi vrlo osjetljiv okulomotorni sustav koji je dio središnjeg živčanog sustava budući da se mrežnica i vidni živac formiraju kao izdanci razvijajućeg mozga. Okulomotorni sustav sudjeluje u održavanju vizualne stabilnosti i kontroli pokreta očiju što je važno za dobivanje stabilne, precizne i jasne slike [13]. Okulomotorni sustav čine vizualni te vestibularni sustav koji međusobnom interakcijom stvaraju kretanje oka i glave. Osjetila sluha ili dodira također djeluju na kretanje oka. Žuta pjega (foveja ili makula) je mala udubina na mrežnici oka koja čini područje najveće oštine vida, a pokriva samo otprilike dva stupnja vidnog kuta kod ljudi. Da bi se dobila precizna i jasna slika, oči moraju biti usmjerene upravo na predmet interesa i održavati se u stabilnom stanju.

Vizualni sustav sastoji se od optičkih komponenti u prednjem segmentu, fotoreceptora u stražnjem segmentu i prijenosnih puteva i viših procesnih centara u središnjem živčanom sustavu (*Slika 1.2*).



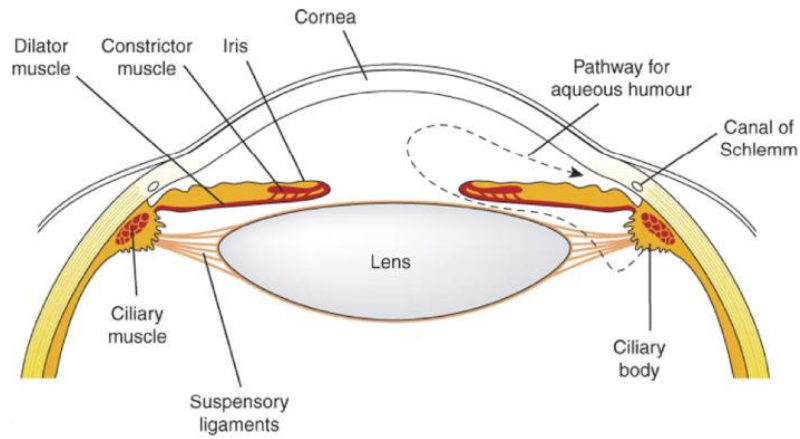
**Slika 1.2** Ljudsko oko (preuzeto s:

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Schematic\\_diagram\\_of\\_the\\_human\\_eye\\_en.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_en.svg), svibanj 2019.)

Optičke komponente uključuju rožnicu, očnu vodicu i leću. Svjetlost prolazi kroz rožnicu, očnu vodicu, potom leću te staklastu površinu i precizno je usredotočena na mrežnicu. Stražnji segment uključuje staklasto tijelo i mrežnicu, gdje se odvija proces pretvaranja svjetlosti u živčane signale. U središnjem živčanom sustavu neuronske komponente uključuju optičke živce, optičke puteve, optička zračenja, vizualni korteks i razne jezgre unutar mozga. Nakon početne vizualne obrade u mrežnici, neuronski signali zatim prolaze kroz optičke živce i puteve do središnjih struktura gdje se odvija detaljnija obrada i gdje se informacije iz drugih osjetila integriraju s onima iz vizualnih putova. Konačno, okulomotorni sustav je potom odgovoran za održavanje položaja očiju i izvođenje pokreta očiju.

## ***MIŠIĆI***

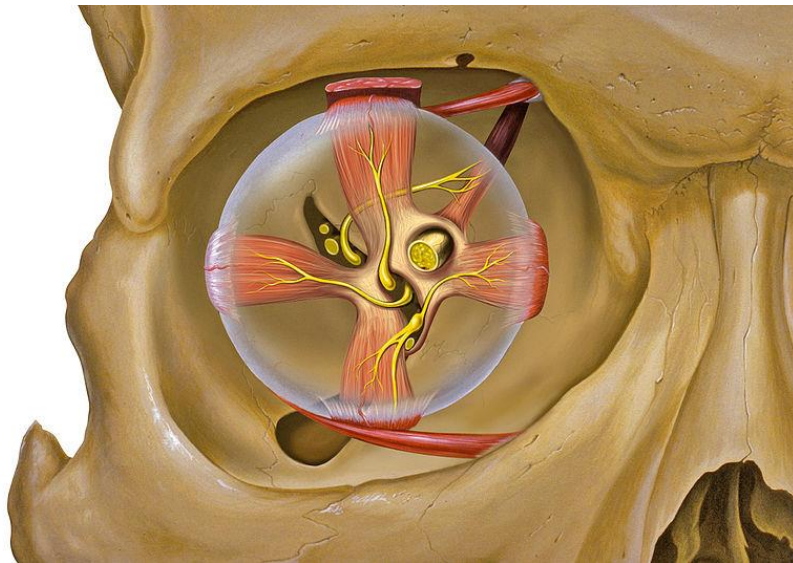
Za pokret oka koristi se **šest poprečno-prugastih mišića**, takozvani mišići pokretači očne jabučice (*Slika 1.5*), dok se za finu kontrolu količine svjetlosti koja ulazi u oko, koriste **tri unutrašnja glatka mišića**. Na *Slika 1.3* prikazani su unutrašnji cilijarni mišić koji kontrolira oblik i fokusira leću, sfinkter i dilatator za kontrolu promjera zjenice, a na *Slika 1.4* vanjski gornji i donji kosi, gornji i donji ravni te lateralni i medijalni ravni mišići. Mišić podizač gornje vjeđe također pripada skupini poprečno-prugastih mišića te mu je uloga podizanje gornje vjeđe i istodobno uvlačenje kože u brazdi gornje vjeđe. Tarzalni mišići su iz skupine vanjskih glatkih mišića oka, a njegova zadaća jest održavanje normalne širine vjeđnog rasporka i pomaganje pri djelovanju mišića podizača gornjeg kapka. Za zatvaranje oka zaslužan je kružni očni mišić.



**Slika 1.3** Unutrašnji glatki mišići (preuzeto s:

<https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=jesus24968&logNo=221218754525&proxyReferer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>,

svibanj 2019.)



**Slika 1.4** Vanjski gornji i donji kosi, gornji i donji ravni te lateralni i medijalni ravni mišići – pogled sprijeda

(preuzeto s: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1498027>,

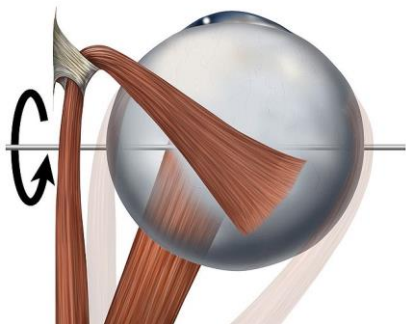
svibanj 2019.)



Lateralni ravni mišić



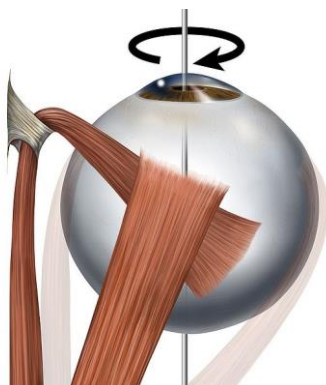
Medijalni ravni mišić



Donji ravni mišić



Gornji ravni mišić



Gornji kosi mišić



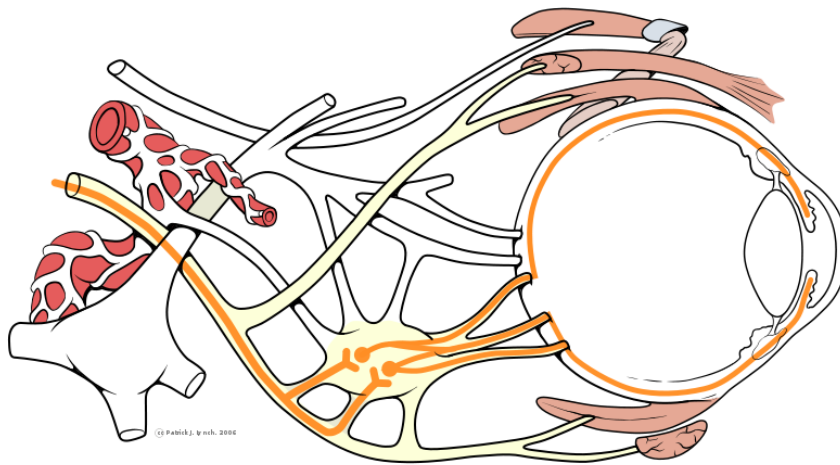
Donji kosi mišić

**Slika 1.5** Mišići pokretači očne jabučice

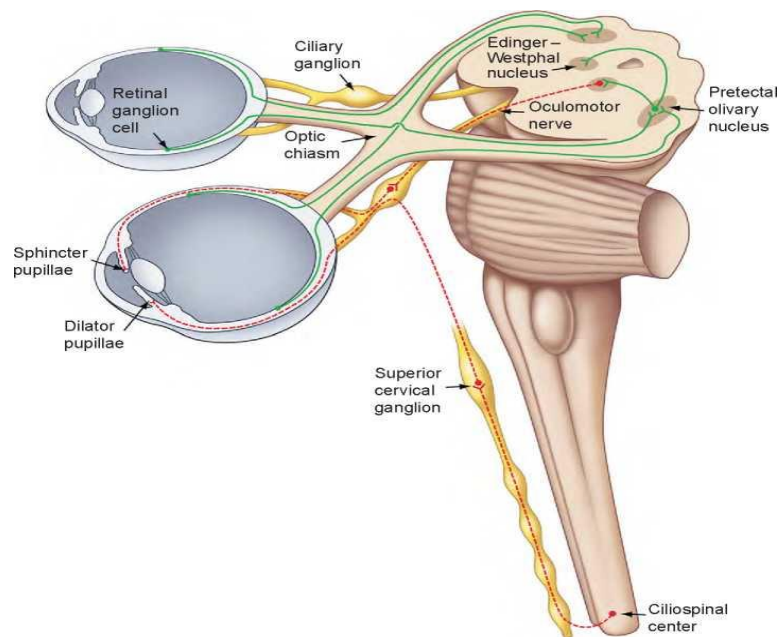
(preuzeto s: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Kretanje\\_o%C4%8Diju](https://hr.wikipedia.org/wiki/Kretanje_o%C4%8Diju), svibanj 2019.)

## ŽIVCI

Okulomotorni sustav koristi **četiri** od ukupno dvanaest **kranijalnih živaca**. Optički živac (kranijalni živac II) koristi se za prijenos vizualnih informacija i povezan je s optičkim diskom u oku gdje se nalaze fotoreceptori. Tri kranijalna živca koriste se posebno za kretanje oka: okulomotorni živac (kranijalni živac III) koji kontrolira većinu mišića pokretača očne jabučice i unutarnjih očnih mišića (*Slika 1.6*), trohlearni živac (kranijalni živac IV) koji kontrolira gornji kosi mišić te živac odmicač (kranijalni živac VI) koji kontrolira lateralni ravni mišić. Nadalje, simpatički i parasimpatički autonomni živčani sustavi utječu na promjer zjenice pomoću inervacije mišića sfinktera i dilatatora (*Slika 1.7*). Oštećenja živaca III, IV ili VI mogu utjecati na kretanje očne jabučice. Utjecaj je moguć na oba ili jedno oko te se najčešće javlja dvostruko viđenje (diplopija) jer kretanje očiju više nije sinkronizirano. Živci III, IV i VI se testiraju promatranjem kako oko slijedi objekt u različitim pravcima.

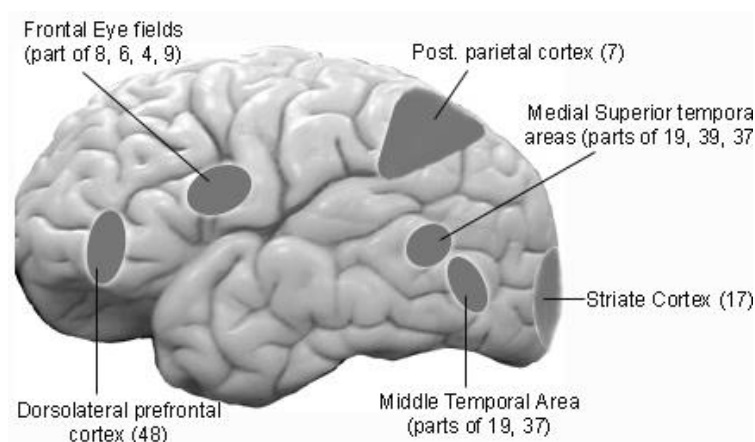


**Slika 1.6** Okulomotorni živac - kranijalni živac III (preuzeto s: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cranial\\_nerve\\_III\\_visceral.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cranial_nerve_III_visceral.svg), svibanj 2019.)



**Slika 1.7** Ilustracija simpatičkih (crvenih) i parasimpatičkih (zelenih) putova koji kontroliraju promjer zjenice (McDougal & Gamlin, 2011).

Širok raspon područja unutar mozga odgovoran je za upravljanje okulomotornim sustavom i za obradu vizualnih informacija (*Slika 1.8*). Većina vizualnih informacija obrađena je u vizualnom korteksu (Brodmannovo područje 17, BA17), dok su najistaknutija područja uključena u pokrete očiju polja frontalnog oka (BA8), zadužena za kontrolu očiju te lateralno interparijetalno područje za vizualnu koordinaciju i pozornost.



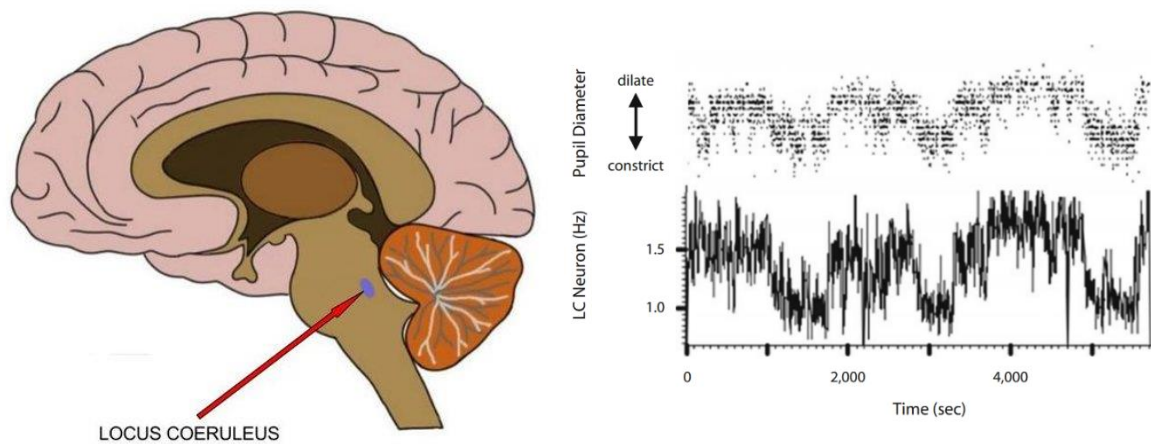
**Slika 1.8** Dijelovi mozga uključeni u okulomotorni sustav i vizualnu percepciju (preuzeto s:

[http://www.opt.indiana.edu/v665/CD/CD\\_Version/CH14/CH14.HTM](http://www.opt.indiana.edu/v665/CD/CD_Version/CH14/CH14.HTM),

svibanj 2019.)



Osim pokreta očiju, važno je promatrati i promjenu promjera zjenice i broj treptaja u minuti. Broj treptaja oka u minuti u uvjetima mirovanja povezan je s učenjem i barem djelomično reguliran razinama dopamina u mozgu [24]. Promjer zjenice kontroliran je neuronskim signalima iz jezgre locus coeruleus, koja je uključena u fiziološke reakcije na stres i paniku (Slika 1.9). Testovi zjenice i refleksi kapka omogućuju procjenu senzornih i motoričkih putova.



**Slika 1.9** Locus coeruleus i utjecaj ove jezgre na promjer zjenica

(Gilzenrat, Nieuwenhuis, Jepma, & Cohen, 2010)

## 1.2. Dinamička analiza okulometrijskih značajki

Iz očnog gibanja može se izračunati niz okulometrijskih značajki poput **vršne brzine (SPV, engl. saccadic peak velocity)** i **ubrzanja sakade (SPA, engl. saccadic peak acceleration)**, **odstupanje sakade (STD, engl. saccadic trajectory deviation)**, **trajanje fiksacije (FD, engl. fixation duration)**, **područje fiksacije (FA, engl. fixation area)**, **latencija sakade** itd. U *Tablica 1* nalazi se opis, a na *Slika 1.10* grafički prikaz navedenih značajki.

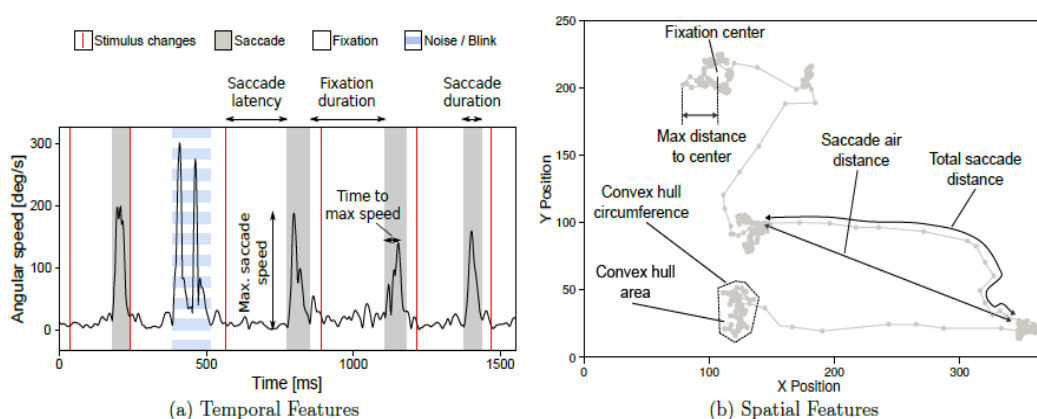


Figure 6: Visualization of features on (a) temporal and (b) spatial plots of a the raw gaze tracking data. In Subfigure (a), the moment when stimulus changes position is depicted with a vertical red line. The period depicted with horizontal stripes is physiologically impossible for a human eye to perform and is caused by a blink. We remove such artefacts with methods described in Section 5.

**Slika 1.10** Grafički prikaz okulometrijskih značajki preuzetih iz (Sluganović, Roeschlin, Rasmussen, i Martinović, 2016)

Iz spomenutih izračunatih značajki potom je moguće ispitati razna mentalna stanja čovjeka. Pokazalo se da se okulometrijska obilježja kao što su sakadična vršna brzina i ubrzanje mijenjaju s različitim razinama stresa i umora. Vršna brzina sakade bila je predložena kao mjera uzbuđenja nakon što je nekoliko istraživačkih radova povezalo više brzine s većim uzbuđenjem [28],[29]. Sukladno tome, vršna brzina sakade može se primijeniti u mjerenju abnormalnog odziva na prijetnju što se pokazalo kao zajednička osobina pacijenata s posttraumatskim stresnim poremećajem [15]. Isto tako, relevantnost sakada u procjeni obrade pozornosti povezane s anksioznošću pokazana je u literaturi [4], u kojoj su nisko anksiozni sudionici pokazali veće sakadne latencije kao odgovor na pozitivne stimulanse (sretna lica) nego prijeteće stimulanse (ljuta lica), dok visoko-osjetljivi sudionici nisu pokazali razliku između sakadnih latencija kao odgovor na pozitivne naspram prijetećih podražaja. Obično su vidljive promjene u okulometrijskim značajkama nakon produljenog



izlaganja stresu, npr. tijekom smjene kontrole zračnog prometa gdje su prisutne visoke razine stresa i umora.

**Tablica 1** Okulometrijske značajke

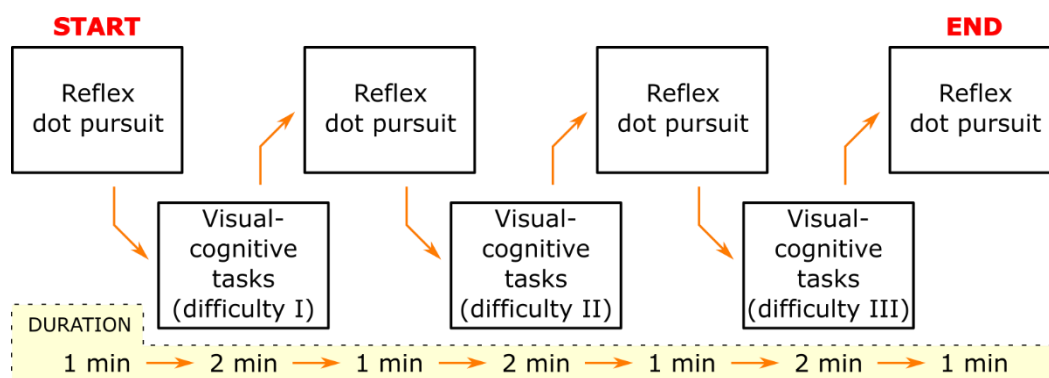
<p><b>SPV</b></p> <p>vršna brzina sakade (engl. <i>saccadic peak velocity</i>)</p>	<p>Maksimalna brzina izračunata kao udaljenost između dvaju naknadnih očitavanja pomaka sakade pomnoženog s brzinom prikupljanja podataka. Radi zamora okulomotornog sustava, najčešće se smanjuje. Poželjno je da je ova značajka što veća.</p>
<p><b>SPA</b></p> <p>vršno ubrzanje sakade (engl. <i>saccadic peak acceleration</i>)</p>	<p>Maksimalno ubrzanje izračunato kao razlika naknadnih sakadnih brzina pomnoženih s brzinom prikupljanja podataka. Radi zamora okulomotornog sustava, najčešće se smanjuje. Poželjno je da je ova značajka što veća.</p>
<p><b>STD</b></p> <p>odstupanje sakade (engl. <i>saccadic trajectory deviation</i>)</p>	<p>Mjerena dužina trajektorije podijeljena euklidskom udaljenosti između središta fiksacija. Radi zamora okulomotornog sustava, najčešće odstupanje od idealne trajektorije raste. Poželjno je da je ova značajka što manja.</p>
<p><b>FA</b></p> <p>područje fiksacije (engl. <i>fixation area</i>)</p>	<p>Područje ograničeno konveksnim trupom svih očitavanja pogleda unutar promatranog perimetra točke. Radi zamora okulomotornog sustava, očekivana je povećana površina fiksacije. Poželjno je da je ova značajka što manja.</p>
<p><b>FD</b></p> <p>trajanje fiksacije (engl. <i>fixation duration</i>)</p>	<p>Trajanje naknadnih očitavanja pogleda unutar promatranog perimetra točke. Radi zamora okulomotornog sustava, očekivana je manja responzivnost te porast trajanja fiksacije. Poželjno je da je ova značajka što manja.</p>

## 2. Dinamička analiza okulometrijskih značajki pri selekciji kontrolora zračnog prometa

Potencijalni rizici gubitka ljudskih života, kao i općenito veliko radno opterećenje zbog vremenskog pritiska, potencijalnog otkazivanja rada opreme i slično, doprinose visokostresnom okruženju u radu kontrolora zračnog prometa što može uzrokovati dugotrajne mentalne probleme kod osoba manje otpornih na stres. Dugotrajna izloženost takvom okruženju može uzrokovati fatalne greške zbog gubitka svijesti o situaciji, neadekvatno odabranih, i obučeni pojedina. Biološki i genetski faktori, dob, osobina ličnosti, način života, radno iskustvo te mentalno zdravlje doprinose složenoj etiologiji zdravstvenih problema vezanih uz stres [7]. Izloženost visokim razinama stresa narušava kvalitetu obavljanja zadataka koji zahtijevaju složene kognitivne sposobnosti, fleksibilno razmišljanje [27] i preciznost [18], ali može poboljšati performanse jednostavnijih zadataka [2]. Ispitivanje otpornosti na stres bi, dakle, trebalo biti jedan od važnijih kriterija prilikom selekcije [26],[31]. Spomenuti sustav za multimodalno generiranje stimulacija i analize multimodalnih psihofizioloških značajki, razvijen u Laboratoriju za interaktivne simulacijske sustave na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, omogućuje cjelovitije ispitivanje otpornosti na stres različitim indikatorima periferne fiziološke aktivnosti, dok je ovaj rad bio fokusiran na segment koji se odnosio na analizu dinamičkih okulometrijskih značajki i ispitivanje strategija prilikom praćenja više-pokretnih objekata. Hrvatska kontrola zračne plovidbe odabrala je 40 sudionika za sudjelovanje u eksperimentu prema stupnju obrazovanja i dobi, kognitivnoj, perceptivnoj i fizičkoj sposobnosti, osobinama ličnosti i slično. Kontrolnu grupu činilo je 40 studenata s pete godine Fakulteta elektrotehnike i računarstva. U nastavku je najprije opisana razvijena stimulacijska paradigma, nakon čega slijede rezultati mjerenja. Prvi dio paradigme bio je usmjeren na mjerenje okulometrijskih značajki izračunatih iz dinamike uzoraka pogleda, tj. sakada i fiksacija, kao odgovor na relativno generičke, zahtjevne i stresne vizualne zadatke kratkog trajanja, dok je drugi dio, osim što je bio značajan za prvi, bio usmjeren na ispitivanje strategija prilikom praćenja više-pokretnih objekata (engl. *multiple object tracking*).

## 2.1. Struktura paradigmi za selekciju

Stimulacijska paradigma za selekciju kontrolora zračnog prometa sastojala se od dva tipa zadatka naizmjeničnog slijeda: **refleksno praćenje točke** (engl. *Reflex Dot Pursuit*) i **vizualno kognitivnih zadataka** (engl. *Visual-Cognitive Tasks*) vezanih uz praćenje višepokretnih objekata (*Slika 2.1*). Refleksno praćenje točke, u trajanju od jedne minute za svaki od ukupno četiri segmenta, poslužio je za procjenu općenitih okulometrijskih značajki spomenutih u prvom poglavlju. Ovaj je zadatak bio motiviran prethodnim istraživačkim radovima koji su procjenjivali slučajne sakadične pokrete očiju [1],[25]. Tri segmenta vizualno kognitivnih zadataka trajala su po dvije minute pri čemu je svaki segment bio različite težine, od najlakšeg do najtežeg. Stimulacijska paradigma ukupno je trajala deset minuta.

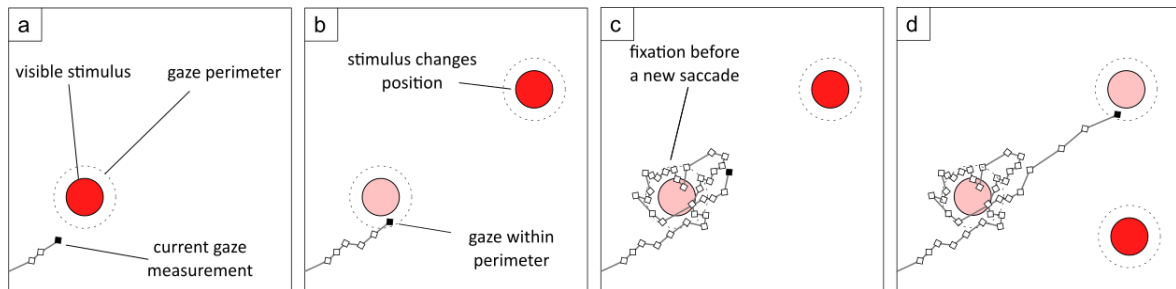


**Slika 2.1** Prikaz vremenskog rasporeda trajanja segmenata  
(Ćosić, Popović, Šarlija, Mijić, Kokot & Kesedžić, 2019)

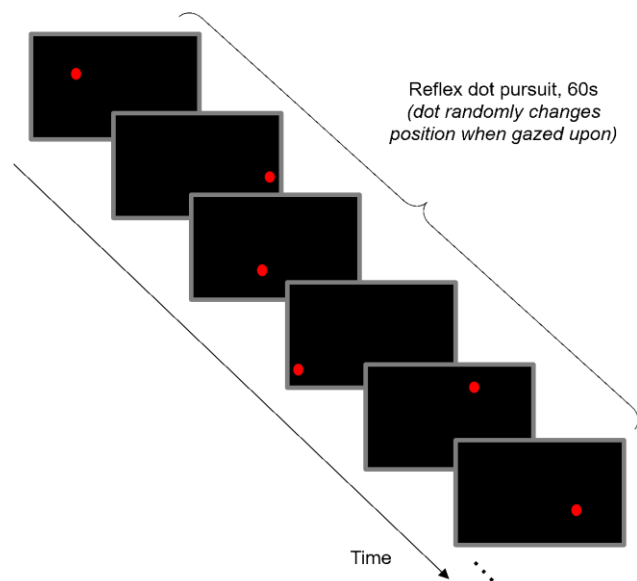
## 2.2. Refleksno praćenje točke

Prilikom refleksnog praćenja točke, ispitanicima je rečeno da prate crvenu točku koja se pojavljuje na ekranu. Kada sustav za praćenje pogleda registrira ispitanikov pogled, nova točka se pojavi na drugom mjestu ekrana, dok stara nestaje. Vizualizacija segmenta refleksnog praćenja točke prikazana je na *Slika 2.2.*, a na *Slika 2.3* detaljni prikaz sadržaja tog segmenta. U bilo kojem trenutku na zaslonu se prikazuje samo jedna crvena točka, a prethodna mjesta prikazana su na slici radi lakšeg razumijevanja. Nakon što se pojavi nova točka na zaslonu (*Slika 2.2a*), kandidat ju refleksno poprati. Nakon što je pogled kandidata

unutar nevidljivog perimetra (*Slika 2.2b*), crvena točka nestaje i pojavljuje se nova. Prije nego što kandidat refleksno pogleda novu točku, pojavljuje se fiksacija u trajanju od 80-250 ms (*Slika 2.2c*). Nakon fiksacije, korisnik gleda novu točku i proces se ponavlja (*Slika 2.2d*).



**Slika 2.2** Vizualizacija segmenta refleksnog praćenja točke  
(Ćosić, Popović, Šarlija, Mijić, Kokot & Kesedžić, 2019)



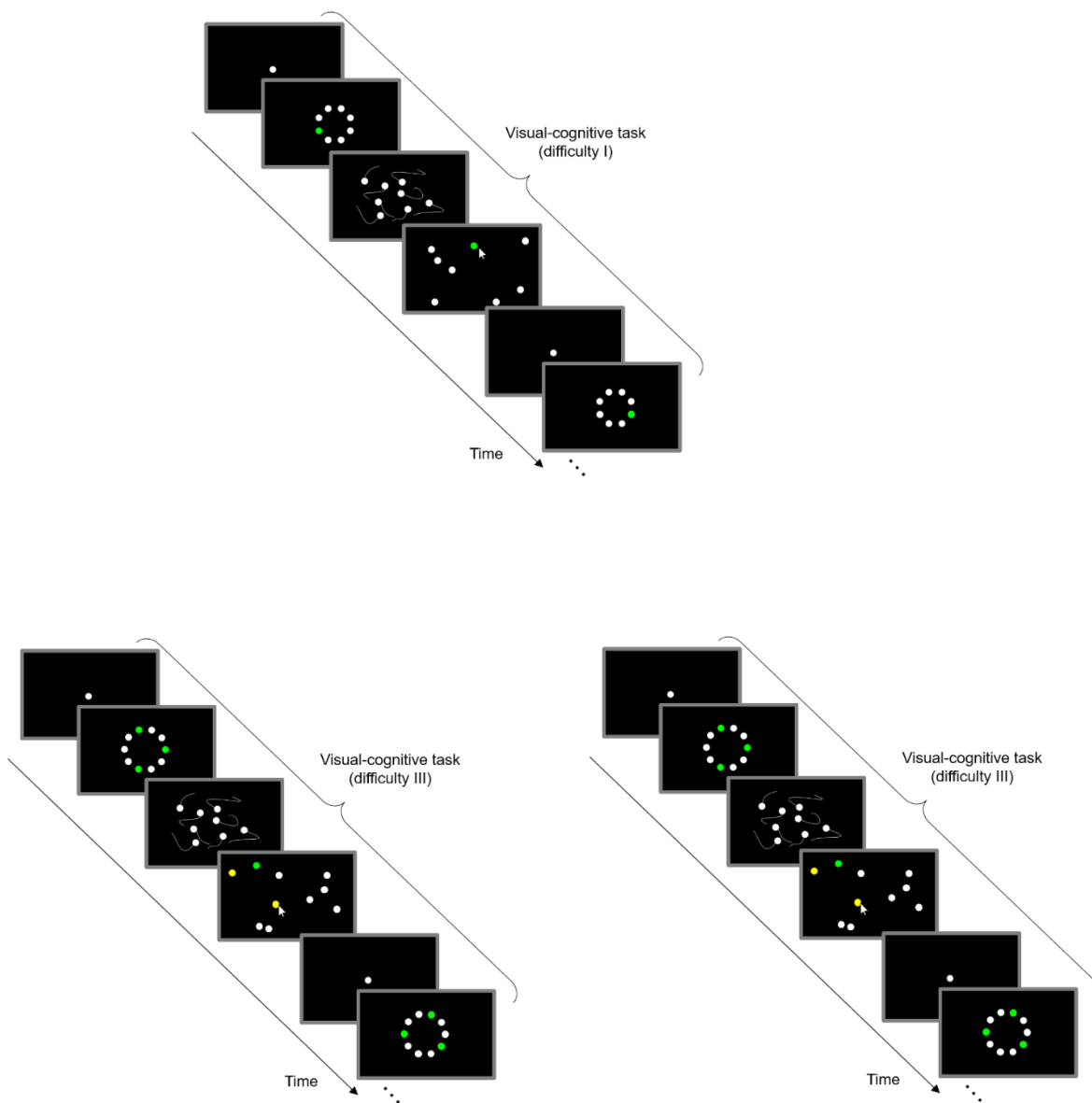
**Slika 2.3** Detaljni prikaz sadržaja segmenta refleksnog  
praćenja točke  
(Ćosić, Popović, Šarlija, Mijić, Kokot & Kesedžić, 2019)

## 2.3. Vizualno kognitivni zadaci

Vizualno-kognitivni zadaci (VCT) sastojali su se od praćenja 1 ili 3 točke od njih ukupno 8 ili 10. U prvom i najlakšem segmentu pratila se jedna od ukupno osam točaka, u drugom tri od ukupno osam točaka te u zadnjem, najtežem segmentu, pratile su se tri od ukupno deset točaka. Svaki segment sastojao se od ukupno osam zadataka. Zadatak započinje tako da se najprije pokaže točka na sredini ekrana na koju se kandidat treba fokusirati dvije sekunde, nakon čega se pojavljuju sve točke (8 ili 10) raspoređene oko sredine ekrana što traje dodatne tri sekunde. U to vrijeme, kandidatu je zelenom bojom sugerirano koje točke treba pratiti, dok su preostale točke bijele boje. Kada to vrijeme istekne, zelene točke također postaju bijele te se sve točke počinju kaotično kretati u narednih pet sekundi. Nakon pet sekundi kretanja, scena se zaustavlja te ispitanik ima na raspolaganju dodatnih pet sekundi za odabir točaka koje je trebao pratiti. Odabir točaka bio je omogućen pritiskom miša na željene točke, a kandidat je imao mogućnost neograničenog odgovora s napomenom da krivi odgovori utječu na rezultat. Na *Slika 2.4* prikazan je detaljan prikaz sadržaja segmenata vizualno kognitivnih zadataka. Budući da su segmenti paradigme naizmjenični, kod segmenta refleksnog praćenja točaka korištena je crvena boja za točke, a kod vizualno kognitivnih zadataka korištene su bijela i zelena boja kako bi kandidat lakše razlikovao segmente paradigme.

U nastavku je dan ukupan pregled paradigme po segmentima [5]:

- 4 segmenta refleksnog praćenja točke u trajanju od 1 minutu
  - $4 \text{ [seg]} \times 1 \text{ [min]} = 4 \text{ [min]}$
- 3 segmenta vizualnih kognitivnih zadataka:
  - Vizualni kognitivni zadatak:
    - $2 \text{ [s]} + 3 \text{ [s]} + 5 \text{ [s]} + 5 \text{ [s]} = 15 \text{ [s]}$
  - $3 \text{ [seg]} \times 8 \text{ [zad]} \times 15 \text{ [s]} = 6 \text{ [min]}$
- UKUPNO: **10 [min]**



**Slika 2.4** Detaljni prikaz sadržaja segmenata vizualno kognitivnih zadataka  
(Ćosić, Popović, Šarlija, Mijić, Kokot & Kesedžić, 2019)

Stimulacijska paradigma prikazivala se na 24-inčnom ekranu rezolucije 1920 x 1200, od kojeg je kandidat bio udaljen 65 cm. Veličina točaka iznosila je 75 px.

### 3. Mjerne metode i laboratorijska oprema

U svrhu praćenja dinamike okulomotornog sustava, koristio se neinvazivan uređaj za praćenje pokreta očiju **Gazepoint GP3 HD** (Slika 3.1). Stimulacijska paradigma razvijena je pomoću Qt softverskog okvira (engl. *framework*), višeplatformskog, objektno orijentiranog softverskog okvira za izradu grafičkih korisničkih sučelja, no budući da je rad bio fokusiran samo na analizu i obradu snimljenih podataka, razvoj aplikacije nije opisan. Analiza i obrada podataka provodila se u Matlab 2018b programskom okruženju.

#### 3.1. Sustav za praćenje pokreta očiju

Gazepoint GP3 HD je uređaj za praćenje pokreta očiju koji koristi dubinsku kameru za kompenzaciju pokreta glave te odsjaj infracrvene svjetlosti na zjenici oka. Pogodan je za istraživačke akademske radove i razvojne inženjere zbog *open-source* API protokola što nudi mogućnost samostalnog razvoja aplikacije kodirane neovisno o jeziku.



Slika 3.1 Gazepoint GP3 HD (preuzeto s: <https://www.gazept.com/>, svibanj 2019.)

Preciznost vizualnog kuta je između 0.5 i 1.0 stupnjeva, frekvencija uzorkovanja iznosi 60 Hz ili 150 Hz, ima 5 ili 9 točaka kalibracije, a pomicanje glave je omogućeno 35 cm u horizontalnom smjeru, 22 cm u vertikalnom te  $\pm 15$  cm raspon dubinskog pomicanja glave. Zbog malih dimenzija (320 x 45 x 47 mm) i male težine (155g) lako je prenosiv, a kompatibilan je sa svim 24-inch ekranima i manjim.

Zahtjevi sustava:

- Intel Core i7 ili brži
- 8 GB RAM-a
- Windows 7, 8.1 ili 10 (Mac i Linux trenutno nisu podržani)
- USB3.0 port

### ***OPEN GAZE API***

Glavna prednost ovog programskog sučelja je da ne zahtijeva DLL datoteke, biblioteke, određeni programski jezik ili komponente specifične za platformu/operacijski sustav. Programsko sučelje koristi standardni TCP / IP za komunikaciju između klijenta (aplikacije) i poslužitelja (izvor podataka za praćenje oka). Format podataka koristi proširivi označni jezik (XML) za formatiranje podataka koji se prenose između klijenta i poslužitelja. Budući da su i TCP / IP i XML otvoreni standardi, mogu se lako implementirati u bilo kojem jeziku ili operacijskom sustavu. Komunikacijska sesija klijent-server obično započinje s klijentom koji inicira vezu prema serveru, a zatim odlučuje koje podatke želi da mu server šalje. Nadalje, naređuje serveru da počne s prijenosom podataka, a potom ih prima u XML formatu [19].

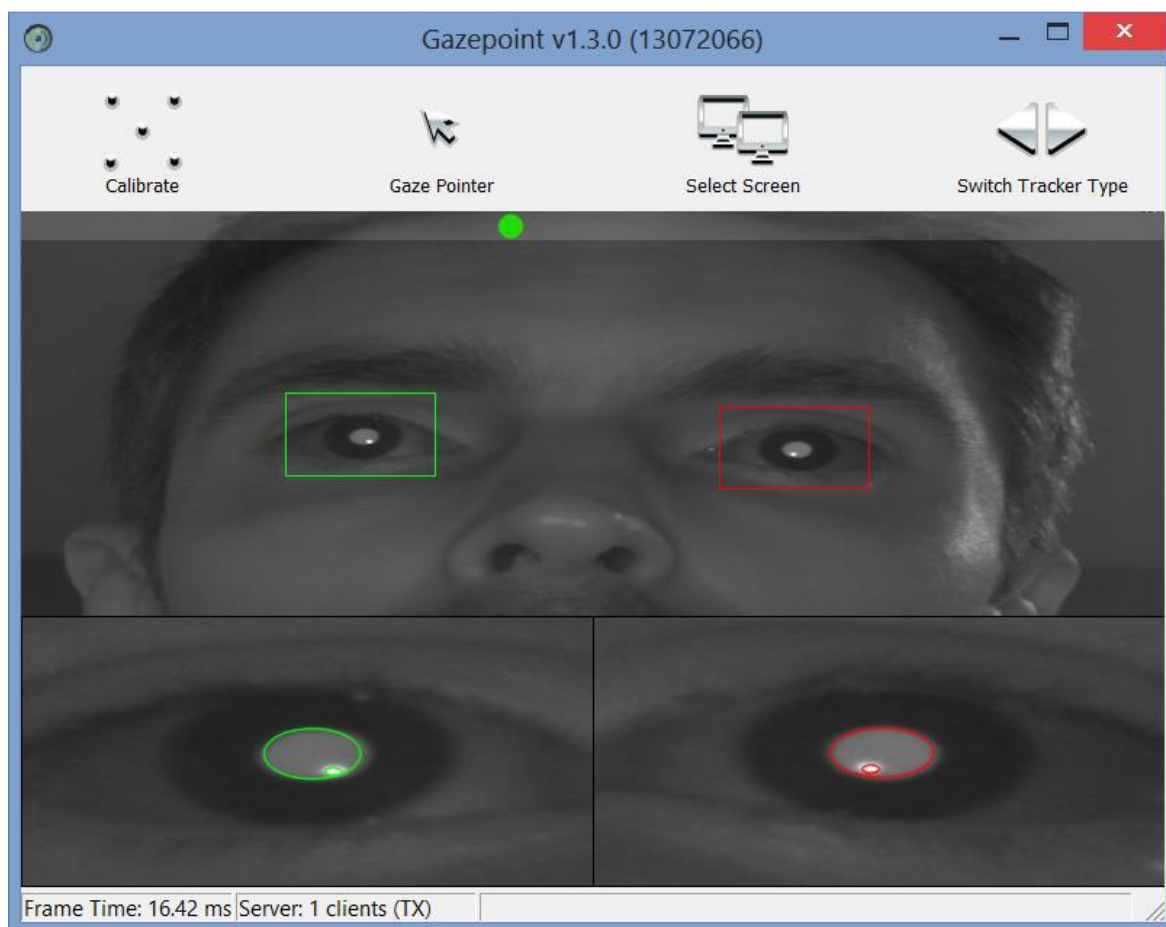
Postoje dvije vrste softvera: *Gazepoint Control* i *Gazepoint Analysis*.

### ***GAZEPOINT CONTROL***

*Gazepoint Control* (Slika 3.2) je softver za prikupljanje podataka o praćenju pokreta oka. Postoje brojni demo primjeri i izvorni kodovi za lakši početak korištenja *Open gaze API*-ja. *GPClient* klasa je klasa koja pojednostavljuje korištenje *API*-ja, a koriste ju svi softveri koji



komuniciraju s *Gazepoint Control* softverom kroz *API*. *Apiclient* program pokazuje primjer jednostavnije komunikacije i daje uvid u sam izgled naredbi [11].



**Slika 3.2** Gazepoint Control softver (preuzeto iz 43[11])

### ***GAZEPOINT ANALYSIS***

Ukoliko nema potrebe za razvijanjem vlastitog softvera za analizu podataka, može se koristiti njihov *Gazepoint Analysis*. Postoje dvije vrste softvera: standardna verzija koja omogućava osnovno snimanje zaslona s prikazom pogleda te je uključena u kupnju GP3 uređaja te profesionalna verzija koja omogućava tekstualne, slikovne i video reprodukcije, dinamičku web analizu, dinamička područja interesa (AOI) sa statistikom i slično. Profesionalna verzija dostupna je kao 30-dnevna probna verzija s bilo kojom kupnjom GP3, a može se kupiti zasebno [10].

U ovom radu nije korištena komercijalna verzija softvera. Laboratorij za interaktivne simulacijske sustave na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu razvio je svoju C++ aplikaciju putem spomenutog Qt okvira i korištenjem *open-source api*-ja.

Podaci o pokretima očiju su se snimali frekvencijom od 150 Hz, a potom spremali u dvije CSV datoteke: *EVENT* i *LOG*. U *EVENT* datoteci spremale su se točke fiksacije segmenata refleksnog praćenja, a od vizualno kognitivnih zadataka u toj datoteci zabilježen je samo prvi pogled, dok se preostale točke pogleda nalaze u *LOG* datoteci kao i sve ostale točke između točaka fiksacije kod refleksnog praćenja. Trajektorije stimulacijske paradigme snimane su frekvencijom od 60 Hz. U *Tablica 2a* prikazan je dio snimljenih podataka segmenta refleksnog praćenja *EVENT* datoteke. Kandidati su obično uspijevali popratiti oko 200-tinjak točaka što je vidljivo u drugom stupcu. Treći stupac sadrži ID broj fiksacije pomoću kojeg je moguće pronaći preostale točke između fiksacija u *LOG* datoteci, četvrti stupac je vrijeme pogleda i preostala dva stupca su koordinate pogleda. U *Tablica 2b* prikazan je dio podataka segmenta vizualno kognitivnih zadataka *EVENT* datoteke. Početak svakog zadatka prepoznatljiv je po *DYN\_START*, a kraj po *DYN\_END*. Između tog, zapisan je podatak o prvom pogledu na sredinu ekrana (početne 2 sekunde fokusiranja). Budući da se radi o pogledu na sredinu ekrana, logične su koordinate u zadnja dva stupca. Koordinate su skalirane od 0 do 1.

**Tablica 2** *EVENT* datoteka

a) Dio podataka segmenta refleksnog praćenja

DOT_GAZED	200	38509	261.507	0.200137	0.763211
DOT_GAZED	201	38550	261.781	0.799817	0.797829
DOT_GAZED	202	38551	261.789	0.789891	0.778598
DOT_GAZED	203	38604	262.144	0.814893	0.195407
DOT_GAZED	204	38638	262.371	0.701314	0.206332
DOT_GAZED	205	38682	262.666	0.563683	0.592789
DOT_GAZED	206	38719	262.913	0.375525	0.259064
DOT_GAZED	207	38811	263.53	0.227715	0.79359
DOT_GAZED	208	38845	263.758	0.524081	0.600545

b) Dio podataka segmenta vizualno kognitivnih zadataka

DYN_START	1.1	0	0	0	0
DOT_GAZED	0	38853	263.811	0.5	0.5
DYN_END	1.1	1	0	0	0
DYN_START	1.2	0	0	0	0
DOT_GAZED	0	41107	279.03	0.5	0.5
DYN_END	1.2	1	0	0	0
DYN_START	1.3	0	0	0	0
DOT_GAZED	0	43344	294.135	0.5	0.5
DYN_END	1.3	1	0	0	0

U *Tablica 3* prikazani su podaci koji se nalaze u *LOG* datoteci. Svaka točka pogleda sadrži 21 značajku, što je u *Tablica 3* rascjepkano u tri dijela. U nastavku slijede objašnjenja svake od značajki.

**Tablica 3 LOG datoteka**

CNT	TIME	FPOGX	FPOGY	FPOGS	FPOGD	FPOGID
29924	203.827	0.47534	0.40104	203.231	0.59627	646
29925	203.833	0.47468	0.40097	203.231	0.60254	646
29926	203.841	0.47406	0.40139	203.231	0.60974	646
29927	203.847	0.47341	0.40245	203.231	0.61597	646
29928	203.854	0.47297	0.40267	203.231	0.62279	646
29929	203.861	0.47255	0.40302	203.231	0.62979	646
29930	203.867	0.47221	0.40362	203.231	0.63612	646
29931	203.874	0.47152	0.40464	203.231	0.64322	646

FPOGV	BPOGX	BPOGY	BPOGV	LPCX	LPCY	LPD
1	0.44914	0.41788	1	0.27392	0.78682	291.388
1	0.44994	0.39992	1	0.27399	0.78639	289.662
1	0.45043	0.40599	1	0.274	0.78627	291.337
1	0.45126	0.42752	1	0.27393	0.78566	29.083
1	0.45458	0.39278	1	0.27401	0.78595	288.756
1	0.45513	0.39592	1	0.274	0.78604	29.006
1	0.4571	0.40075	1	0.27414	0.78664	289.823
1	0.44976	0.41019	1	0.27417	0.7865	290.064

LPS	LPV	RPCX	RPCY	RPD	RPS	RPV
103.768	1	0.5312	0.76103	31.911	103.768	1
103.768	1	0.53124	0.7607	321.255	103.768	1
102.982	1	0.53123	0.7606	318.213	102.982	1
102.196	1	0.5313	0.76016	318.447	102.196	1
101.409	1	0.53128	0.76056	318.386	101.409	1
100.623	1	0.53126	0.76061	31.917	101.409	1
101.409	1	0.53147	0.76159	318.284	102.196	1
102.196	1	0.53157	0.76151	319.696	102.982	1

**CNT:** brojač uvećan za 1 za svaki podatkovni zapis koji šalje poslužitelj. Koristan za utvrđivanje gubitka paketa.

**TIME:** vrijeme proteklo u sekundama od posljednje inicijalizacije ili kalibracije sustava. Vremenska oznaka se bilježi na kraju prijenosa slike s kamere na računalo. Korisno za sinkronizaciju i utvrđivanje obrađuje li poslužiteljsko računalo slike pri punoj brzini snimanja. Pri snimanju frekvencijom od 150 Hz, vrijednost TIME treba se povećavati za 1/150 sekundi.

**FPOG varijable:** daju informaciju o kandidatovom pogledu fiksacije, određeno unutarnjim fiksacijskim filtrom.

**FPOGX, FPOGY:** X i Y koordinate fiksacije dobivene kao frakcija veličine ekrana.

**FPOGS:** vrijeme početka fiksacije u sekundama od inicijalizacije ili kalibracije sustava.

**FPOGD:** trajanje fiksacije u sekundama.

**FPOGID:** ID broj fiksacije.

**FPOGV:** zastavica koja poprima vrijednost 1 ukoliko su podaci o fiksaciji važeći, 0 inače.

**BPOG varijable:** prosjek pogleda lijevog i desnog oka ako su oba dostupna, a ako je samo jedno dostupno, onda se tu nalaze vrijednosti važećeg oka.

**BPOGX, BPOGY:** X i Y koordinate pogleda oka dobivene kao frakcija veličine ekrana.

**BPOGV:** zastavica koja poprima vrijednost 1 ukoliko su BPOG podaci važeći, 0 inače.

**LPCX, LPCY:** X i Y koordinate zjenice lijevog oka u slici kamere, kao frakcija veličine slike kamere.

**RPCX, RPCY:** X i Y koordinate zjenice desnog oka u slici kamere, kao frakcija veličine slike kamere.

**LPD/RPD:** promjer zjenice lijevog/desnog oka u pikselima.

**LPS/RPS:** faktor skaliranja zjenice lijevog/desnog oka. Vrijednost je jednaka 1 za kalibraciju, manja od 1 kada je osoba bliža uređaju za praćenje pokreta oka i veća od 1 kada je dalje od uređaja.

**LPV/RPV:** zastavica koja poprima vrijednost 1 ukoliko su podaci o promjeru zjenice lijevog/desnog oka važeći, 0 inače.

U *Tablica 4* nalazi se dio podataka o snimljenim trajektorijama. Početak i kraj zadatka su označeni s DYN\_START i DYN\_END nakon čega slijed ispisa koordinata pozicija (zadnja dva stupca) svih 8 ili 10 točaka. U trećem stupcu se nalazi proteklo vrijeme u milisekundama, a četvrti stupac upućuje na relevantnost točke. Jedinicom su označene točke koje je potrebno pratiti, dok preostale točke u tom stupcu poprimaju vrijednost 0.

**Tablica 4** Snimljene trajektorije

DYN_START	1.1	0	0	0	0
DOT	0	16	0	0.583019	0.50952
DOT	1	16	0	0.561236	0.596411
DOT	2	16	0	0.502336	0.634906
DOT	3	16	0	0.438336	0.59188
DOT	4	16	0	0.412604	0.499278
DOT	5	16	1	0.438089	0.402716
DOT	6	16	0	0.501719	0.363208
DOT	7	16	0	0.557738	0.402341
			.		
			.		
			.		
DOT	0	4992	0	0.362084	0.496585
DOT	1	4992	0	0.74164	0.256339
DOT	2	4992	0	0.933976	0.477879
DOT	3	4992	0	0.276006	0.636317
DOT	4	4992	0	0.638758	0.67464
DOT	5	4992	1	0.881997	0.160777
DOT	6	4992	0	0.778685	0.397504
DOT	7	4992	0	0.135569	0.721279
DYN_END	1.1	0	0	0	0

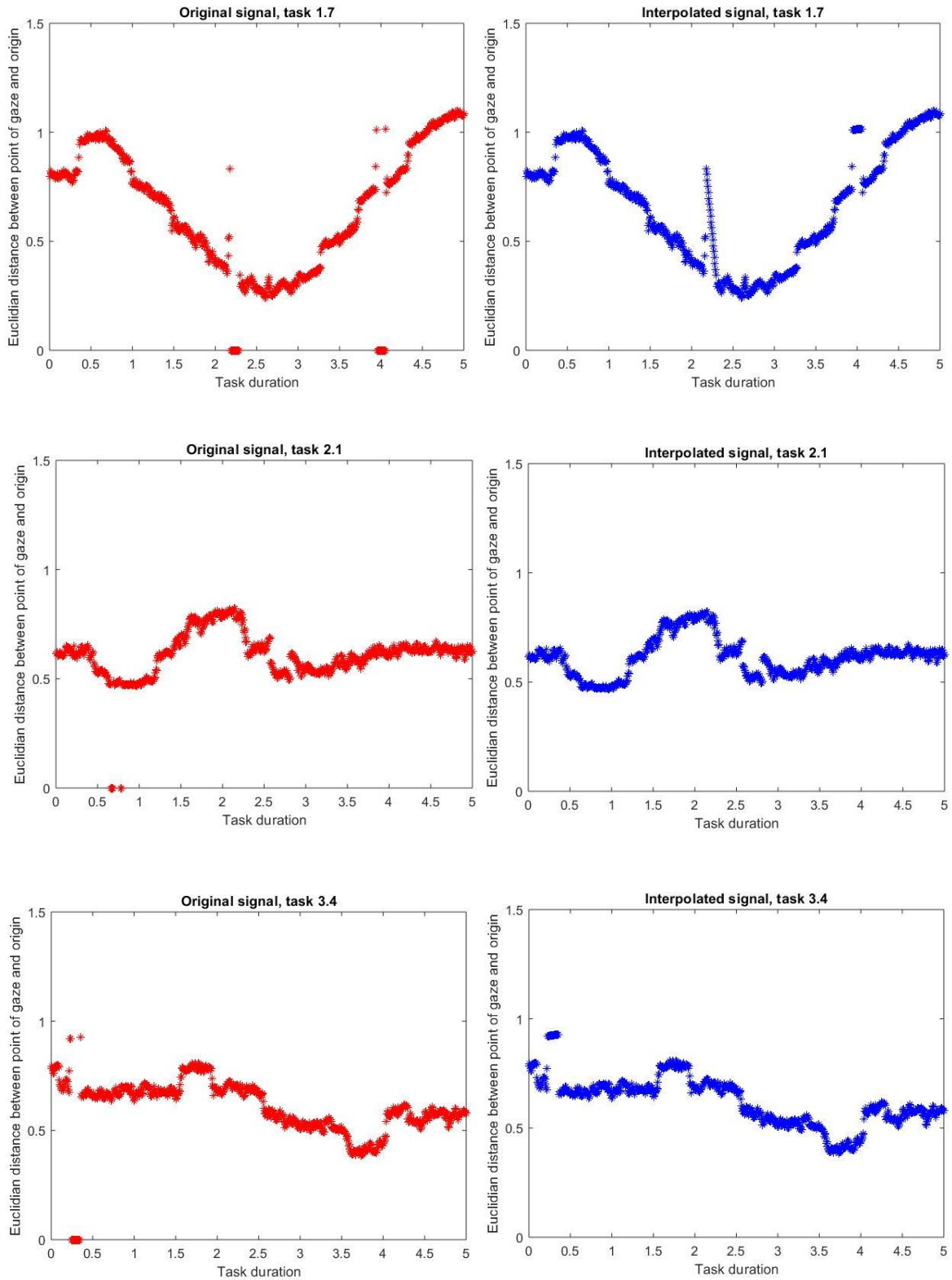
## 3.2. Programska potpora i metode za analizu podataka

### *MATLAB*

Analiza i obrada podataka bila je provedena u Matlab 2018b programskom okruženju. Matlab je programski jezik i interaktivna je okolina za numeričko i matrično računanje, za vizualizaciju i programiranje. Pomoću Matlab-a mogu se analizirati podaci, izraditi algoritmi, stvoriti modeli i aplikacije. Jezik, alati i matematičke funkcije omogućuju brži rad nego s tablicama ili tradicionalnim programskim jezicima, kao što su C/C++ ili Java. Matlab se može koristiti za niz aplikacija, uključujući obradu signala i komunikacija, obradu sustava kontrole, ispitivanja i mjerenja, računalnih financija i računalne biologije.

### *OBRADA I ANALIZA VIZUALNO KOGNITIVNIH ZADATAKA*

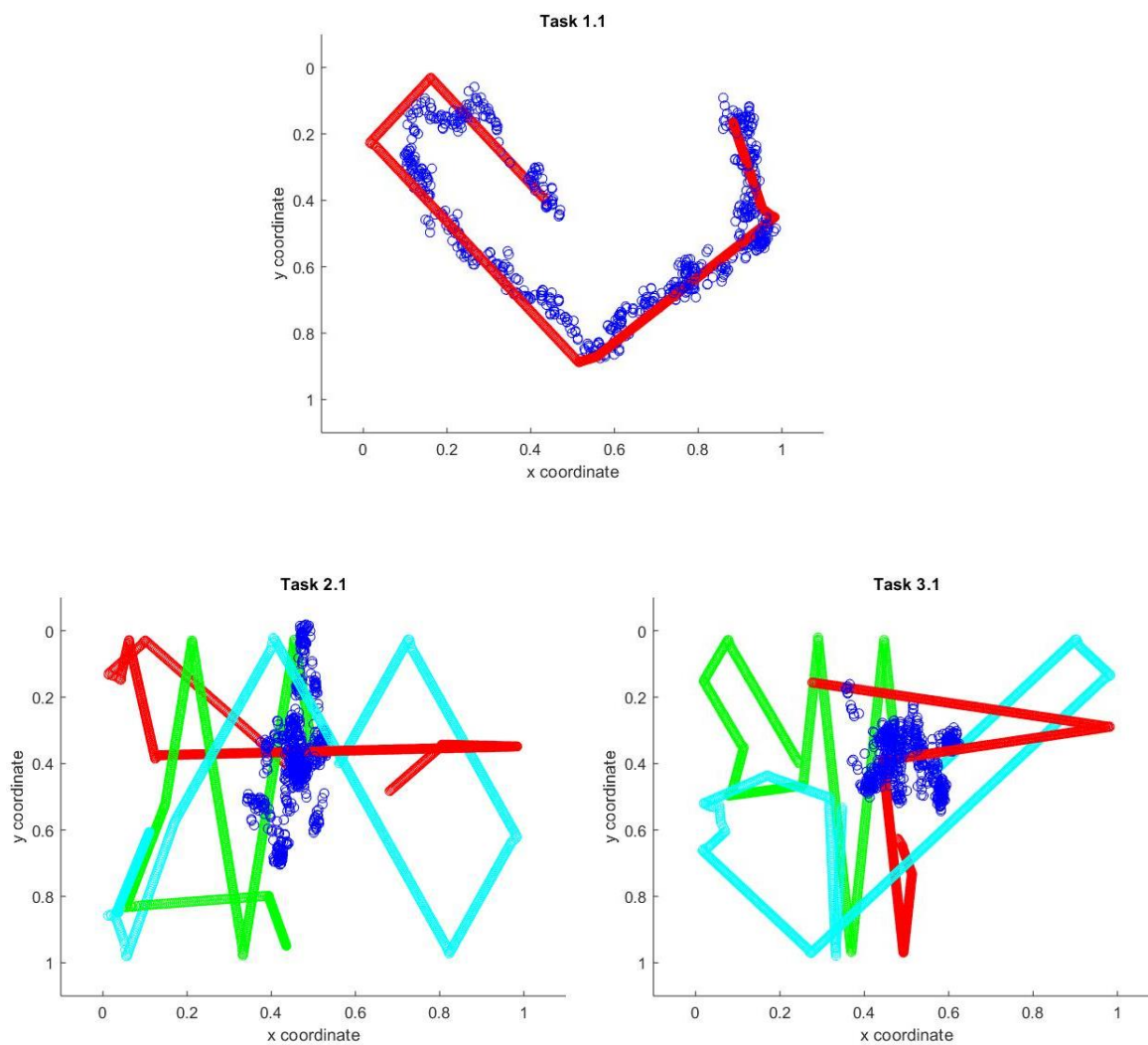
Najprije je bilo potrebno učitati maloprije spomenute CSV datoteke kandidata, kao i snimljene trajektorije stimulacijske paradigme. Zbog različite frekvencije uzorkovanja između podataka o pokretu očiju i položaju samih trajektorija, bilo je potrebno ponovo uzorkovati kako bi broj uzoraka bio isti za daljnju usporedbu. To je izvedeno na način da su trajektorije stimulacijske paradigme bile nad-uzorkovane sa 60 na 150 Hz. Bilo je potrebno i filtrirati te interpolirati izgubljene podatke o pokretu očiju. Budući da je vrijeme trajanja aktivnog dijela stimulacije (pokretanje objekata) 5 sekundi, radilo se sa 750 uzoraka podataka. Ukupan broj ispitanika bio je 77, od kojih je 39 kontrolora zračnog prometa i 38 studenata Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu. Ukupan broj trebao je biti 40 kontrolora i 40 studenata, no zbog nevaljanosti podataka neki sudionici su morali biti isključeni. Na *Slika 3.3 (lijevo)* prikazan je izvorni nefiltrirani signal o pogledu jednog od kandidata, izražen kao euklidska udaljenost do ishodišta, koje se nalazi u gornjem lijevom kutu ekrana, a na *Slika 3.3 (desno)* filtrirani i interpolirani signal za jedan od zadataka svakog segmenta.



Slika 3.3 Izvorni (lijevo) vs interpolirani (desno) signal pogleda



Od ukupno 8 ili 10 točaka za praćenje, gledale su se samo pozicije meta u svakom trenutku i ovisnost udaljenosti pogleda o njima. Na *Slika 3.4* prikazan je po jedan od ukupno osam zadataka svakog segmenta gdje je tamnoplavo označen kandidatov pogled, a preostale boje prikazuju položaj trajektorija od interesa, što podrazumijeva jednu metu u prvom segmentu te tri mete u preostala dva segmenta.



**Slika 3.4** Vizualno kognitivni zadaci – prikaz položaja pogleda i trajektorija

## ***OPIS ALGORITMA ZA PRONALAZENJE STRATEGIJE PRAĆENJA POKRETNIH OBJEKATA***

Odabrane su ukupno tri strategije za ispitivanje: prebacivanje pogleda između meta (engl. *Target to Target Switching*), gledanje u centar mase meta (engl. *Centroid Looking*) te gledanje u centar ekrana (engl. *Screen Center Looking*). Prvi segment, gdje se prati samo jedna meta, poslužio je za početnu statistiku i odstupanja gdje se računalo ukupno vrijeme gledanja tražene mete što se kasnije uspoređivalo s vremenom svake od strategija budući da je očekivano da kandidat konstantno prati tu jednu metu.

Za svaki uzorak, od njih ukupno 750, računala se euklidska udaljenost pogleda do svake mete, pri čemu se metom smatralo: (a) bilo koju od točaka koju je trebalo pratiti; (b) centar mase svih točaka koje je trebalo pratiti; (c) centar ekrana. Nakon utvrđivanja euklidskih udaljenosti do svih navedenih meta, tražila se minimalna udaljenost kako bi se odredila meta koja se u dotičnom trenutku prati. Pri tome, meta je bila određena samo ako je minimalna udaljenost ujedno bila manja od četvrtine (25%) dijagonale ekrana; inače se smatralo da u dotičnom trenutku osoba ne prati nijednu od definiranih meta. Dakle, za svaki uzorak se provjeravalo koja je pobjednička strategija te se dotičnoj strategiji pridodavalo vrijeme trajanja promatranog uzorka, tj. 1/150 s. Ispitivanje strategija provedeno je posebno za 100% uspješne, kao i za manje uspješne, zadatke te uspoređeno između dvije grupe kandidata u smislu uspješnosti izabranih strategija.

## 4. Rezultati mjerenja

Prije prikaza rezultata dobivenih u ovom diplomskom radu na temelju analiza strategija praćenja pokretnih objekata u okviru vizualno kognitivnih zadataka, daje se kratka ilustracija rezultata dobivenih analizama refleksnog praćenja točaka na temelju reference [5], radi cjelovitijeg uvida u potencijal i raznovrsnost analiza dinamičkih okulometrijskih značajki u kontekstu selekcijskog procesa kontrolora zračnog prometa.

### **REFLEKSNO PRAĆENJE TOČKE**

Ispitanici su u prosjeku uspjeli popratiti oko 200 točaka u svakom od četiri segmenta u trajanju od 1 min. Podatke o pogledu je najprije trebalo procesirati na način da se detektiraju sakade, fiksacije i uspješno popraćene točke što je bilo određeno latencijom pogleda, koja je u slučaju refleksnog praćenja između 80 – 250 ms. Dinamika okulomotornog sustava nije linearna, zbog čega su sakade sortirane prema vizualnom kutu, a srednja vrijednost značajki računala se kao aritmetička sredina vrijednosti srednjih članova definiranih pojaseva vizualnog kuta [5]. Pojasevi vizualnih kutova definirani su kao:

$$p_1 < 0^\circ 10^\circ >, p_2 < 10^\circ 15^\circ >, p_3 < 15^\circ 20^\circ >, p_4 < 20^\circ 25^\circ >, p_5 < 25^\circ 35^\circ > \quad (2)$$

Izračun srednje vrijednosti značajki:

$$avg_{seg} = mean(\{median(p_1), median(p_2), \dots, median(p_5)\}) \quad (3)$$

Kod izračuna značajki fiksacija, srednja vrijednost se računala kao aritmetička srednja vrijednost nad svim podacima:

$$avg_{seg} = mean(data) \quad (4)$$

Postotne promjene značajki izračunate su na sljedeći način:

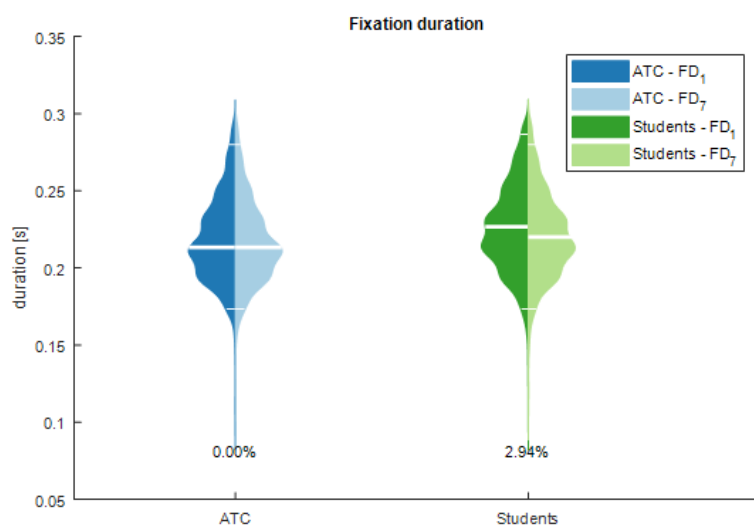
$$saccade_{feat} = \frac{avg_4 - avg_1}{avg_1} * 100 \quad (5)$$

Na *Slika 4.1* prikazane su značajke fiksacija, a na *Slika 4.2* značajke sakada. Bijele horizontalne linije prikazuju 25-50-75 percentile. Na primjer, vidljivo je kako je SPV značajka sedmog segmenta ( $SPV_7$ ) niža od iste u prvom segmentu ( $SPV_1$ ) što je očekivano s

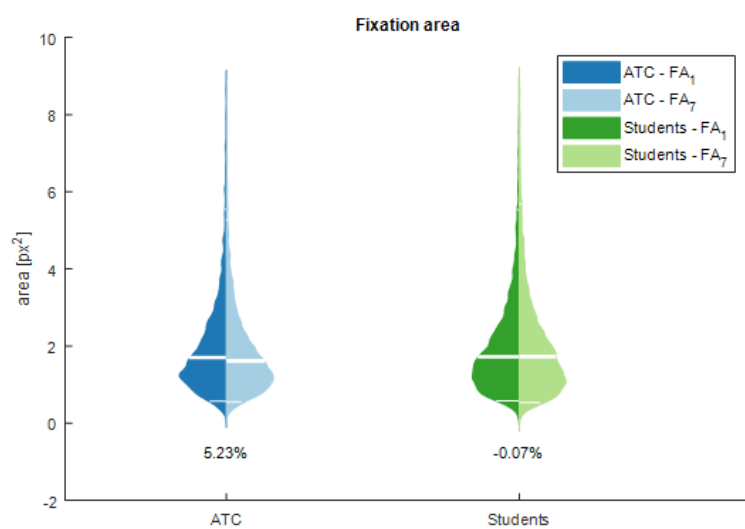
obzirom na umor. Ispod svake grafičke reprezentacije podataka, po pojasevima vizualnog kuta, prikazano je koliko se značajka smanjila izraženo u postotcima. Svaka značajka predstavljena je kao postotak promjene srednje vrijednosti između prvog i posljednjeg segmenta. Izračunavanje SPV značajke opisano je pod (6), a analogno računale su se i ostale značajke [5].

$$SPV = \left(1 - \frac{\text{mean}(spv_7)}{\text{mean}(spv_1)}\right) * 100 [\%] \quad (6)$$

a)

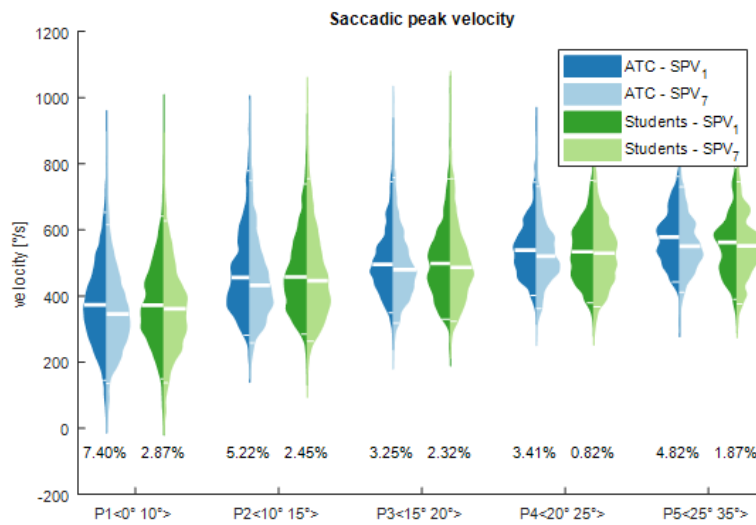


b)

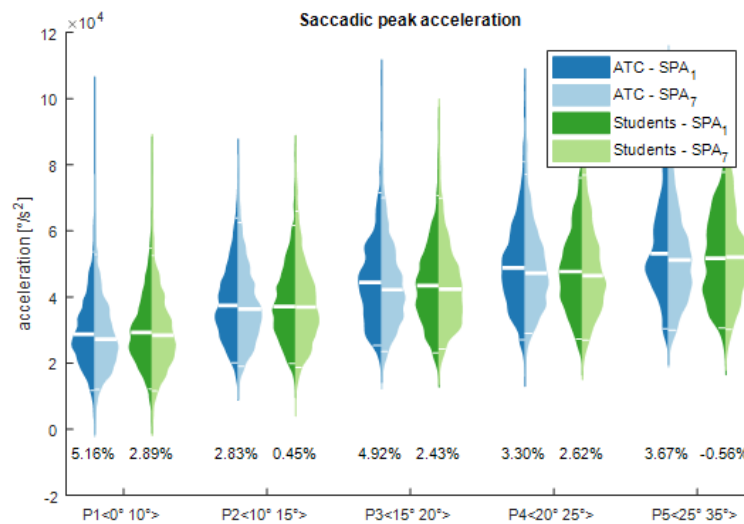


**Slika 4.1** Značajke fiksacija: a) trajanje fiksacija, b) područje fiksacija  
(Ćosić, Popović, Šarlija, Mijić, Kokot & Kesedžić, 2019)

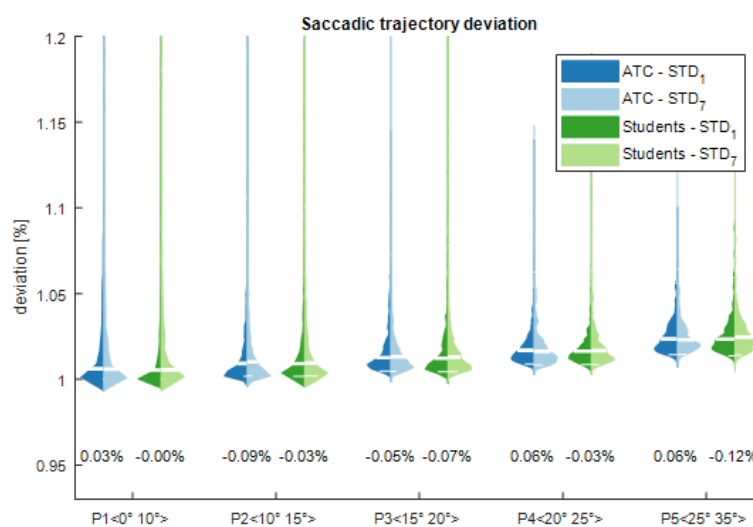
a)



b)



c)

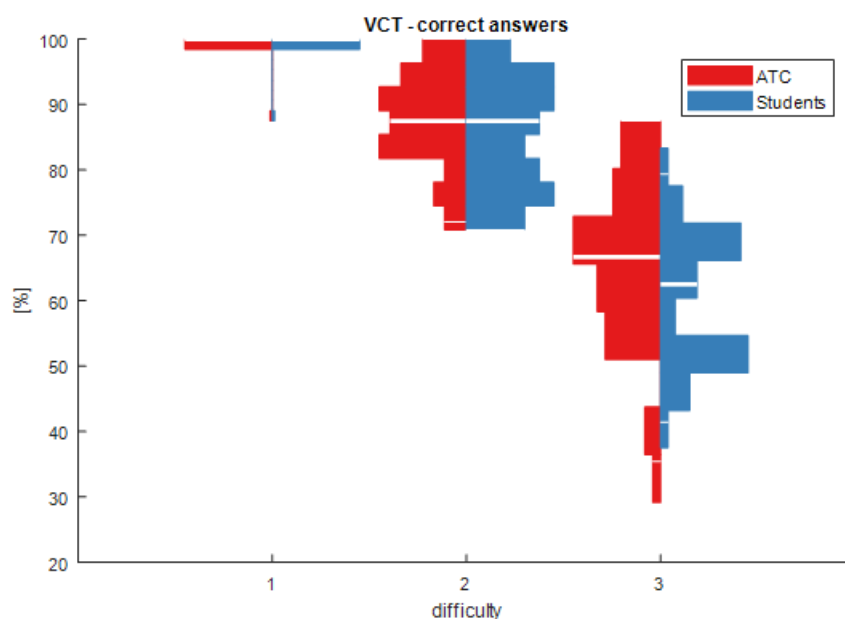


**Slika 4.2** Značajke sakada: a) vršna brzina sakade, b) vršno ubrzanje sakade, c) odstupanje sakade

(Ćosić, Popović, Šarlija, Mijić, Kokot & Kesedžić, 2019)

## VIZUALNO KOGNITIVNI ZADACI

Na Slika 4.3 prikazana je uspješnost obavljanja vizualno kognitivnih zadataka po težinama, tj. po segmentima paradigme, gdje je vidljivo kako kontrolori u prosjeku imaju bolje rezultate od studenata, posebice na zadacima najveće težine.



**Slika 4.3** Uspješnost obavljanja vizualno kognitivnih zadataka  
(Ćosić, Popović, Šarlija, Mijić, Kokot & Kesedžić, 2019)

Ispitanike je trebalo svrstati u tri već spomenute kategorije: *Target to Target Switching*, *Centroid Looking*, *Screen Center Looking*. Najprije je izračunato prosječno vrijeme pogleda kandidata na metu u prvom segmentu gdje se prati samo jedna točka kako bi se daljnja promatranja okvirno uspoređivala s dobivenim vremenom. Prosječno vrijeme držanja pogleda na meti u prvom segmentu jest 92,23% za kontrolore zračnog prometa te 93,96% za studente. Može se primijetiti veća uspješnost pri korištenju strategije gledanja u centroid što je također pokazano u [8],[9] i [33]. Iz tablica u nastavku vidljivo je povećanje vremena prebacivanja pogleda između meta (engl. *Target to Target Switching*) kod manje uspješnih zadataka, tj. kod zadataka s greškom.

**Tablica 5** Drugi segment, 100%-tni zadaci

	Studenti	Kontrolori zračnog prometa
<i>Target to Target Switching</i>	39,97%	37,9%
<i>Centroid Looking</i>	37,76%	38,6%
<i>Screen Center Looking</i>	19,78%	20,46%

**Tablica 6** Drugi segment, zadaci s greškama

	Studenti	Kontrolori zračnog prometa
<i>Target to Target Switching</i>	44,86%	41,38%
<i>Centroid Looking</i>	29,55%	29,93%
<i>Screen Center Looking</i>	21,97%	24,77%

**Tablica 7** Treći segment, 100%-tni zadaci

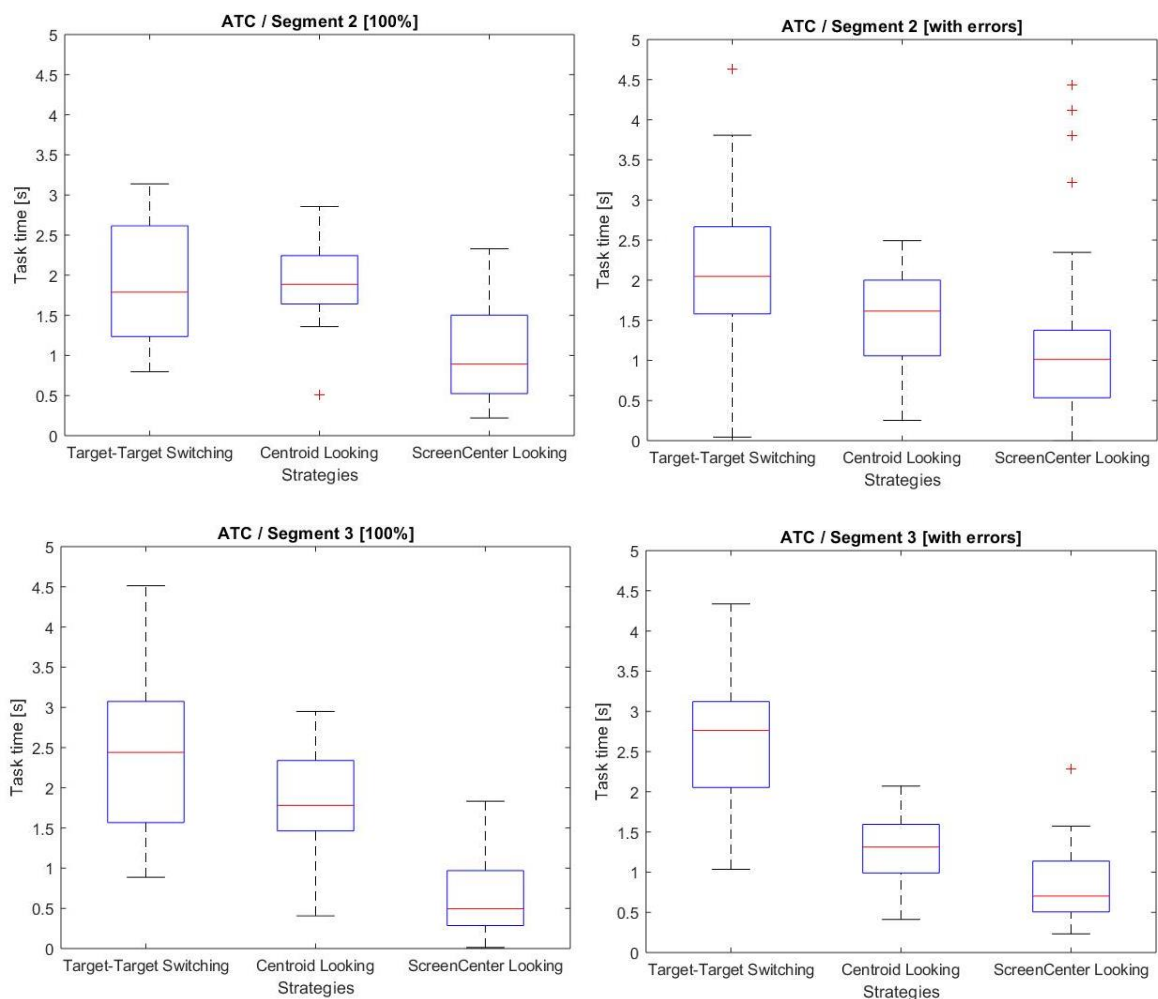
	Studenti	Kontrolori zračnog prometa
<i>Target to Target Switching</i>	41,43%	46,92%
<i>Centroid Looking</i>	40,93%	37,19%
<i>Screen Center Looking</i>	14,15%	12,95%

**Tablica 8** Treći segment, zadaci s greškama

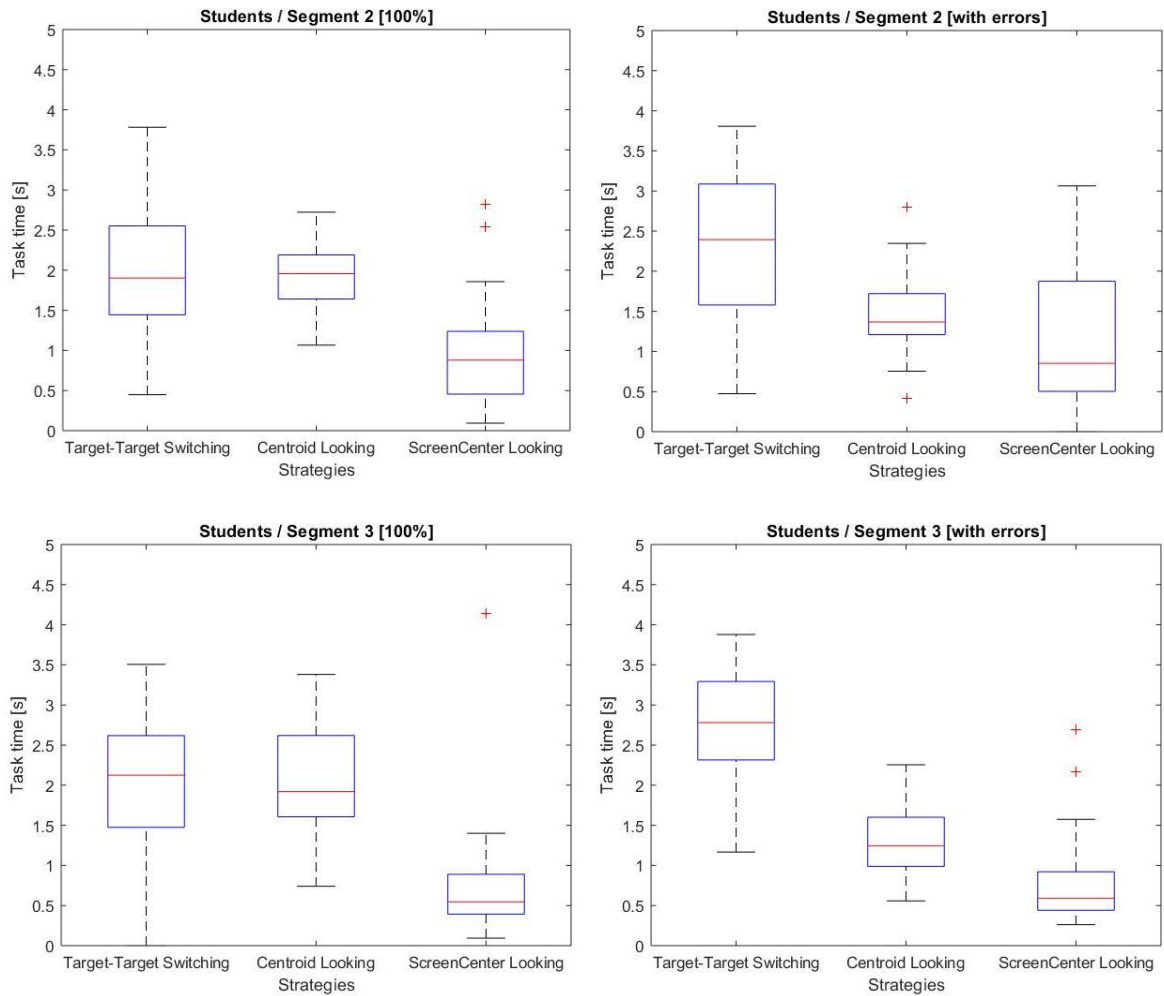
	Studenti	Kontrolori zračnog prometa
<i>Target to Target Switching</i>	53,65%	52,14%
<i>Centroid Looking</i>	25,51%	25,96%
<i>Screen Center Looking</i>	15,45%	16,86%



Ono što je zanimljivo jest otprilike podjednako korištenje strategija gledanja u centroid i pojedinačnih meta što ukazuje na kombiniranje više strategija. Takvo ponašanje također je opisano u prethodno spomenutoj literaturi. U [33] pokazano je kako vrijeme prebacivanja pogleda između meta (engl. *Target to Target Switching*) raste s većim opterećenjem zadatka, što bi u ovom slučaju bilo povećanje broja distraktora s 5 iz drugog segmenta na 7 iz trećeg. Uspoređujući rezultate tih dvaju segmenata može se zaključiti kako je riječ o istoj situaciji gdje naglašeniju razliku vremena pokazuju kontrolori zračnog prometa u usporedbi sa studentima, a prethodna analiza pokazala je i njihovu veću uspješnost u obavljanju istog. Na *Slika 4.4* prikazane su korištene strategije od strane kontrolora zračnog prometa, a na *Slika 4.5* od strane studenata Fakulteta elektrotehnike i računarstva. Gore je prikazan drugi segment, dolje treći, lijevo su zadaci riješeni sa 100%-tnom točnošću, a desno zadaci s greškama.

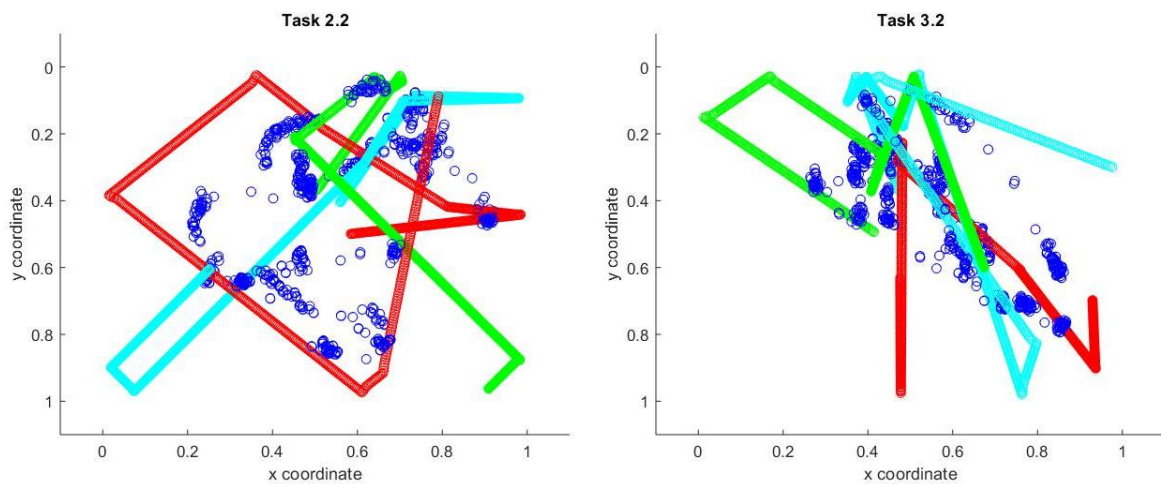


**Slika 4.4** Korištene strategije kontrolora zračnog prometa



**Slika 4.5** Korištene strategije studenata

Na *Slika 4.6* prikazani su položaji pogleda i trajektorija za nasumičnog kandidata, a u *Tablica 9* rezultati dotičnih zadataka.



**Slika 4.6** Položaji pogleda i trajektorija za nasumičnog kandidata

Lijevo: drugi zadatak drugog segmenta; Desno: drugi zadatak trećeg segmenta

**Tablica 9** Rezultati zadataka za nasumičnog kandidata

	<i>Target to Target Switching</i>	<i>Centroid Looking</i>	<i>Screen Center Looking</i>
Zadatak 2.2	2.1533 [s] 43,07 [%]	2.5867 [s] 51,73 [%]	0.1333 [s] 2,67 [%]
Zadatak 3.2	2.9133 [s] 58,27 [%]	1.7533 [s] 35,07 [%]	0.2867 [s] 5,73 [%]

U [9] je pokazano da sugeriranje korištenja strategije gledanja u centroid umjesto prebacivanja pogleda između meta daje bolje rezultate, ali lošije od onih kada kandidat prirodno prebacuje strategije po potrebi.

## 5. Rasprava

U ovom radu analizirane su dinamičke okulometrijske značajke na temelju potpuno anonimiziranih i depersonaliziranih okulometrijskih podataka koji su snimljeni od strane Laboratorija za interaktivne simulacijske sustave FER-a prilikom ispitivanja otpornosti na stres kandidata za kontrolore zračnog prometa, primjenom specifične stimulacijske paradigme koja se sastojala od refleksnog praćenja točaka kao i vizualno kognitivnih zadataka kontinuiranog praćenja više pokretnih objekata. Kao kontrolna skupina odgovarajuće dobi i spola promatran je uzorak studenata Fakulteta elektrotehnike i računarstva, te je ova skupina očekivano imala nešto nižu uspješnost na najtežoj razini praćenja više pokretnih objekata. Analizirane su strategije koje su primjenjivane prilikom praćenja više-pokretnih objekata te je pokazano da korištenje strategije gledanja u centar mase objekata koje je potrebno pratiti poboljšava uspješnost, no i da se kandidati/studenti ne odlučuju striktno samo za jednu od strategija, već za njihovu kombinaciju, što najčešće uključuje podjednako korištenje strategija gledanja u centar mase praćenih objekata (centroid) kao i prebacivanje pogleda između objekata koje je potrebno pratiti. Također je zanimljivo da svi kandidati/studenti prilikom povećanja opterećenja zadatka (povećanje broja distraktora) pokazuju povećanje vremena gledanja u pojedinačne mete što je također poznato iz literature. Možda bi bilo bolje strategije praćenja gledati kao fluidno pomicanje sa strategije na strategiju ovisno o trenutnim zahtjevima zadatka, nego kandidate/studente strogo svrstavati u samo jednu od njih [33].

# Zaključak

Provedena je dinamička analiza okulometrijskih značajki u okviru vizualno kognitivnih zadataka koji su primijenjeni od strane Laboratorija za interaktivne simulacijske sustave FER-a u okviru selekcije kontrolora zračnog prometa, pri čemu je kontrolna grupa bila uzorak studenata pete godine Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu. Iako su kandidati za kontrolore zračnog prometa imali nešto višu uspješnost od kontrolne grupe u obavljanju najtežih zadataka praćenja više pokretnih objekata, pri ispitivanju nekoliko karakterističnih strategija praćenja više-pokretnih objekata, nisu pronađene značajne razlike korištenih tehnika između studenata i kandidata. Međutim, kod obje grupe se može primijetiti duže vrijeme gledanja u centroid kod najuspješnijih zadataka i povećano vrijeme gledanja u pojedinačne mete kod zadataka s greškom, iako se zapravo radi o kombinaciji korištenih strategija. Također, pri povećanju opterećenja zadatka, u ovom slučaju prelazak iz drugog u treći segment vizualno kognitivne igre, uočljiv je porast vremena gledanja u pojedinačne mete. Takva ponašanja su do sada već bila prijavljena u literaturi. Budući da je u snimljenim podacima dostupan samo broj točno odabranih točaka prilikom vizualno kognitivnih zadataka, moguće je i blago poboljšanje sustava na način da se aplikacija prilagodi da u podatke zapisuje i o kojim točkama je riječ. Na taj način, bilo bi moguće isključiti potencijalne izgubljene mete kandidata i ponovno računati težišta mase npr. između dvije umjesto tri mete jer kod zadataka koji nisu potpuno točni, logično je smanjenje gledanja u centroid budući da je kandidat izgubio neku od meta. Isto tako, potencijalno zanimljiv problem za budući rad odnosio bi se na razvoj klasifikatora koji bi primjenom odgovarajućih metoda strojnog učenja mogao predvidjeti uspješnost obavljanja pojedinog zadatka praćenja više-pokretnih objekata, na temelju analize strategija praćenja primijenjenih u dotičnom zadatku, tj. analize trajektorije pogleda u odnosu na trajektorije objekata koje je potrebno pratiti.

## Literatura

- [1] ABDULIN, E., & KOMOGORTSEV, O. (2015), User eye fatigue detection via eye movement behavior. in proceedings of the 33rd annual acm conference extended abstracts on human factors in computing systems 2015 (pp. 1265-1270).
- [2] ARNSTEN A. F. T. (2009), „Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function," *Nature Rev. Neurosci.*, vol. 10, no. 6, pp. 410-422
- [3] CAVANAGH P, ALVAREZ GA., Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends in Cognitive Sciences*. 2005; 9:349–354. [PubMed: 15953754]
- [4] CHEN, N. T. ET AL. (2014), Biased saccadic responses to emotional stimuli in anxiety: an antisaccade study. *PloS one*, Volume 9
- [5] ĆOSIĆ, K., POPOVIĆ, S., ŠARLIJA, M., MIJIĆ, I., KOKOT, M., & KESEDŽIĆ, I. (2019), *Multimodal physiological, voice acoustic, eye gaze and brain imaging features of stress resilience: Final report*. Unpublished final report of the NATO SPS project id.no. 984829 "Multidisciplinary Metrics for Soldier Resilience Prediction and Training"
- [6] ĆOSIĆ, K., SLAMIĆ M., POPOVIĆ S., RAC Z. (2002), VR Based Adaptive Stimulation in Estimation of Whiplash Injuries. In Proceedings of 7th International Fall Workshop on Vision, Modeling and Visualization 2002 (pp. 35-42).
- [7] ĆOSIĆ, K., ŠARLIJA M., IVKOVIĆ V., ZHANG Q., STRANGMAN G., POPOVIĆ S. (2019.), Stress Resilience Assessment Based on Physiological Features in Selection of Air Traffic Controllers, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 41989-42005, preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8674459> (svibanj 2019.)
- [8] FEHD H.M., SEIFFERT A.E. (2008), Eye movements during multiple object tracking: Where do participants look? *Cognition*, vol. 108(1), pp. 201-209
- [9] FEHD H.M., SEIFFERT A.E., Looking at the center of the targets helps multiple object, 2010., Published in *Journal of Vision* 2010, 10(4):19.1-13
- [10] GazePoint Analysis User Manual, preuzeto s: <http://andrewd.ces.clemson.edu/courses/cpsc412/manuals/GazePoint%20Analysis.pdf> (svibanj 2019.)
- [11] GazePoint Control User Manual, preuzeto s: <http://andrewd.ces.clemson.edu/courses/cpsc412/manuals/GazePoint%20Control.pdf> (svibanj 2019.)
- [12] GOLDBERG, M. E., & WALKER M. F. (2013), The control of gaze. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum, & A. J. Hudspeth (Eds.), *Principles of neural science* (5th ed.). (pp. 894-916). New York: Mc-Graw Hill Medical
- [13] HEJTMANCIK, J. F., CABRERA, P., CHEN, Y., M'HAMDI, O., & NICKERSON, J. M. (2017), Vision. *Conn's Translational Neuroscience*, 399–438
- [14] HYÖNÄ J., NURMINEN AM. (2006), Do adult readers know how they read? Evidence from eye movement patterns and verbal reports. *British Journal of Psychology*, 97:31-50. [PubMed: 16464286]

- [15] LIBERZON, I. & SRIPADA, C. (2007), The functional neuroanatomy of PTSD: a critical review.. *Progress in Brain Research*, 167, pp. 151-169
- [16] MCDUGAL, D. H., & GAMLIN, P. D. (2011), Autonomic control of the eye. *Comprehensive Physiology*, 5(1), 439-473
- [17] MEYERHOFF, H. S., PAPANMEIER, F., & HUFF, M. (2017), Studying visual attention using the multiple object tracking paradigm: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79(5), 1255-1274.
- [18] NOTEBOOM J. T., FLESHNER M. AND R. M. ENOKA (2001), "Activation of the arousal response can impair performance on a simple motor task," *J. Appl. Physiol.*, vol. 91, no. 2, pp. 821-831
- [19] Open Gaze API by Gazepoint,  
preuzeto s: [https://www.gazept.com/dl/Gazepoint\\_API\\_v2.0.pdf](https://www.gazept.com/dl/Gazepoint_API_v2.0.pdf) (svibanj 2019.)
- [20] PEDROTTI, M., MIRZAEI, M. A., TEDESCO, A., CHARDONNET, J. R., MÉRIENNE, F., BENEDETTO, S., & BACCINO, T. (2014), Automatic stress classification with pupil diameter analysis. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30(3), 220-236.
- [21] PORCELLI, A. J. & DELGADO, M. R., (2009), Acute Stress Modulates Risk Taking in Financial Decision Making. *Psychological Science*, 20(3), pp. 278-283.
- [22] PYLYSHYN Z, Visual indexes, preconceptual objects, and situated vision. *Cognition*. 2001; 80:127–158. [PubMed: 11245842]
- [23] PYLYSHYN Z, STORM R. , Tracking multiple independent targets: Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*. 1988; 3:179–197. [PubMed: 3153671]
- [24] SLAGTER, H. A., GEORGOPOULOU, K., & FRANK, M. J. (2015), Spontaneous eye blink rate predicts learning from negative, but not positive, outcomes. *Neuropsychologia*, 71, 126-132
- [25] SLUGANOVIC, I., ROESCHLIN, M., RASMUSSEN, K. B. & MARTINOVIC, I., (2016), Using reflexive eye movements for fast challenge-response authentication. *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, pp. 1056--1067
- [26] SOUTHWICK S. M., BONANNO G. A., MASTEN A. S., PANTER-BRICK C., AND YEHUDA R. (2014), „Resilience definitions, theory, and challenges: Interdisciplinary perspectives," *Eur. J. Psychotraumatol.*, vol. 5, no. 1, Art. no. 25338. doi: 10.3402/ejpt.v5.25338.
- [27] STAAL M.A., BOLTON A. E., YAROUGH R. A. AND BOURNE L. E. (2008), Jr., "Cognitive performance and resilience to stress," in *Biobehavioral Resilience to Stress*, B. J. Lukey and V. Tepe, Eds. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, pp. 259\_300.
- [28] STASI, L. D. ET AL. (2013), Saccadic peak velocity as an alternative index of operator attention: A short review. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, Volume 63, pp. 335-343.
- [29] STASI, L. D. ET AL. (2013), Saccadic velocity as an arousal index in naturalistic tasks. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(5), pp. 968-975.

- [30] YANTIS S. (1992), Multielement visual tracking: Attention and perceptual organization. *Cognitive Psychology*; 24(3):295-340. [PubMed: 1516359]
- [31] YEHUDA R., FLORY J. D., SOUTHWICK S. AND CHARNEY D. S. (2006), „Developing an agenda for translational studies of resilience and vulnerability following trauma exposure," *Ann. New York Acad. Sci.*, vol. 1071, no. 1, pp. 379\_396
- [32] YERKES R. M. AND DODSON J. D. (2004), „The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation," *J. Comparative Neurology Psychol.*, vol. 18, no. 5, pp. 459\_482
- [33] ZELINSKY G.J., NEIDER M.B. (2008), An eye movement analysis of multiple object tracking in a realistic environment, *Visual Cognition*, 16:5,553-566



# Sažetak

## **Analiza dinamičkih okulometrijskih značajki**

Analiza dinamičkih okulometrijskih značajki može upotpuniti razne psihofiziološke metode proučavanja čitavog niza ljudskih mentalnih stanja, kao što su, primjerice, različiti oblici kognitivnog i emocionalnog stresa te umora. Analiza odgovarajućih dinamičkih okulometrijskih značajki u okviru ispitivanja strategija kojima osoba uspijeva istodobno pratiti više pokretnih objekata važna je u procjeni spremnosti za obavljanje kompleksnih kognitivnih radnji koje su vrlo često prisutne u visoko-stresnim zanimanjima poput kontrolora zračnog prometa. U diplomskom radu, analizirani su postojeći anonimizirani i depersonalizirani podaci grupe kandidata za kontrolore zračnog prometa tijekom selekcijskog procesa te grupe studenata, dok su obavljali vizualno kognitivne zadatke koji su se odnosili na praćenje više objekata u kontinuiranom gibanju. Vizualno kognitivni zadaci bili su slijedno organizirani u tri razine težina, a prije i nakon svake razine težine obavljao se zadatak refleksnog praćenja točke koja se pojavljivala na nasumičnim mjestima po ekranu. Usporedbom prvog i zadnjeg zadatka refleksnog praćenja točke, kod ispitanika su uočene određene razlike na dinamičkim okulometrijskim značajkama, kao što je vršna brzina sakada, koje su povezane s interakcijom umora oka nastalog zbog niza obavljanih okulomotornih zadataka i različitih razina stresa u kojima su se nalazile dvije grupe ispitanika. Kandidati za kontrolore zračnog prometa pokazali su nešto veću uspješnost od studenata prilikom vizualno kognitivnih zadataka, iako nije bilo značajnije razlike između grupa u korištenju različitih postojećih strategija za istodobno praćenje više objekata. Za obje se grupe, međutim, može primijetiti porast uspješnosti pri češćem korištenju strategije gledanja u centar mase svih objekata koje je potrebno pratiti. Zanimljivo je i to da pri povećanju težine zadatka raste vrijeme gledanja pojedinačnih praćenih objekata, što je moguća posljedica okruživanja objekata većim brojem distraktora zbog čega je oku potreban finiji pristup informaciji nego što to daje periferni vid.

**Ključne riječi:** praćenje pogleda, okulometrijske značajke, otpornost na stres, sakade, strategije praćenja objekata

# Summary

## **Analysis of dynamic oculomotor features**

The analysis of dynamic oculomotor features can utilize various psycho-physiological methods of studying a whole range of human mental states, such as, for example, different forms of cognitive and emotional stress and fatigue. The analysis of the appropriate dynamic oculomotor features within the examination of strategies that manages to simultaneously monitor multiple moving objects is important in assessing the readiness to perform complex cognitive actions that are often present in highly stressful occupations such as air traffic controllers. In the graduate thesis, existing anonymised and depersonalized data of the group of candidates for air traffic controllers during the selection process and group of students were analyzed while performing visual cognitive tasks related to monitoring multiple objects in continuous motion. Visual cognitive tasks were sequentially organized into three difficulty levels, before and after each level, the reflex dot pursuit task of reflexive tracking of the point that appeared in random places on the screen was performed. By comparing the first and last reflex dot pursuit task, some differences in dynamic oculomotor features, such as saccadic peak velocity, were associated with the interaction of ocular fatigue due to the number of performed oculomotor tasks and the different levels of stress. Candidates for air traffic controllers showed a somewhat greater success than students in visual cognitive tasks, although there was no significant difference between the groups in using different existing strategies for simultaneous monitoring of multiple objects. For both groups, however, one may notice an increase in success when using the strategy of looking in the center of mass of all objects that should be monitored. It is also interesting to note that increasing the task difficulty increases the time of looking in the individual monitored objects, which is the possible consequence of surrounding the objects with a larger number of distractors, for what the eye needs more fine access to the information than peripheral vision.

**Keywords:** eye tracking, oculomotor features, stress resilience, saccades, multiple object tracking strategies

# Privitak

## A. Učitavanje .csv datoteka:

Funkciju `csvimport` moguće je skinuti na sljedećem linku:

<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/23573-csvimport>

## Učitavanje *EVENT* datoteke:

```
function data = readEvent(file)
    log = csvimport(file, 'noHeader', false, 'delimiter', ';');
    data.gp = {[], [], [], []};
    data.dyn = {[], [], []};
    k = 2;

    % red dot #1
    while true
        if ~strcmp(log{k,1}, 'DOT_GAZED')
            break
        end
        data.gp{1} = [data.gp{1}; log{k,2}, log{k,3}, log{k,4},
...
                                log{k,5}, log{k,6}];
        k = k + 1;
    end

    % dyn task #1
    for k = k : k + 23
        data.dyn{1} = [data.dyn{1}; log{k,2}, log{k,3},
log{k,4}, ...
                                log{k,5}, log{k,6}];
    end
    k = k + 1;

    % red dot #2
    while true
        if ~strcmp(log{k,1}, 'DOT_GAZED')
            break
        end
        data.gp{2} = [data.gp{2}; log{k,2}, log{k,3}, log{k,4},
...
                                log{k,5}, log{k,6}];
        k = k + 1;
    end

    % dyn task #2
    for k = k : k + 23
        data.dyn{2} = [data.dyn{2}; log{k,2}, log{k,3},
log{k,4}, ...
                                log{k,5}, log{k,6}];
```

```

end
k = k + 1;

% red dot #3
while true
    if ~strcmp(log{k,1}, 'DOT_GAZED')
        break
    end
    data.gp{3} = [data.gp{3}; log{k,2}, log{k,3}, log{k,4},
...
                                log{k,5}, log{k,6}];
    k = k + 1;
end

% dyn task #3
for k = k : k + 23
    data.dyn{3} = [data.dyn{3}; log{k,2}, log{k,3},
log{k,4}, ...
                                log{k,5}, log{k,6}];
end
k = k + 1;

% red dot #4
while true
    if k > size(log)
        break
    end
    data.gp{4} = [data.gp{4}; log{k,2}, log{k,3}, log{k,4},
...
                                log{k,5}, log{k,6}];
    k = k + 1;
end
end
end

```

### Učitavanje *LOG* datoteke:

```

function data = readLog(file, events)
    log = csvimport(file, 'noHeader', false, 'delimiter', ';');
    offset = log{2,1} - 2;
    data.gp = {{}, {}, {}, {}};
    data.dyn = {{}, {}, {}};

% red dots
for n = 1 : 4
    for i = 2 : size(events.gp{n})
        first = events.gp{n}(i-1,2) - offset;
        last = events.gp{n}(i,2) - offset;
        data.gp{n}{end+1} = [];
        for j = first : (last - 1)
            temp = [];
            for l = 1 : 21
                temp = [temp log{j,1}];
            end
            data.gp{n}{end} = [data.gp{n}{end}; temp];
        end
    end
end

```

```

        end
    end
end

% dyn segments

for n = 1:3
    for i = 5:3:23

        first = events.dyn{n}(i-3,2) - offset;
        last = events.dyn{n}(i,2) - offset;

        data.dyn{n}{end+1} = [];

        for j = first:(last - 1)
            temp = [];
            for l = 1:21
                temp = [temp log{j,l}];
            end
            data.dyn{n}{end} = [data.dyn{n}{end}; temp];
        end

        if (i == 23 && n<4)
            first = last;
            last = events.gp{n+1}(1,2) - offset;
            data.dyn{n}{end+1} = [];
            for j = first:(last-1)
                temp = [];
                for l = 1:21
                    temp = [temp log{j,l}];
                end
                data.dyn{n}{end} = [data.dyn{n}{end}; temp];
            end
        end
    end
end
end
end
end

```

## Kontrolori zračnog prometa:

```
files = dir('./dan*/*');
disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[FILES ] done'])

clear eventData
eventData = containers.Map;
for k = 1 : size(files)
    if contains(files(k).name, 'EVENT')
        name = files(k).name(17:21);
        eventData(name) = readEvent(files(k).name);
        disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[EVENTS] ' name])
    end
end
disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[EVENTS] All done'])

clear gazeData
gazeData = containers.Map;
for k = 1 : size(files)
    if contains(files(k).name, 'LOG')
        name = files(k).name(17:21);
        gazeData(name) = readLog(files(k).name, eventData(name));
        disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[GAZE] ' name])
    end
end
disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[GAZE] All done'])
```

## Studenti:

```
files = dir('./OST18/*');
disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[FILES ] done'])

clear eventData_ost
eventData_ost = containers.Map;
for k = 1 : size(files)
    if contains(files(k).name, 'EVENT')
        name = files(k).name(17:20);
        eventData_ost(name) = readEvent(files(k).name);
        disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[EVENTS] ' name])
    end
end
disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[EVENTS] All done'])

clear gazeData_ost
gazeData_ost = containers.Map;
for k = 1 : size(files)
    if contains(files(k).name, 'LOG')
        name = files(k).name(17:20);
        gazeData_ost(name) = readLog(files(k).name,
eventData_ost(name));
        disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[GAZE] ' name])
    end
end
disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[GAZE] All done'])
```

## Učitavanje trajektorija:

```
function trajectory = readTrajectory(file)
    log = csvimport(file, 'noHeader', false, 'delimiter', ';');
    trajectory.segment_1 = {[], [], [], [], [], [], [], []];
    trajectory.segment_2 = {[], [], [], [], [], [], [], []];
    trajectory.segment_3 = {[], [], [], [], [], [], [], []];
    k = 2;
    count_segments = 1;
    count_tasks = 0;

    while true

        if strcmp(log{k,1}, 'DYN_END')
            if (k==62745)
                break
            end
            k = k + 1;
        end

        if strcmp(log{k,1}, 'DYN_START')
            count_tasks = count_tasks + 1;
            k = k + 1;
        end

        if (count_tasks > 8)
            count_segments = count_segments + 1;
            count_tasks = 1;
        end

        if (count_segments == 1)
            trajectory.segment_1{count_tasks} =
[trajectory.segment_1{count_tasks}; log{k,2}, log{k,3},
log{k,4}, ...
                                log{k,5}, log{k,6}];
        end

        if (count_segments == 2)
            trajectory.segment_2{count_tasks} =
[trajectory.segment_2{count_tasks}; log{k,2}, log{k,3},
log{k,4}, ...
                                log{k,5}, log{k,6}];
        end

        if (count_segments == 3)
            trajectory.segment_3{count_tasks} =
[trajectory.segment_3{count_tasks}; log{k,2}, log{k,3},
log{k,4}, ...
                                log{k,5}, log{k,6}];
        end

        k = k + 1;
    end
end
```

## Učitavanje imena:

```
function loadnames

    files = dir('./dan*/*');
%     files = dir('./OST18/*');
    disp(['[' datestr(now, 'HH:MM:SS') ']' '[FILES ] done'])
    names_atc = {};
    names_ost = {};

    for k = 1 : size(files)
        if contains(files(k).name, 'LOG')

            if files(k).name(17:21) == 'KZP32'
                continue;
            else
                names_atc{end+1} = files(k).name(17:21);
            end
%         if files(k).name(17:20) == 'id28'
%             continue;
%         else
%             names_ost{end+1} = files(k).name(17:20);
%         end
        end
    end

    assignin('base', 'names_atc', names_atc)
%     assignin('base', 'names_ost', names_ost)

end
```

## B. Vizualno kognitivni zadaci

### Učitavanje koordinata pogleda:

```
function [X, Y] = loadGazeCoordinates_BPOG(task_gaze)

    initial_time = task_gaze(1,2);
    time = initial_time + 4.8;

    m = 1;
    br = 0;
    X = [];
    Y = [];
    time_gaze = [];

    while true
        if (task_gaze(m,2) >= time)
```



```

        if (task_gaze(m,11) ~= 1 || task_gaze(m,9) >
1.02 || task_gaze(m,9) < -0.02 || task_gaze(m,10) > 1.02 ||
task_gaze(m,10) < -0.02)
            X = [X 0];
            Y = [Y 0];
            br = br + 1;
        else
            X = [X task_gaze(m,9)];
            Y = [Y task_gaze(m,10)];
            br = br + 1;
        end
    end
    if (br == 750)
        break;
    end
    m = m + 1;
end
end
end

```

### Interpoliranje signala:

```

function [X_interp, Y_interp] = interpolate(X,Y)

    x = 1 : length(X);
    xi = 1 : length(X);
    zv = (X == 0 & Y == 0);
    X(zv) = [];
    Y(zv) = [];
    x(zv) = [];

    X_interp = interp1(x, X, xi, 'linear', 'extrap');
    Y_interp = interp1(x, Y, xi, 'linear', 'extrap');
end

```

### Ponovno uzorkovanje:

```

function [X_resampled, Y_resampled] = resample_trajectory(X, Y)

    xi = linspace(1, 300, 750);
    x = 1 : length(X);
    X_resampled = interp1(x, X, xi, 'linear', 'extrap');
    Y_resampled = interp1(x, Y, xi, 'linear', 'extrap');
end

```

## Računanje težišta masa meta (centroid):

```
function centroid = CalcCentroid(x1,x2,x3,y1,y2,y3)
    centroid = [];
    centroid(1) = (x1 + x2 + x3) / 3;
    centroid(2) = (y1 + y2 + y3) / 3;
end
```

## Algoritam za vizualno kognitivne zadatke; sva tri segmenta za pojedinačnog kandidata:

```
function [target_time, seg2, seg3] =
VisualCognitiveTasks(trajectories, name, gaze, event,
trackingPlot, signalPlot)

    s = '%';

%% segment_1

    v = 3;
    target_time = [];
    for j = 1 : 8
        t_time = 0; % target time
        if(event(name).dyn{1}(v,2) == 1 && event(name).dyn{1}(v,3)
== 0)

% ***** gaze coordinates *****

            [XG, YG] =
loadGazeCoordinates_BPOG(gaze(name).dyn{1}{j});

% ***** interpolaze gaze points *****

            [XG_interp, YG_interp] = interpolate(XG,YG);

% ***** plot original signal *****

            d = [];
            for i = 1 : length(XG)
                d(i) = norm([XG(i) YG(i)] - [0 0]);
            end

            if (signalPlot == 1)
                figure
                t = linspace(0,5,numel(d));
                plot(t,d,'r*')
                title(['Original signal, task ', num2str(1), '.',
num2str(j)])
            end
        end
    end
```

```

        ylabel('Euclidian distance between point of gaze
and origin')
        xlabel('Task duration')
        xlim([0 5])
        ylim([0 1.5])
    end

% ***** plot interpolated signal *****

    d = [];
    for i = 1 : length(XG_interp)
        d(i) = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] - [0 0]);
    end

    if (signalPlot == 1)
        figure
        t = linspace(0,5,numel(d));
        plot(t,d,'b*')
        title(['Interpolated signal, task ',
num2str(1),'.', num2str(j)])
        ylabel('Euclidian distance between point of gaze
and origin')
        xlabel('Task duration')
        xlim([0 5])
        ylim([0 1.5])
    end

% ***** index position *****

    for i = 1 : 8
        if (trajectories.segment_1{j}(i,3) == 1)
            position_target = i;
        end
    end

% ***** coordinates *****

    X_target = [];
    Y_target = [];

    for i = 1 : 300
        X_target = [X_target
trajectories.segment_1{j}(position_target,4)];
        Y_target = [Y_target
trajectories.segment_1{j}(position_target,5)];
        position_target = position_target + 8;
    end

% ***** resample trajectories *****

    [X_target_resamp, Y_target_resamp] =
resample_trajectory(X_target, Y_target);

% *** calculate distance between targets, distractors and gaze ***

    for i = 1 : length(YG_interp)
        t = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] -
[X_target_resamp(i) Y_target_resamp(i)]);

```

```

        if(t < 0.25)
            t_time = t_time + 1/150;
        end
    end

    target_time(j) = t_time;
    assignin('base', 't_time', t_time)

% ***** plot gaze and relevant dot *****

    if (trackingPlot == 1)
        figure
        for i = 1 : length(XG_interp)
            hold on
            plot(X_target_resamp(i), Y_target_resamp(i),
'ro', XG_interp(i), YG_interp(i), 'bo')
            set(gca, 'YDir', 'reverse')
            xlim([-0.1 1.1])
            ylim([-0.1 1.1])
            F(i) = getframe;
        end
        hold off
        title(['Task ', num2str(1), '.', num2str(j)])
        xlabel('x coordinate')
        ylabel('y coordinate')
    end
end
v = v + 3;
end

%% segment_2

seg2.Target1_time = []; % target looking
seg2.Target2_time = [];
seg2.Target3_time = [];
seg2.TargetToTarget_time = []; % target - target switching
seg2.TargetToTargetSwitching = [];
seg2.Centroid_time = []; % centroid looking
seg2.CentroidToTarget_time = []; % centroid - target switching
seg2.CentroidLooking = [];
seg2.ScreenCenter_time = []; % screen center looking
seg2.ScreenCenterToTarget_time = []; % screen center - target
switching
seg2.ScreenCenterLooking = [];

    for j = 1 : 8
        if (~ (event(name).dyn{2}(3*j,2) == 3 &&
event(name).dyn{2}(3*j,3) == 0))
%             if (event(name).dyn{2}(3*j,2) == 3 &&
event(name).dyn{2}(3*j,3) == 0)

% ***** gaze coordinates *****

            [XG, YG] =
loadGazeCoordinates_BPOG(gaze(name).dyn{2}{j});

```

```

% ***** interpolate gaze points *****

[XG_interp, YG_interp] = interpolate(XG,YG);

% ***** plot original signal *****

d = [];
for i = 1 : length(XG)
    d(i) = norm([XG(i) YG(i)] - [0 0]);
end

if (signalPlot == 1)
    figure
    t = linspace(0,5,numel(d));
    plot(t,d,'r*')
    title(['Original signal, task ', num2str(2),'.',
num2str(j)])
    ylabel('Euclidian distance between point of gaze
and origin')
    xlabel('Task duration')
    xlim([0 5])
    ylim([0 1.5])
end

% ***** plot interpolated signal *****

d = [];
for i = 1 : length(XG_interp)
    d(i) = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] - [0 0]);
end

if (signalPlot == 1)
    figure
    t = linspace(0,5,numel(d));
    plot(t,d,'b*')
    title(['Interpolated signal, task ',
num2str(2),'.', num2str(j)])
    ylabel('Euclidian distance between point of gaze
and origin')
    xlabel('Task duration')
    xlim([0 5])
    ylim([0 1.5])
end

% ***** index positions *****

positions_targets = [];
for i = 1 : 8
    if(trajectories.segment_2{j}(i,3) == 1)
        positions_targets = [positions_targets i];
    end
end

% ***** coordinates *****

X_targets = {[],[],[ ]};
Y_targets = {[],[],[ ]};

```

```

        for i = 1 : 300
            for k = 1 : 3
                X_targets{k} = [X_targets{k}
trajectories.segment_2{j}(positions_targets(k),4)];
                Y_targets{k} = [Y_targets{k}
trajectories.segment_2{j}(positions_targets(k),5)];
                positions_targets(k) = positions_targets(k) +
8;
            end
        end

% ***** resample trajectories *****

        X_targets_resamp = {[],[],[]};
        Y_targets_resamp = {[],[],[]};

        for k = 1 : 3
            [X_resamp, Y_resamp] =
resample_trajectory(X_targets{k}, Y_targets{k});
            X_targets_resamp{k} = X_resamp;
            Y_targets_resamp{k} = Y_resamp;
        end

% *** calculate distance between targets, distractors and gaze ***

        T1_time = 0; % target1 looking
        T2_time = 0; % target2 looking
        T3_time = 0; % target3 looking
        TT_time = 0; % target - target switching
        C_time = 0; % centroid looking
        CT_time = 0; % centroid - target switching
        SC_time = 0; % screen center looking
        SCT_time = 0; % screen center - target switching
        previous_min = [];

        for i = 1 : length(XG_interp)

            %calculate centroid
            temp_centroid = [];
            temp_centroid =
CalcCentroid(X_targets_resamp{1}(i), X_targets_resamp{2}(i),
X_targets_resamp{3}(i), Y_targets_resamp{1}(i),
Y_targets_resamp{2}(i), Y_targets_resamp{3}(i));

            t1 = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] -
[X_targets_resamp{1}(i) Y_targets_resamp{1}(i)]);
            t2 = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] -
[X_targets_resamp{2}(i) Y_targets_resamp{2}(i)]);
            t3 = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] -
[X_targets_resamp{3}(i) Y_targets_resamp{3}(i)]);
            c = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] -
[temp_centroid(1) temp_centroid(2)]);
            sc = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] - [0.5
0.5]);

            temp_min = [];

```

```

temp_min = [t1 t2 t3 c sc];
min_value = min(temp_min);

if(min_value == t1 && t1 < 0.25)
    if(strcmp(previous_min, 'target1'))
        T1_time = T1_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'target2') ||
strcmp(previous_min, 'target3'))
        TT_time = TT_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'centroid'))
        CT_time = CT_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'screenCenter'))
        SCT_time = SCT_time + 1/150;
    end
    previous_min = 'target1';
elseif(min_value == t2 && t2 < 0.25)
    if(strcmp(previous_min, 'target2'))
        T2_time = T2_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'target1') ||
strcmp(previous_min, 'target3'))
        TT_time = TT_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'centroid'))
        CT_time = CT_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'screenCenter'))
        SCT_time = SCT_time + 1/150;
    end
    previous_min = 'target2';
elseif(min_value == t3 && t3 < 0.25)
    if(strcmp(previous_min, 'target3'))
        T3_time = T3_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'target2') ||
strcmp(previous_min, 'target1'))
        TT_time = TT_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'centroid'))
        CT_time = CT_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'screenCenter'))
        SCT_time = SCT_time + 1/150;
    end
    previous_min = 'target3';
elseif(min_value == c && c < 0.25)
    if(strcmp(previous_min, 'centroid'))
        C_time = C_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'target1') ||
strcmp(previous_min, 'target2') || strcmp(previous_min, 'target3'))
        CT_time = CT_time + 1/150;
    end
    previous_min = 'centroid';
elseif(min_value == sc && sc < 0.25)
    if(strcmp(previous_min, 'screenCenter'))
        SC_time = SC_time + 1/150;
    elseif(strcmp(previous_min, 'target1') ||
strcmp(previous_min, 'target2') || strcmp(previous_min, 'target3'))
        SCT_time = SCT_time + 1/150;
    end
    previous_min = 'screenCenter';
end
end

```

```

end

%***** plot gaze and relevant dots *****

if (trackingPlot == 1)
    figure
    for i = 1 : length(XG_interp)
        hold on
        plot(X_targets_resamp{1}(i),
            Y_targets_resamp{1}(i), 'ro', X_targets_resamp{2}(i),
            Y_targets_resamp{2}(i), 'go', X_targets_resamp{3}(i),
            Y_targets_resamp{3}(i), 'co', XG_interp(i), YG_interp(i), 'bo')
        set(gca, 'YDir', 'reverse')
        xlim([-0.1 1.1])
        ylim([-0.1 1.1])
        F(i) = getframe;
    end
    title(['Task ', num2str(2), '.', num2str(j)])
    xlabel('x coordinate')
    ylabel('y coordinate')
    %
    %
    %
    %
    %
    video = VideoWriter('2.2_task_kzp09.avi');
    video.FrameRate = 750/5;
    open(video)
    writeVideo(video,F)
    close(video)
end

seg2.Target1_time = [seg2.Target1_time T1_time];
seg2.Target2_time = [seg2.Target2_time T2_time];
seg2.Target3_time = [seg2.Target3_time T3_time];
seg2.TargetToTarget_time = [seg2.TargetToTarget_time
TT_time];
temp = T1_time + T2_time + T3_time + TT_time;
seg2.TargetToTargeSwitching =
[seg2.TargetToTargeSwitching temp];
seg2.Centroid_time = [seg2.Centroid_time C_time];
seg2.CentroidToTarget_time =
[seg2.CentroidToTarget_time CT_time];
temp = C_time + CT_time;
seg2.CentroidLooking = [seg2.CentroidLooking temp];
seg2.ScreenCenter_time = [seg2.ScreenCenter_time
SC_time];
seg2.ScreenCenterToTarget_time =
[seg2.ScreenCenterToTarget_time SCT_time];
temp = SC_time + SCT_time;
seg2.ScreenCenterLooking = [seg2.ScreenCenterLooking
temp];
end
end

%% segment_3

seg3.Target1_time = []; % target looking
seg3.Target2_time = [];
seg3.Target3_time = [];
seg3.TargetToTarget_time = []; % target - target switching

```



```

seg3.TargetToTargeSwitching = [];
seg3.Centroid_time = []; % centroid looking
seg3.CentroidToTarget_time = []; % centroid - target switching
seg3.CentroidLooking = [];
seg3.ScreenCenter_time = []; % screen center looking
seg3.ScreenCenterToTarget_time = []; % screen center - target
switching
seg3.ScreenCenterLooking = [];

for j = 1 : 8
    if (~ (event(name).dyn{3}(3*j,2) == 3 &&
event(name).dyn{3}(3*j,3) == 0))
%         if(event(name).dyn{3}(3*j,2) == 3 &&
event(name).dyn{3}(3*j,3) == 0)
% ***** gaze coordinates *****

[XG, YG] =
loadGazeCoordinates_BPOG(gaze(name).dyn{3}{j});
% ***** interpolate gaze points *****

[XG_interp, YG_interp] = interpolate(XG,YG);
% ***** plot original signal *****

d = [];
for i = 1 : length(XG)
    d(i) = norm([XG(i) YG(i)] - [0 0]);
end

if (signalPlot == 1)
figure
t = linspace(0,5,numel(d));
plot(t,d,'r*')
title(['Original signal, task ', num2str(3), '.',
num2str(j)])
ylabel('Euclidian distance between point of gaze
and origin')
xlabel('Task duration')
xlim([0 5])
ylim([0 1.5])
end

% ***** plot interpolated signal *****

d = [];
for i = 1 : length(XG_interp)
d(i) = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] - [0 0]);
end

if (signalPlot == 1)
figure
t = linspace(0,5,numel(d));
plot(t,d,'b*')

```

```

        title(['Interpolated signal, task ',
num2str(3), '.', num2str(j)])
        ylabel('Euclidian distance between point of gaze
and origin')
        xlabel('Task duration')
        xlim([0 5])
        ylim([0 1.5])
    end

% ***** index positions *****

positions_targets = [];
for i = 1 : 10
    if(trajectories.segment_3{j}(i,3) == 1)
        positions_targets = [positions_targets i];
    end
end

% ***** coordinates *****

X_targets = {[], [], []};
Y_targets = {[], [], []};

for i = 1 : 300
    for k = 1 : 3
        X_targets{k} = [X_targets{k}
trajectories.segment_3{j}(positions_targets(k),4)];
        Y_targets{k} = [Y_targets{k}
trajectories.segment_3{j}(positions_targets(k),5)];
        positions_targets(k) = positions_targets(k) +
10;
    end
end

% ***** resample trajectories *****

X_targets_resamp = {[], [], []};
Y_targets_resamp = {[], [], []};

for k = 1 : 3
    [X_resamp, Y_resamp] =
resample_trajectory(X_targets{k}, Y_targets{k});
    X_targets_resamp{k} = X_resamp;
    Y_targets_resamp{k} = Y_resamp;
end

% *** calculate distance between targets, distractors and gaze ***

T1_time = 0; % target1 looking
T2_time = 0; % target2 looking
T3_time = 0; % target3 looking
TT_time = 0; % target - target switching
C_time = 0; % centroid looking
CT_time = 0; % centroid - target switching
SC_time = 0; % screen center looking
SCT_time = 0; % screen center - target switching

```

```

previous_min = [];

for i = 1 : length(XG_interp)

    %calculate centroid
    temp_centroid = [];
    temp_centroid =
CalcCentroid(X_targets_resamp{1}(i), X_targets_resamp{2}(i),
X_targets_resamp{3}(i), Y_targets_resamp{1}(i),
Y_targets_resamp{2}(i), Y_targets_resamp{3}(i));

    t1 = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] -
[X_targets_resamp{1}(i) Y_targets_resamp{1}(i)]);
    t2 = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] -
[X_targets_resamp{2}(i) Y_targets_resamp{2}(i)]);
    t3 = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] -
[X_targets_resamp{3}(i) Y_targets_resamp{3}(i)]);
    c = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] -
[temp_centroid(1) temp_centroid(2)]);
    sc = norm([XG_interp(i) YG_interp(i)] - [0.5
0.5]);

    temp_min = [];
    temp_min = [t1 t2 t3 c sc];
    min_value = min(temp_min);

    if(min_value == t1 && t1 < 0.25)
        if(strcmp(previous_min, 'target1'))
            T1_time = T1_time + 1/150;
        elseif(strcmp(previous_min, 'target2') ||
strcmp(previous_min, 'target3'))
            TT_time = TT_time + 1/150;
        elseif(strcmp(previous_min, 'centroid'))
            CT_time = CT_time + 1/150;
        elseif(strcmp(previous_min, 'screenCenter'))
            SCT_time = SCT_time + 1/150;
        end
        previous_min = 'target1';
    elseif(min_value == t2 && t2 < 0.25)
        if(strcmp(previous_min, 'target2'))
            T2_time = T2_time + 1/150;
        elseif(strcmp(previous_min, 'target1') ||
strcmp(previous_min, 'target3'))
            TT_time = TT_time + 1/150;
        elseif(strcmp(previous_min, 'centroid'))
            CT_time = CT_time + 1/150;
        elseif(strcmp(previous_min, 'screenCenter'))
            SCT_time = SCT_time + 1/150;
        end
        previous_min = 'target2';
    elseif(min_value == t3 && t3 < 0.25)
        if(strcmp(previous_min, 'target3'))
            T3_time = T3_time + 1/150;
        elseif(strcmp(previous_min, 'target2') ||
strcmp(previous_min, 'target1'))
            TT_time = TT_time + 1/150;

```

```

elseif(strcmp(previous_min, 'centroid'))
    CT_time = CT_time + 1/150;
elseif(strcmp(previous_min, 'screenCenter'))
    SCT_time = SCT_time + 1/150;
end
previous_min = 'target3';
elseif(min_value == c && c < 0.25)
    if(strcmp(previous_min, 'centroid'))
        C_time = C_time + 1/150;
elseif(strcmp(previous_min, 'target1') ||
strcmp(previous_min, 'target2') || strcmp(previous_min, 'target3'))
        CT_time = CT_time + 1/150;
end
previous_min = 'centroid';
elseif(min_value == sc && sc < 0.25)
    if(strcmp(previous_min, 'screenCenter'))
        SC_time = SC_time + 1/150;
elseif(strcmp(previous_min, 'target1') ||
strcmp(previous_min, 'target2') || strcmp(previous_min, 'target3'))
        SCT_time = SCT_time + 1/150;
end
previous_min = 'screenCenter';
end
end

% ***** plot gaze and relevant dots *****

if (trackingPlot == 1)
figure
for i = 1 : length(XG_interp)
    hold on
    plot(X_targets_resamp{1}(i),
Y_targets_resamp{1}(i), 'ro', X_targets_resamp{2}(i),
Y_targets_resamp{2}(i), 'go', X_targets_resamp{3}(i),
Y_targets_resamp{3}(i), 'co', XG_interp(i), YG_interp(i), 'bo')
    set(gca, 'YDir', 'reverse')
    xlim([-0.1 1.1])
    ylim([-0.1 1.1])
    F(i) = getframe;
end
title(['Task ', num2str(3), '.', num2str(j)])
xlabel('x coordinate')
ylabel('y coordinate')
end

seg3.Target1_time = [seg3.Target1_time T1_time];
seg3.Target2_time = [seg3.Target2_time T2_time];
seg3.Target3_time = [seg3.Target3_time T3_time];
seg3.TargetToTarget_time = [seg3.TargetToTarget_time
TT_time];
temp = T1_time + T2_time + T3_time + TT_time;
seg3.TargetToTargetSwitching =
[seg3.TargetToTargetSwitching temp];
seg3.Centroid_time = [seg3.Centroid_time C_time];
seg3.CentroidToTarget_time =
[seg3.CentroidToTarget_time CT_time];

```

```

        temp = C_time + CT_time;
        seg3.CentroidLooking = [seg3.CentroidLooking temp];
        seg3.ScreenCenter_time = [seg3.ScreenCenter_time
SC_time];
        seg3.ScreenCenterToTarget_time =
[seg3.ScreenCenterToTarget_time SCT_time];
        temp = SC_time + SCT_time;
        seg3.ScreenCenterLooking = [seg3.ScreenCenterLooking
temp];
    end
end

```

### Obrada algoritma za obje grupe:

```

function [s1, s2, s3] = Strategies(trajectories, names, gaze,
event)

```

```

    strategy_s2 = containers.Map;
    strategy_s3 = containers.Map;
    Target_time_all = [];
    s2_TargetToTargetSwitching_all = [];
    s2_CentroidToTargetSwitching_all = [];
    s2_ScreenCenterToTargetSwitching_all = [];
    s3_TargetToTargetSwitching_all = [];
    s3_CentroidToTargetSwitching_all = [];
    s3_ScreenCenterToTargetSwitching_all = [];

    s1.Target_TimeAverage = 0;
    s2.TargetToTargetSwitching_AverageTime = 0;
    s2.CentroidToTargetSwitching_TimeAverage = 0;
    s2.ScreenCenterToTargetSwitching_TimeAverage = 0;
    s3.TargetToTargetSwitching_AverageTime = 0;
    s3.CentroidToTargetSwitching_TimeAverage = 0;
    s3.ScreenCenterToTargetSwitching_TimeAverage = 0;

    for i = 1 : length(names)
        [target_time_segment1, strategy_s2(names{i}),
strategy_s3(names{i})] = VisualCognitiveTasks(trajectories,
names{i}, gaze, event, 0, 0);
        Target_time_all(i) = mean(target_time_segment1);
        if(~isempty(strategy_s2(names{i}).Target1_time))
            temp =
mean(strategy_s2(names{i}).Target1_time) +
mean(strategy_s2(names{i}).Target2_time) +
mean(strategy_s2(names{i}).Target3_time) +
mean(strategy_s2(names{i}).TargetToTarget_time);
            s2_TargetToTargetSwitching_all =
[s2_TargetToTargetSwitching_all temp];
            temp =
mean(strategy_s2(names{i}).Centroid_time) +
mean(strategy_s2(names{i}).CentroidToTarget_time);

```

```

                s2_CentroidToTargetSwitching_all =
[s2_CentroidToTargetSwitching_all temp];
                temp =
mean(strategy_s2(names{i}).ScreenCenter_time) +
mean(strategy_s2(names{i}).ScreenCenterToTarget_time);
                s2_ScreenCenterToTargetSwitching_all =
[s2_ScreenCenterToTargetSwitching_all temp];
            end
            if(~isempty(strategy_s3(names{i}).Target1_time))
                for j = 1 :
length(strategy_s3(names{i}).Target1_time)
                    temp =
mean(strategy_s3(names{i}).Target1_time) +
mean(strategy_s3(names{i}).Target2_time) +
mean(strategy_s3(names{i}).Target3_time) +
mean(strategy_s3(names{i}).TargetToTarget_time);
                    s3_TargetToTargetSwitching_all =
[s3_TargetToTargetSwitching_all temp];
                    temp =
mean(strategy_s3(names{i}).Centroid_time) +
mean(strategy_s3(names{i}).CentroidToTarget_time);
                    s3_CentroidToTargetSwitching_all =
[s3_CentroidToTargetSwitching_all temp];
                    temp =
mean(strategy_s3(names{i}).ScreenCenter_time) +
mean(strategy_s3(names{i}).ScreenCenterToTarget_time);
                    s3_ScreenCenterToTargetSwitching_all =
[s3_ScreenCenterToTargetSwitching_all temp];
                end
            end
        end

        col=@(x) reshape(x,numel(x),1);

boxplot2=@(C,varargin)boxplot(cell2mat(cellfun(col,col(C),'uni',0)
),cell2mat(arrayfun(@(I)I*ones(numel(C){I}),1),col(1:numel(C)),'uni
','0)),varargin{:});

        figure
        boxplot2({s2_TargetToTargetSwitching_all,
s2_CentroidToTargetSwitching_all,
s2_ScreenCenterToTargetSwitching_all},'Labels',{'Target-Target
Switching','Centroid Looking','ScreenCenter Looking'})
%     title('Students / Segment 2 [100%]')
%     title('Students / Segment 2 [with errors]')
        title('ATC / Segment 2 [100%]')
%     title('ATC / Segment 2 [with errors]')
        xlabel('Strategies')
        ylabel('Task time')

        figure
        boxplot2({s3_TargetToTargetSwitching_all,
s3_CentroidToTargetSwitching_all,
s3_ScreenCenterToTargetSwitching_all},'Labels',{'Target-Target
Switching','Centroid Looking','ScreenCenter Looking'})
%     title('Students / Segment 3 [100%]')

```

```

%     title('Students / Segment 3 [with errors]')
title('ATC / Segment 3 [100%]')
%     title('ATC / Segment 3 [with errors]')
xlabel('Strategies')
ylabel('Task time')

s1.Target_TimeAverage = mean(Target_time_all);
s2.TargetToTargetSwitching_AverageTime =
mean(s2_TargetToTargetSwitching_all);
s2.CentroidToTargetSwitching_TimeAverage =
mean(s2_CentroidToTargetSwitching_all);
s2.ScreenCenterToTargetSwitching_TimeAverage =
mean(s2_ScreenCenterToTargetSwitching_all);
s3.TargetToTargetSwitching_AverageTime =
mean(s3_TargetToTargetSwitching_all);
s3.CentroidToTargetSwitching_TimeAverage =
mean(s3_CentroidToTargetSwitching_all);
s3.ScreenCenterToTargetSwitching_TimeAverage =
mean(s3_ScreenCenterToTargetSwitching_all);
end

```

# Popis slika i tablica

<b>SLIKA 1.1</b> VIDNI KUT (PREUZETO S: <a href="https://www.researchgate.net/publication/33692093_EYES_IN_ATTENTIVE_INTERFACES_EXPERIENCES_FROM_CREATING_IDICT_A_GAZE-AWARE_READING_AID/FIGURES?LO=1">HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/33692093_EYES_IN_ATTENTIVE_INTERFACES_EXPERIENCES_FROM_CREATING_IDICT_A_GAZE-AWARE_READING_AID/FIGURES?LO=1</a> , SVIBANJ 2019.).....	5
<b>SLIKA 1.2</b> Ljudsko oko (PREUZETO S: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_en.svg">HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/FILE:SCHEMATIC_DIAGRAM_OF_THE_HUMAN_EYE_EN.SVG</a> , SVIBANJ 2019.) .....	6
<b>SLIKA 1.3</b> UNUTRAŠNJI GLATKI MIŠIĆI (PREUZETO S: <a href="https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=JESUS24968&amp;logNo=221218754525&amp;proxyReferer=HTPS%3A%2F%2FWWW.GOOGLE.COM%2F">HTTPS://M.BLOG.NAVER.COM/POSTVIEW.NHN?BLOGID=JESUS24968&amp;LOGNO=221218754525&amp;PROXYREFERER=HTPS%3A%2F%2FWWW.GOOGLE.COM%2F</a> , SVIBANJ 2019.) .....	8
<b>SLIKA 1.4</b> VANJSKI GORNJI I DONJI KOSI, GORNJI I DONJI RAVNI TE LATERALNI I MEDIJALNI RAVNI MIŠIĆI – POGLED SPRIJEDA .....	8
<b>SLIKA 1.5</b> MIŠIĆI POKRETAČI OČNE JABUČICE (PREUZETO S: <a href="https://hr.wikipedia.org/wiki/Kretnje_o%27C4%8Diju">HTTPS://HR.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/KRETNJE_O%27C4%8DIJU</a> , SVIBANJ 2019.) .....	9
<b>SLIKA 1.6</b> OKULOMOTORNI ŽIVAC - KRANIJALNI ŽIVAC III (PREUZETO S: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cranial_nerve_III_visceral.svg">HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:CRANIAL_NERVE_III_VISCERAL.SVG</a> , SVIBANJ 2019.).....	10
<b>SLIKA 1.7</b> ILUSTRACIJA SIMPATIČKIH (CRVENIH) I PARASIMPATIČKIH (ZELENIH) PUTOVA KOJI KONTROLIRAJU PROMJER ZJENICE (MCDUGAL & GAMLIN, 2011). .....	11
<b>SLIKA 1.8</b> DIJELOVI MOZGA UKLJUČENI U OKULOMOTORNI SUSTAV I VIZUALNU PERCEPCIJU (PREUZETO S: <a href="http://www.opt.indiana.edu/v665/CD/CD_VERSION/CH14/CH14.HTM">HTTP://WWW.OPT.INDIANA.EDU/V665/CD/CD_VERSION/CH14/CH14.HTM</a> , SVIBANJ 2019.).....	11
<b>SLIKA 1.9</b> LOCUS COERULEUS (GILZENRAT, NIEUWENHUIS, JEPMA, & COHEN, 2010) .....	12
<b>SLIKA 1.10</b> GRAFIČKI PRIKAZ OKULOMETRIJSKIH ZNAČAJKI PREUZETIH IZ (SLUGANOVIĆ, ROESCHLIN, RASMUSSEN, I MARTINOVIĆ, 2016) .....	13
<b>SLIKA 2.1</b> PRIKAZ VREMENSKOG RASPOREDA TRAJANJA SEGMENTA (ĆOSIĆ, POPOVIĆ, ŠARLIJA, MIJIĆ, KOKOT & KESEDŽIĆ, 2019) .....	16
<b>SLIKA 2.2</b> VIZUALIZACIJA SEGMENTA REFLEKSNOG PRAĆENJA TOČKE (ĆOSIĆ, POPOVIĆ, ŠARLIJA, MIJIĆ, KOKOT & KESEDŽIĆ, 2019) .....	17
<b>SLIKA 2.3</b> DETALJNI PRIKAZ SADRŽAJA SEGMENTA REFLEKSNOG PRAĆENJA TOČKE (ĆOSIĆ, POPOVIĆ, ŠARLIJA, MIJIĆ, KOKOT & KESEDŽIĆ, 2019) .....	17
<b>SLIKA 2.4</b> DETALJNI PRIKAZ SADRŽAJA SEGMENTA VIZUALNO KOGNITIVNIH ZADATAKA (ĆOSIĆ, POPOVIĆ, ŠARLIJA, MIJIĆ, KOKOT & KESEDŽIĆ, 2019).....	19
<b>SLIKA 3.1</b> GAZEPOINT GP3 HD (PREUZETO S: <a href="https://www.gazept.com/">HTTPS://WWW.GAZEPT.COM/</a> , SVIBANJ 2019.).....	20
<b>SLIKA 3.2</b> GAZEPOINT CONTROL SOFTVER (PREUZETO IZ [7]) .....	22
<b>SLIKA 3.3</b> IZVORNI (LIJEVO) VS INTERPOLIRANI (DESNO) SIGNAL POGLEDA.....	29
<b>SLIKA 3.4</b> VIZUALNO KOGNITIVNI ZADACI – PRIKAZ POLOŽAJA POGLEDA I TRAJEKTORIJA .....	30
<b>SLIKA 4.1</b> ZNAČAJKE FIKSACIJA: A) TRAJANJE FIKSACIJA, B) PODRUČJE FIKSACIJA (ĆOSIĆ, POPOVIĆ, ŠARLIJA, MIJIĆ, KOKOT & KESEDŽIĆ, 2019) .....	34



<b>SLIKA 4.2</b> ZNAČAJKE SAKADA: A) VRŠNA BRZINA SAKADE, B) VRŠNO UBRZANJE SAKADE, C) ODSUPANJE SAKADE (ĆOSIĆ, POPOVIĆ, ŠARLIJA, MIJIĆ, KOKOT & KESEDŽIĆ, 2019) .....	35
<b>SLIKA 4.3</b> USPIJEŠNOST OBAVLJANJA VIZUALNO KOGNITIVNIH ZADATAKA (ĆOSIĆ, POPOVIĆ, ŠARLIJA, MIJIĆ, KOKOT & KESEDŽIĆ, 2019) .....	36
<b>SLIKA 4.4</b> KORIŠTENE STRATEGIJE KONTROLORA ZRAČNOG PROMETA .....	38
<b>SLIKA 4.5</b> KORIŠTENE STRATEGIJE STUDENATA .....	39
<b>SLIKA 4.6</b> POLOŽAJI POGLEDA I TRAJEKTORIJA ZA NASUMIČNOG KANDIDATA LIJEVO: DRUGI ZADATAK DRUGOG SEGMENTA; DESNO: DRUGI ZADATAK TREĆEG SEGMENTA .....	39
<b>TABLICA 1</b> OKULOMETRIJSKE ZNAČAJKE .....	14
<b>TABLICA 2</b> <i>EVENT</i> DATOTEKA .....	24
<b>TABLICA 3</b> <i>LOG</i> DATOTEKA.....	25
<b>TABLICA 4</b> SNIMLJENE TRAJEKTORIJE .....	27
<b>TABLICA 5</b> DRUGI SEGMENT, 100%-TNI ZADACI .....	37
<b>TABLICA 6</b> DRUGI SEGMENT, ZADACI S GREŠKAMA .....	37
<b>TABLICA 7</b> TREĆI SEGMENT, 100%-TNI ZADACI.....	37
<b>TABLICA 8</b> TREĆI SEGMENT, ZADACI S GREŠKAMA .....	37
<b>TABLICA 9</b> REZULTATI ZADATAKA ZA NASUMIČNOG KANDIDATA.....	40