Primena veštačke inteligencije za analizu interakcije između čoveka i računara i procenu kognitivnih performansi

By Miloš Antonijević

WORD COUNT 27231
TIME SUBMITTED 04-MAY-2020 09:24AM
PAPER ID 58276099

UNIVERZITET SINGIDUNUM
BEOGRAD
DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE

DOKTORSKA DISERTACIJA

Primena veštačke inteligencije za analizu interakcije između čoveka i računara i procenu kognitivnih performansi

MENTOR:
Prof. dr Aleksandar Jevremović

STUDENT:
Miloš Antonijević
460039/2016

Beograd, 2020.god.

Članovi komisije koji su pregledali rad i odobrili odbranu:

Prof. dr Aleksandar Jevremović

_____

Prof. dr Mladen Veinović

_____

Prof. dr Ivan Čorbev

_____

APSTRAKT

Proučavanje interakcije između čoveka i računara podrazumeva pristup koji se zasniva na više naučnih disciplina i oblasti, kao što su računarske nauke, psihologija, sociologija, kognitivne nauke, dizajn i sl. Moderni interfejsi preko kojih se obavlja interakcija omogućavaju korišćenje velikog broja različitih senzora (miša, tastature, uređaja za praćenje pogleda, elektroencefalografije (EEG), uređaja za praćenje pulsa, otkucaja srca itd.). Predmet ovog istraživanja je interakcija između čoveka i računara, odnosno mogućnost primene veštačke inteligencije za njenu analizu i procenu kognitivnih performansi ispitanika. Zbog brzine analiziranja podataka koja daleko nadmašuje mogućnosti obrade od strane ljudi, ovakav sistem je u mogućnosti da u realnom vremenu šalje povratnu informaciju korisniku, čime postaje aktivni učesnik interakcije.

Mogućnost razvoja modela veštačke inteligencije za prikupljanje i analizu podataka o interakciji između čoveka i računara demonstrirana je na primeru četiri eksperimenta procene kognitivnih performansi ispitanika kroz neuropsihološke testove - *Wisconsin Card Sorting Test (WSCT)*, *Visual Short Term Working Memory Test (VSTWMT)*, *mTutor Test* i *AC Test*. Za potrebe svakog pojedinačnog eksperimenta razvijena je posebna klijentska aplikacija, sa mogućnošću povezivanja sa senzorskim aplikacijama putem sinhronizacijske platforme (*HCI-MAP*). Za prikupljanje podataka o interakciji između čoveka i računara korišćeni su podaci sa tri senzora: EEG uređaja, uređaja za praćenje pogleda i računarskog miša. Kako bi se omogućila agregacija i kasnija zajednička obrada podataka o celokupnoj interakciji, za komunikaciju sa EEG uređajem i uređajem za praćenje pogleda napisane su nezavisne senzorske aplikacije.

Rezultati našeg istraživanja koji se odnose na postignuće ispitanika na računarskoj verziji *WCS* testa pokazuju da je broj postignutih kategorija kod naših ispitanika sa izvesnim odstupanjem u odnosu na referentne vrednosti, zatim, da postoji značajno odstupanje rezultata ispitanika u odnosu na referentne vrednosti u broju pokušaja do postizanja prve kategorije. Takođe, broj perseverativnih odgovora naših ispitanika je ispod normativnih vrednosti, ali ne postoje značajna odstupanja kod grešaka u održanju seta.

Vizualna kratkoročna memorija (engl. *Visual short term memory*) se definiše kao sposobnost zadržavanja male količine vizualnih informacija (oblici, boje, itd.) tokom kratkog vremenskog perioda. *VSTM* je deo kratkoročne memorije, koja može da zadržava informacije do 30 sekundi. Eksperiment je sproveden kroz dve sesije merenja. U prvoj sesiji ispitanici su se nalazili u izolovanom okruženju, a u drugoj u prisustvu publike. Klasifikacija EEG podataka je izvršena korišćenjem četiri algoritma: *Naive Bayes*, *Support Vector*, *KNN*, i *Random Forest*. Dobijeni rezultati pokazuju da je

moguće ispravno klasifikovati redosled prikazivanja slike u 90.12% slučajeva, a vrstu prikazane slike u 90.51% slučajeva.

Cilj eksperimenta sa elektronskim testiranjem znanja putem *mTuror* platforme bio je pronalaženje modela za primenu veštačke inteligencije koji bi omogućio da elektronska procena znanja u što većoj meri oslikava realno znanje ispitanika. Iako nije otkrivena snažna korelacija između bilo kog individualnog parametra i preciznosti odgovora može se zaključiti da je moguće uticati na emotivno stanje ispitanika ubacivanjem odgovora određenog tipa. Tako, stres se može umanjiti ubacivanjem pitanja zabavnog karaktera sa očiglednim tačnim odgovorom. Interesovanje se može povećati korišćenjem lakih pitanja, a fokusiranost studenta može povratiti korišćenjem nemogućih pitanja, bez tačnog odgovora.

AC test se koristi za procenu stepena pažnje, odnosno, sposobnosti isticanja važnih stimulusa u odnosu na ometajuće nadražaje. Visok nivo korelacije između položaja pogleda i položaja kursora miša pruža mogućnost aproksimacije interakcije detektovane preko jednog senzora uz pomoć analiziranih podataka sa drugog. Upoređivanjem podataka o lokaciji i pomeranju pogleda sa podacima o kretanju miša, može se zaključiti da je u slučaju *AC* testa postojeći nivo korelacije visok, naročito na koordinatama slova koja je ispitanik precrtavao.

Opšti zaključak sprovedenih istraživanja je da je moguće koristiti veštačku inteligenciju za analizu interakcije između čoveka i računara i da će se njenom primenom ostvariti približni ili bolji rezultati od onih u kojima analizu vrši čovek. Moguće je primeniti distribuirana rešenja za sinhronizaciju i pružanje povratne informacije od sistema u realnom vremenu. Automatizovanom analizom dobijenih rezultata od strane veštačke inteligencije moguća je procena kognitivnih performansi korisnika.

ABSTRACT

Human-computer interaction research involves an approach that is based on multiple scientific disciplines and fields, such as computer science, psychology, sociology, cognitive sciences, design, etc. The modern interfaces through which the interaction takes place allow the use of a large number of different sensors (mouse, keyboard, gaze (eyetracker) monitor, electroencephalography (EEG), pulse monitor, heart rate, etc.). The subject of this research is human-computer interaction, that is, the ability to apply artificial intelligence to its analysis and assessment of respondents' cognitive performance. Due to the speed of data analysis that far exceeds the processing capabilities of humans, this system is able to send feedback to the user in real time, thereby becoming an active participant in the interaction.

The possibility of developing an artificial intelligence model for collecting and analyzing human-computer interaction data was demonstrated on the example of four cognitive performance assessments of subjects through neuropsychological tests - Wisconsin Card Sorting Test (WSCT), Visual Short Term Working Memory Test (VSTWMT), mTutor Test and the AC Test. A separate client application was developed for each individual experiment, with the ability to connect to sensor applications via the Synchronization Platform (HCI-MAP). Three sensors were used to collect human-computer interaction data: an EEG device, a eye tracking device, and a computer mouse. In order to allow for aggregation and subsequent joint processing of data on the entire interaction, independent sensor applications have been written to communicate with the EEG and the eye tracking device.

The results of our research related to the achievement of participants on the computer version of WCS test show a certain deviation from the reference values in the number of achieved categories in our participant group. There is, also, a significant deviation of the results of the participant results with respect to the reference values in the number of attempts to achieve the first category. Further, the number of perseverative responses of our participants is below the normative values, but there are no significant discrepancies in errors in maintaining set.

Visual short-term memory (VSTM) is defined as the ability to remember a small amount of visual information, such as colors and shapes, during a short period of time. VSTM is a part of short-term memory, which can hold information up to 30 seconds. The experiment was conducted through two measurement sessions. In the first session, the respondents were in an isolated environment and in the second in the presence of the audience. The classification of the EEG data was done by using four algorithms: Naive Bayes, Support Vector, KNN, and Random Forest. The results show that we

were able to correctly classify the order of the images presented 90.12% of the time and type of the displayed image 90.51% of the time.

The aim of the experiment with electronic assesment through the mTuror platform was to find a model for the application of artificial intelligence that would allow the electronic assessment of knowledge to reflect as much as possible the real knowledge of the respondents. Although no strong correlation was found between any individual parameter and response accuracy, it can be concluded that it is possible to influence the emotional state of the subjects by inserting a particular type of questions. Thus, stress can be reduced by inserting a fun question with an obvious correct answer. Interest can be increased by using easy questions, and student focus can be restored by using impossible questions, without correct answer.

The AC test is used to assess the degree of attention, that is, the ability to highlight important stimuli in relation to distracting stimuli. The high level of correlation between the gaze position and the mouse cursor position provides an opportunity to approximate the interaction of one sensor with the help of the analyzed data from the other. By comparing the gaze data with the mouse movement data, it can be concluded that, in the case of the AC test, the existing level of correlation is high, especially at the letter coordinates that the subject crossed out.

The overall conclusion of the conducted research is that it is possible to use artificial intelligence to analyze human-computer interaction, and that its application will produce close or better results than those in which human analysis is performed. Distributed solutions can be implemented to synchronize and provide real-time feedback from the system. An automated analysis conducted by artificial intelligence can assess the cognitive performance of users.

ZAHVALNOST

Zahvaljujem Bogu na podarenoj snazi, porodici na strpljenju i podršci i mentoru i kolegama na nesebičnoj pomoći u izradi ove disertacije.

PREGLED TABELA

Tabela 1. Struktura učesnika eksperimenta 65

Tabela 2. Rezultati učesnika eksperimenta u odnosu na normativne vrednosti 80

Tabela 3. Postignuto vreme egzekutivnih funkcija učesnika eksperimenta 81

Tabela 4. Redosled prikazivanja slike, rezultati KNN klasifikatora (k = 1) - sa svojstvom vremenskog perioda kao atributom 86

Tabela 5. Redosled prikazivanja slike, rezultati Random forest klasifikatora - sa svojstvom vremenskog perioda kao atributom 87

Tabela 6. Redosled prikazivanja slike, rezultati KNN klasifikatora (k = 1) - bez vremenskog perioda kao atributa 87

Tabela 7. Vrsta slike, rezultati KNN klasifikatora (k = 1) - sa svojstvom vremenskog perioda kao atributom 89

Tabela 8. Vrsta slike, rezultati Random forest klasifikatora - sa svojstvom vremenskog perioda kao atributom 89

Tabela 9. Vrsta slike, rezultati KNN klasifikatora (k = 1) - bez svojstva vremenskog perioda kao atributa (isključivo na osnovu EEG podataka) 90

Tabela 10. Tačnost odgovora, rezultati KNN klasifikatora (k = 3) 92

Tabela 11. Poređenje prosečnih vrednosti svojstava za klase PRVA i DRUGA .. 93

Tabela 12. Poređenje prosečnih vrednosti svojstava za klase SLIKA A i SLIKA B 94

Tabela 13. Poređenje prosečnih vrednosti svojstava za klase GLEDANjE SLIKE i klasa TAČAN i NETAČAN odgovor 95

Tabela 14. Poređenje prosečnih vrednosti svojstava za klase TAČAN i NETAČAN odgovor 95

Tabela 15. Srednje vrednosti emotivnih stanja za različite tipove pitanja .. 96

Tabela 16. Rezultati ispitanika u odnosu na parametre za evaluaciju AC testa 100

Tabela 17. Aritmetičke sredine emotivnih osobina ispitanika u toku AC testa (AS - aritmetička sredina, SD - standardna devijacija) 102

PREGLED SLIKA

Slika 1. Nelinearna zavisnost veličine objekta i lakoće korišćenja 23

Slika 2. Primer stabla odlučivanja za odredivanje zlonamernih konkecija 33

Slika 3. Hiperravan i podržavajući vektori u dvodimenzionalnom prostoru 34

Slika 4. Višeslojna neuronska mreža sa prostiranjem unapred 37

Slika 5. Položaj i nazivi EMOTIV EPOC+ kanala 48

Slika 6. Mrežna organizacija "HCI-MAP" platforme 50

Slika 7. Osnovna arhitektura "HCI-MAP" platforme 51

Slika 8. Eksportovana animacija koja sadrži snimak ekrana, položaj pogleda (crveni krug) i kursora miša, kao i izmerene emotivne karakteristike (dijagram u gornjem desnom uglu) 52

Slika 9. Primer izračunavanja kašnjenja (NTP model) 53

Slika 10. Izgled "Kontrolne sobe" HCI-MAP platforme 54

Slika 11. Glavni prozor "MyEmotivator" aplikacije 55

Slika 12. Odabir željenog metoda skladištenja i slanja podataka 59

Slika 13. Izgled glavnog prozora "AyeEye" aplikacije 61

Slika 14. Osnovna stranica nakon odabira tačnog (levo) i netačnog (desno) odgovora 64

Slika 15. Grafikon sa EEG signalima prikupljenim tokom WCST sesije 64

Slika 16. Stranica za prikaz slike sa detaljima za memorisanje (slika A - levo i slika B - desno) 67

Slika 17. Stranica sa pitanjima o detaljima sa slike 68

Slika 18. Toplotna karta dobijena iz VSTWMT sesije 69

Slika 19. Primer vizualizacije EEG podataka prikupljenih tokom VSTWMT sesije 69

Slika 20. Učesnici sa EEG opremom u toku trajanja VSTWMT eksperimenta 70

Slika 21. mTutor platforma - Studentski interfejs 74

Slika 22. Ispitanici nose EEG opremu tokom mTutor eksperimenta 75

Slika 23. Izgled početnog ekrana ACT aplikacije 77

Slika 24. Izgled glavnog ekrana "A C testa" 78

Slika 25. Ispitanik sa EEG uređajem i uređajem za praćenje položaja pogleda u toku AC testa 79

Slika 26. Lokacije kliktanja miša u toku trajanja "A C testa" 79

Slika 27. Grafički prikaz vrednosti EEG performansi kod jednog ispitanika na početku WCS testiranja (Y osa - vrednosti EEG performansi, X osa - vreme u sekundama) 82

Slika 28. Grafički prikaz vrednosti EEG performansi kod jednog ispitanika kod perseverativnih grešaka (Y osa - vrednosti EEG performansi, X osa - vreme u sekundama) 83

Slika 29. Grafički prikaz vrednosti EEG performansi kod jednog ispitanika na kraju testa (Y osa - vrednosti EEG performansi, X osa - vreme u sekundama).....84

Slika 30. Korelacije između različitih parametara pitanja – tačnosti, vremena, zainteresovanosti, angažovanosti, stresa, opuštenosti i fokusiranosti 97
Slika 31. Ekran sa postignutim rezultatima koji sadrži vrednosti parametara za procenu efikasnosti 99
Slika 32. Snimak ekrana u toku reprodukcije sesije AC testa 103
Slika 33. Toplotna karta na osnovu podataka o lokaciji pogleda 104
Slika 34. Toplotna karta na osnovu podataka o lokaciji kursora miša 104
Slika 35. Vizualizacija korelicije između pogleda i miša 105
Slika 36. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku WSC eksperimenta 112
Slika 37. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 2. u toku WSC eksperimenta 112
Slika 38. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 3. u toku WSC eksperimenta 113
Slika 39. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 4. u toku WSC eksperimenta 113
Slika 40. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 5. u toku WSC eksperimenta 113
Slika 41. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 6. u toku WSC eksperimenta 114
Slika 42. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 7. u toku WSC eksperimenta 114
Slika 43. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 8. u toku WSC eksperimenta 114
Slika 44. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 9. u toku WSC eksperimenta 115
Slika 45. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 10. u toku WSC eksperimenta 115
Slika 46. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku VSTWM eksperimenta (Slika A) 116
Slika 47. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 2. u toku VSTWM eksperimenta (Slika A) 116
Slika 48. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 3. u toku VSTWM eksperimenta (Slika A) 117
Slika 49. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 4. u toku VSTWM eksperimenta (Slika A) 117
Slika 50. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 5. u toku VSTWM eksperimenta (Slika A) 117
Slika 51. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku VSTWM eksperimenta (Slika B) 118
Slika 52. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 2. u toku VSTWM eksperimenta (Slika B) 118
Slika 53. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 3. u toku VSTWM eksperimenta (Slika B) 119

Slika 54. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 4. u toku VSTWM eksperimenta (Slika B) 119
Slika 55. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 5. u toku VSTWM eksperimenta (Slika B) 119
Slika 56. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku mTutor eksperimenta 120
Slika 57. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 2. u toku mTutor eksperimenta 120
Slika 58. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 3. u toku mTutor eksperimenta 121
Slika 59. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 4. u toku mTutor eksperimenta 121
Slika 60. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 5. u toku mTutor eksperimenta 121
Slika 61. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 6. u toku mTutor eksperimenta 122
Slika 62. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 7. u toku mTutor eksperimenta 122
Slika 63. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 8. u toku mTutor eksperimenta 122
Slika 64. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 9. u toku mTutor eksperimenta 123
Slika 65. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 10. u toku mTutor eksperimenta 123
Slika 66. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku ACT eksperimenta 124
Slika 67. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 2. u toku ACT eksperimenta 124
Slika 68. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 3. u toku ACT eksperimenta 125
Slika 69. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 4. u toku ACT eksperimenta 125
Slika 70. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 5. u toku ACT eksperimenta 125
Slika 71. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 6. u toku ACT eksperimenta 126
Slika 72. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 7. u toku ACT eksperimenta 126
Slika 73. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 8. u toku ACT eksperimenta 126
Slika 74. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 9. u toku ACT eksperimenta 127
Slika 75. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 10. u toku ACT eksperimenta 127

SADRŽAJ

1 UVOD 14

1.1 Predmet i cilj istraživanja 15

1.2 Polazne hipoteze 17

1.3 Metode istraživanja 18

1.4 Naučni doprinos 19

1.5 Interakcija čovek-računar 19

1.5.1 Ficovi zakoni 20

1.5.1.1 Ficovi eksperimenti 21

1.5.1.2 Kasnije korekcije 22

1.5.2 Primena Ficovih zakona na dizajn korisničkog interfejsa 22

1.6 Kognitivne performanse 24

1.6.1 Teorijska osnova Wisconsin Card Sorting testa 26

1.6.2 Teorijska osnova Visual Short Term Working Memory testa 27

1.6.3 Teorijska osnova mTutor testa 29

1.6.4 Teorijska osnova AC testa 29

1.7 Veštačka inteligencija 30

1.7.1 Mašinsko učenje 32

1.7.1.1 Stabla odlučivanja 32

1.7.1.2 Support Vector Machine 34

1.7.1.3 K-najbližih suseda 35

1.7.1.4 Neuronske mreže 36

2 PREGLED OBLASTI 38

3 EKSPERIMENTI 44

3.1 Tehnologije 44

3.2 Uređaji / senzori 47

3.3 Platforma i senzorske aplikacije 49

3.3.1 HCI-MAP platforma 50

3.3.2 Senzorske aplikacije 54

3.3.2.1 MyEmotivator 55
3.3.2.2 AyeEye 60
3.4 Opis eksperimentalnog okruženja 62
3.4.1 Wisconsin Card Sorting test 62
3.4.1.1 WCST klijentska aplikacija..... 63
3.4.1.2 Opis WCST eksperimenta 65
3.4.2 Visual Short Term Working Memomy test 66
3.4.2.1 VSTWMT klijentska aplikacija 67
3.4.2.2 Opis VSTWMT eksperimenta 70
3.4.3 mTutor test 73
3.4.3.1 mTutor aplikacija 73
3.4.3.2 Opis eksperimenta sa elektronskom proverom znanja 74
3.4.4 AC test 76
3.4.4.1 ACT klijentska aplikacija 76
3.4.4.2 Opis ACT eksperimenta 78
4 ANALIZA REZULTATA 80
4.1 Rezultati Wisconsin Card Sorting testa 80
4.2 Rezultati Visual Short Term Working Memory testa 85
4.2.1 Rezultati klasifikacije 85
4.2.1.1 Redosled prikazivanja slike 86
4.2.1.2 Vrsta slike 88
4.2.1.3 Tačnost odgovora 91
4.2.2 Kvalitativna analiza 92
4.2.2.1 Redosled prikazivanja slike 93
4.2.2.2 Vrsta slike 94
4.2.2.3 Tačnost odgovora 94
4.3 Rezultati mTutor testa 96
4.4 Rezultati AC testa 98
5 ZAKLjUČAK 106
6 PRILOZI 109
7 LITERATURA 138

1 UVOD

Upotreba računarskih tehnologija podrazumeva neki oblik interakcije između čoveka i računara. Iz ovog razloga interakcija čovek-računar predstavlja nezaobilazan segment izučavanja u sferi informaciono-tehnoloških nauka. Proučavanje interakcije između čoveka i računara podrazumeva pristup koji se zasniva na više naučnih disciplina i oblasti, kao što su računarske nauke, psihologija, sociologija, kognitivne nauke, dizajn i sl. Moderni interfejsi preko kojih se obavlja interakcija omogućavaju korišćenje velikog broja različitih senzora (miša, tastature, uređaja za praćenje pogleda, elektroencefalografije (EEG), uređaja za praćenje pulsa, otkucaja srca itd.). Istovremena upotreba više senzora povećava preciznost i pouzdanost dobijenih rezultata [1]. Na primer, praćenje pokreta miša se može koristiti za detekciju ljudskih emocija ili stepena fokusiranosti [2,3], ali detekcija je pouzdanija ukoliko se u isto vreme koriste podaci dobijeni sa drugog senzora, npr. EEG uređaja [4].

Za prikupljanje, sinhronizaciju i obradu podataka sa senzora razvijena je *Human-Computer Interaction Monitoring and Analytics Platform* (*HCI-MAP*) [5]. Platforma podržava rad sa četiri senzora - EEG uređaja, *eye tracker* uređaja, uređaja za prepoznavanje izraza lica (Veb kamere) i praćenje pokreta miša. Povezivanje sa drugim senzorima se može jednostavno implementirati kroz otvoreni platformski interfejs. Osim senzora, korišćenjem istog interfejsa, platforma može da prikuplja informacije od korisničkih aplikacija. U ovom radu, fukcionalnost platforme demonstrirana je na primeru četiri korisničke Veb aplikacije.

Prva aplikacija korišćena za testiranje je *Wisconsin Card Sorting Test* (*WCST*), koja se primarno koristi za procenu sposobnosti apstrakcije kod testiranih subjekata.

Druga aplikacija je *Visual Short Term Working Memory Test* (*VSTWMT*) (vizualno testiranje kratkoročne radne memorije), čija je namena procena sposobnosti kratkoročne memorije ispitanika. Pod terminom "vizualna kratkoročna radna memorija" podrazumeva se način pamćenja vizualnih podataka u okviru određenog vremenskog intervala.

Treća aplikacija korišćena za prikupljanje podataka je platforma za elektronsko testiranje *mTutor*. Ona je realizovana u vidu Veb aplikacije koja omogućava elektronsku procenu znanja studenata upotrebom pitanja sa jednim (*single choice*) i više (*multiple choice*) tačnih odgovora.

Poslednja korišćena aplikacija je *AC Test* aplikacija implementirana primenom *HTML5*, *JavaScript* i *CSS* tehnologija. *AC Test* se koristi za ispitivanje vigilnost i fleksibilnost pažnje.

Istovremeno sa prikupljanjem rezultata testova sa korisničkih aplikacija, beležene su vrednosti sa korišćenih senzora - miša, EEG uređaja i *eye tracker* uređaja. U tu svrhu razvijene su dve senzorske aplikacije - *MyEmotivator* i *AyeEye*. *MyEmotivator* aplikacija je razvijena u svrhu pribavljanja i snimanja izmerenih vrednosti sa EEG uređaja i njihovo slanje *HCI-MAP* platformi na dalju obradu. Instalira se na mobilne (tablet) uređaje i koristi *Bluetooth SMART* standard za primanje EEG podataka i Internet (mrežnu) konekciju za slanje podataka na platformu. Sa druge strane, *AyeEye* aplikacija je dizajnirana u vidu desktop aplikacije i služi za povezivanje sa uređajem za praćenje pogleda preko *USB 3.0* računarskog porta.

Sinhronizovani podaci prikupljeni korišćenjem navedene platforme, senzorskih i korisničkih aplikacija upotrebljeni su za analizu interakcije između čoveka i računara. Primenom različitih algoritama veštačke inteligencije dobijeni su rezultati koji omogućavaju procenu kognitivnih sposobnosti korisnika.

1.1 Predmet i cilj istraživanja

Predmet ovog istraživanja je interakcija između čoveka i računara, odnosno mogućnost primene veštačke inteligencije za njenu analizu i procenu kognitivnih performansi ispitanika.

U zavisnosti od pristupa koji mogu biti centrirani oko ljudi ili oko racionalnosti, veštačka inteligencija se može definisati kao sistem koji razmišlja ili se ponaša kao čovek ili kao sistem koji razmišlja ili se ponaša racionalno [6].

Kognitivne sposobnosti (performanse) se definišu kao procedure koje ljudski mozak koristi za sticanje novih znanja i za donošenje odluka na osnovu stečenog znanja. Različite kognitivne funkcije igraju važnu ulogu u procesima percepcije, pažnje, memorije, rezonovanja itd. Svi navedeni kognitivni procesi rade zajedno na sticanju novog znanja i utiču na tumačenje i shvatanje sveta koji nas okružuje.

Cilj istraživanja je primeniti veštačku inteligenciju za automatizovanu obradu prikupljenih podataka o interakciji između čoveka i računara korišćenjem različitih senzora i na osnovu toga

izvršiti procenu kognitivnih sposobnosti ispitanika. U ovu svrhu korišćeni su podaci dobijeni sa tri senzora: EEG uređaja, eye tracker uređaja i računarskog miša.

Elektroencefalografija (*Electroencephalography - EEG*) predstavlja neinvazivni metod praćenja promene električnog napona moždanih neurona tokom određenog vremenskog intervala. Osim u medicinske svrhe (npr. za dijagnostifikovanje epilepsije), informacije dobijene na ovaj način se mogu koristiti u istraživanjima koja se tiču proučavanja reakcija ljudskog mozga u odnosu na specifične događaje koji se odigravaju u toku zadatih vremenskih okvira.

Praćenje pogleda (engl. *eye tracking*) je tehnika kojom se meri položaj pogleda ispitanika, tako da se iz prikupljenih podataka mogu odrediti tačne koordinate na koje se ispitanik fokusirao u datom trenutku i sekvenca pomeranja očiju tokom premeštanja fokusa pogleda sa jednog položaja na drugi [7]. Da bi odredili lokaciju pogleda, većina *eye tracker* uređaja meri relativni položaj zenice u odnosu na refleksiju rožnjače oka.

Događaji miša koji su od interesa za analizu su koordinate položaja miša u trenucima odvijanja aktivnosti na senzorima ili korisničkim aplikacijama i događaji pritiskanja tastera miša u trenucima kada korisnik obavlja određenu akciju u sklopu njegove interakcije sa računarom. Na osnovu prikupljenih podataka mogu se definisati različita svojstva dinamike korišćenja miša (ubrzanje, promena ugla, dužina držanja tastera itd.) koja se mogu koristiti u okviru šire analize ponašanja ispitanika u toku interakcije.

Ispitanik dobija povratnu informaciju od sistema putem monitora. Razvijena *HCI-MAP* platforma omogućava pružanje povratne informacije korisniku o obavljenoj interakciji ili prilagođavanje sadržaja koji se prikazuje ispitaniku.

1.2 Polazne hipoteze

Osnovna hipoteza je da je moguće koristiti veštačku inteligenciju za analizu interakcije između čoveka i računara i da će se njenom primenom ostvariti približni ili bolji rezultati od onih u kojima analizu vrši čovek.

Moguća je primena distribuiranih (*cloud*) rešenja sa ciljem dobijanja tačnih i blagovremenih rezultata (blagovremenih: pogodnih za upotrebu u realnom vremenu, za slanje povratne informacije,

optimizaciju itd.). Pogodnost distribuiranih sistema je što u kratkom vremenu mogu obraditi velike količine podataka (dobijenih od različitih senzora i aplikacija), što je naročito značajno kod sistema veštačke inteligencije koji zahtevaju visoke hardverske performanse za rad u realnom vremenu.

Analizom dobijenih rezultata veštačke inteligencije moguća je procena kognitivnih performansi učesnika. Sposobnost sistema veštačke inteligencije da razmišljaju kao čovek čini ih pogodnim za analizu rezultata testova kojima se vrši procena kognitivnih sposobnosti kod ljudi.

1.3 Metode istraživanja

U ovom radu primenjene su teorijske i eksperimentalne metode istraživanja.

Teorijska metoda modelovanja korišćena je za razvoj modela za prikupljanje, sinhronizaciju i obradu podataka o interakciji čoveka i računara. Teorijski model podrazumeva prikupljanje informacija o interakciji čoveka sa računarom na osnovu podataka sa više senzora i aplikacija preko kojih korisnik obavlja interakciju. Njegova implementacija omogućava prikazivanje obrađenih rezultata u formatima pogodnim za analizu od strane ljudi ili računara.

Jedan od osnovnih izazova predstavlja vremenska sinhronizacija prikupljenih podataka. Za potrebe korišćenja u sklopu teorijskog modela razvijen je mrežni protokol baziran na *Network Time Protocol* (*NTP*) protokolu [8], koji omogućava usklađivanje vremena dobijenih sa različitih vremenskih izvora u okruženjima u kojima postoji potencijalno kašnjenje u prenosu podataka.

Praktična implementacija razvijenog teorijskog modela za prikupljanje, sinhronizaciju i obradu podataka sa različitih senzora realizovana je u vidu *HCI-MAP* platforme. Platforma se sastoji od skupa modularnih Veb aplikacija i servisa koji za komunikaciju sa senzorima i drugim klijentskim aplikacijama koriste *HTTP(S)* protokol. Zbog svoje jednostavnosti, za format poruka koje se razmenjuju između platforme i klijentskih aplikacija odabran je *JSON* standard.

Komunikacija senzora sa platformom može biti direktna, kroz algoritme koji pretvaraju izvorne signale u oblik razumljiv za dalju obradu od strane platforme, ili posredna, preko dodatnih uređaja ili interfejsa. Tako, na primer, informacije o dinamici korišćenja miša se prikupljaju kroz aplikaciju instaliranu direktno na klijentskom računaru, dok se, sa druge strane, softver koji prikuplja podatke sa EEG uređaja nalazi na tablet uređaju, koji sa samim senzorom komunicira putem *Bluetooth* protokola.

Metoda naučnog eksperimenta primenjena je na grupi ispitanika na primeru različitih testova kognitivnih sposobnosti. Testovi su realizovani putem četiri različite Veb aplikacije - *Wisconsin Card Sorting Test*, *Visual Short Term Working Memory Test*, *mTutor* (*Electronic assesment*) i *AC Test*.

Analizom prikupljenjih podataka, primenom različitih statističkih metoda, razvijen je model veštačke inteligencije za procenu kognitivnih sposobnosti ispitanika.

1.4 Naučni doprinos

Naučni doprinos ovog rada se ogleda u razvijanju modela veštačke inteligencije za automatizaciju procesa prikupljanja i analize podataka dobijenih interakcijom čoveka i računara. Ovako razvijeni model omogućava obradu prikupljenih podataka sa ciljem procene kognitivnih sposobnosti ispitanika. Zbog brzine analiziranja podataka koja daleko nadmašuje mogućnosti obrade od strane ljudi, sistem može u realnom vremenu da šalje povratnu informaciju korisniku, čime postaje aktivni učesnik interakcije.

1.5 Interakcija čovek-računar

Korisnički interfejs predstavlja spregu preko koje korisnik obavlja komunikaciju sa hardverskim ili softverskim komponentama računara. Ficovi zakoni predstavljaju jedan od načina da se kvantitativno opiše interakcija između čoveka i okoline. Poznavanje pravila za dizajn funkcionalnog interfejsa omogućava realizaciju efikasne interakcije, pri čemu se minimalizuje broj, a time i efekat grešaka koje su posledica ljudskog faktora (korisnika) na dobijene rezulate.

1.5.1 Ficovi zakoni

Šenonova teorema o kapacitetu kanala [9] opisuje odnos između kapaciteta komunikacionog kanala, prosečne jačine primljenog signala, prosečnog nivoa šuma i propusnog opsega kanala na sledeći način:

$$C = Wlog_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

gde je:

C - informacioni kapacitet komunikacionog kanala

W - propusni opseg kanala

S - jačina signala

N - prosečni nivo šuma

Pol Fic je u svom radu [10] postavio hipotezu da je moguće napraviti adekvatnu analogiju između ljudskih pokreta i prenosa informacija kroz komunikacioni kanal [11]. Ako se pokretima dodeli **indeks težine** (u bitovima kao mernim jedinicama), onda se može reći da ljudski motorni sistem prenosi određeni broj bitova informacija. Pod pretpostavkom da je motorni sistem kod ljudi neidealni kanal kroz koji se prenosi signal ometen od strane šuma (koji ograničava informacioni kapacitet kanala), Fic je postavio jednačinu koja opisuje odnos između brzine, udaljenosti, i preciznosti izvođenja brzih ciljanih pokreta kod ljudi, poznatu kao Ficov zakon:

$$T = a + b \log2(2D / W)$$

gde je:

T - vreme pokreta za koje se dolazi do cilja

D - razdaljina od početne pozicije do sredine cilja

W - širina mete

a i b - empirijski određene konstante

Odnosno, vreme potrebno za izvođenje pokreta od početne pozicije do ciljanog objekta je manje ukoliko je objekat veći i na manjoj udaljenosti od početne pozicije.

1.5.1.1 Ficovi eksperimenti

Kako bi dokazao svoju teoriju, Fic je sproveo tri vrste eksperimenta. Prvi eksperiment je podrazumevao da učesnici olovkom naizmenično pritiskaju dve metalne pravougaone ploče [11,12].

Podešavajući veličinu ploča i rastojanje između njih, Fic je došao do rezultata na osnovu kojih je izračunao brzinu obrade informacija od strane ljudskog motornog sistema - *Performance Index* (*PI*).

Drugi eksperiment se sastojao od premeštanja plastičnih diskova sa rupama različitih dimenzija u sredini sa jedne na drugu iglicu. Slično kao i u prethodnom eksperimentu, menjajući veličinu rupa i rastojanje koje ruka ispitanika treba da pređe u procesu pomeranja diska, Fic je utvrdio odnos između indeksa težine (*ID*) i vremena (*T*) potrebnog da se pokret uspešno izvrši.

U trećem eksperimentu, od učesnika se zahtevalo da prebacuju iglice iz jedne rupe u drugu. Rezultati dobijeni promenama u širini iglica i rastojanju između rupa, potvrdili su da je moguće napraviti analogiju između jačine signala (u Šenonovoj teoremi) i razdaljine do cilja, kao i između nivoa šuma i širine mete i zatim posmatrati ljudske pokrete kao proces prenosa informacija kroz komunikacioni kanal (ljudski motorni sistem).

1.5.1.2 Kasnije korekcije

U kasnijim istraživanjima mnogi autori su predlagali različite varijacije osnovne Ficove jednačine. Jedna od najprihvaćenijih je Velfordova formulacija [11,13,14]:

$$T = a + b \log2(D / W + 0.5)$$

za koju i sam Fic svedoči da pruža bolju korelaciju između potrebnog vremena i indeksa težine [15].

Drugi istraživači predlažu korišćenje formule koja predstavlja direktniju analogiju sa Šenonovom teoremom:

$$T = a + b \log2(1 + D / W)$$

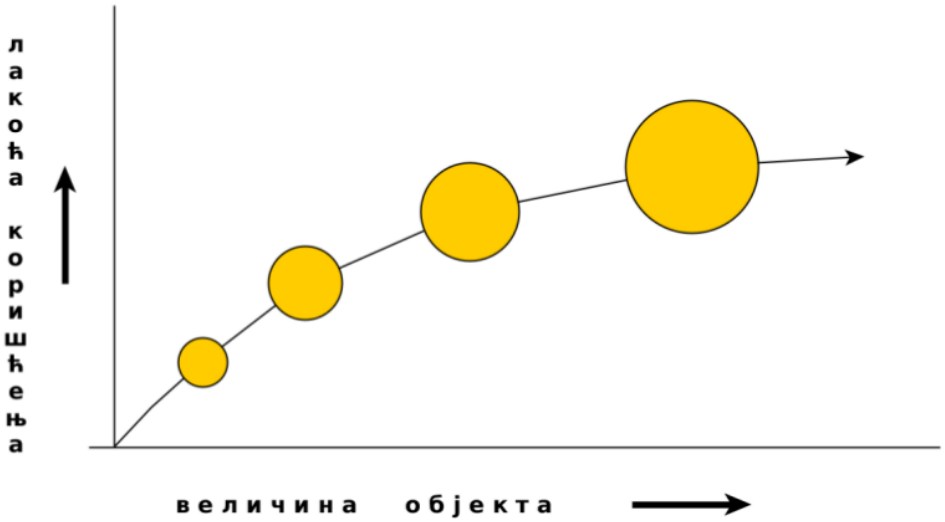
Osnovni razlozi za njenu primenu su: 1) postizanje bolje korelacije u odnosu na prethodne dve jednačine (originalne Ficove i Velfordove); 2) u potpunosti oponaša originalnu Šenonovu teoremu na kojoj se bazira Ficova jednačina; 3) vrednost indeksa težine (log2(1 + D / W)) ne može biti negativna [11,14].

1.5.2 Primena Ficovih zakona na dizajn korisničkog interfejsa

Korisnički interfejs predstavlja spregu preko koje korisnik obavlja komunikaciju sa hardverskim ili softverskim komponentama računara. U kontekstu interakcije čovek-računar, glavna primena Ficovog zakona je u izračunavanju i predviđanju vrednosti promenjivih koje su sadržane u njegovoj osnovnoj jednačini.

Druga primena Ficovog zakona u ovoj oblasti je u procesu procene i upoređivanja karakteristika uređaja za kontrolu kursora (pokazivača) [14,16], npr. računarskih miševa, tačpedova, tačskrin uređaja, džojstika itd. U ovom slučaju, umesto predviđanja vremena potrebnog za izvođenje pokreta, istraživači na osnovu nekoliko izmerenih vremenskih intervala određuju način na koji različiti uslovi utiču na koeficijente sadržane u jednačini Ficovog zakona.

Posmatranjem Ficovih zakona iz ugla dizajna korisničkog interfejsa može se doći do nekoliko značajnih zaključaka. Što je objekat širi (W), potrebno je manje vremena za ostvarivanje interakcije sa njim. Pri čemu treba naglasiti da je Ficova jednačina logaritamska funkcija, što podrazumeva nelinearnu zavisnost između širine objekta i lakoće korišćenja (Slika 1). Potrebno je imati u vidu da, iako je Ficov zakon vezan za širinu objekta, u dvodimenzionalnom prostoru njegovu visinu ne smemo zanemariti. Korisniku bi bilo gotovo nemoguće da pogodi objekat visine svega nekoliko piksela, pa je prilikom dizajna neophodno uzeti u obzir oblik objekta sa kojim korisnik ima interakciju.



Slika 1. Nelinearna zavisnost veličine objekta i lakoće korišćenja

Drugi značajan faktor u Ficovoj teoremi je rastojanje između početnog položaja i sredine objekta sa kojim se interakcija vrši. U skladu sa tim, neophodno je primeniti koncept kreiranja najkraćih putanji do akcija za koje je verovatnoća da će ih korisnik preduzeti najveća. Kada je reč o interfejsu koji se prikazuje na računarskom monitoru možemo govoriti o **primarnom** (engl. *prime*) i **magičnim** pikselima [17].

Primarni piksel predstavlja precizne koordinate trenutnog položaja kursora miša, odnosno početni položaj sa koga se obavlja akcija na ekranu. Jedan od najvažnijih izazova u dizajnu interfejsa je odrediti optimalne položaje objekata u odnosu na očekivani primarni piksel, tako da je korisniku potrebno što manje vremena da izvrši interakciju sa njima. Sa druge strane, potrebno je voditi računa da primena ovog koncepta ne dovede do sukoba sa drugim dizajnerskim principima, npr. sa principom grupisanja različitih funkcionalnosti ili sadržaja u odvojene vizualne celine.

Magični pikseli se odnose na položaje četiri piksela koji se nalaze u uglovima ekrana. Sa jedne strane, uglovima i ivicama je najjednostavnije pristupiti, jer predstavljaju granicu do koje se može obavljati kretanje kursorom miša po ekranu. Međutim, oni istovremeno predstavljaju najudaljenije položaje u odnosu na primarni piksel, što ih čini neaktraktivnim iz ugla brzine pristupa u skladu sa Ficovom formulom. Možemo zaključiti da, postavljanje ciljanog objekta na uglove i ivice ekrana ima smisla samo ukoliko objekat u sebi sadrži sam magični piksel.

Primena Ficovog zakona je neophodna u procesu kreiranja korisničkih interfejsa. U kombinaciji sa ostalim dizajnerskim principima doprinosi povećanju lakoće korišćenja i upotrebljivosti.

1.6 Kognitivne performanse

Kognitivne performanse (sposobnosti) se definišu kao procedure koje ljudski mozak koristi za sticanje novih znanja i za donošenje odluka na osnovu stečenog znanja. Kognitivna percepcija nam omogućava da organizujemo stimuluse koje primamo kroz različita čula - vid, sluh, ukus, miris i dodir, i tako razumemo svet oko sebe. Pažnja je kognitivni proces koji nam omogućava da se koncentrišemo na stimuluse ili aktivnosti kako bismo ih kasnije obradili. Pamćenje je kognitivna funkcija koja nam omogućava da kodiramo, sačuvamo i prisetimo se informacija iz prošlosti. Rezonovanje (misao) je osnovna funkcija svakog kognitivnog procesa čija je uloga da nam omogući da spojimo sve informacije koje smo primili kako bismo utvrdili vezu između događaja i znanja [18,19,20].

Egzekutivne (izvršne) funkcije predstavljaju sveobuhvatni pojam koji se koristi da bi se opisalo ka cilju usmereno ponašanje, koordinisana aktivacija mnogih kognitivnih procesa koji omogućavaju odgovor na nerutinske situacije [21]. Značaj egzekutivnih funkcija je u tome što utiču na različite svakodnevne aktivnosti, na samostalno funkcionisanje i uspostavljanje socijalnih relacija [22]. Novije koncepcije naglašavaju da ih nije moguće isključivo svesti na kognitivne procese, već da one obuhvataju i emocionalnu komponentu i ponašanje [23]. Bez njihove očuvanosti, osoba ne bi bila u stanju da izabere adekvatno ponašanje [24].

Kroz istoriju, neuropsihološka ispitivanja su se oslanjala na testove bazirane na papiru i olovci kako bi se procenile kognitivne sposobnosti. Ipak, poslednjih godina, sve veći broj istraživača koristi različite dostupne tehnologije kako bi unapredili efikasnost, pouzdanost i jednostavnost neuropsiholoških evaluacija [25].

Jedna od prednosti računarskog testiranja u odnosu na klasične testove je njihova ekonomičnost, obzirom da zahtevaju manje vremena za administraciju. Bodovanje je automatizovano, rezultati su trenutno dostupni i mogućnost greške ispitivača je minimalna.

Neuropsihološki testovi sa papirom i olovkom su ograničeni na upotrebu od strane treniranih neuropsihologa za obavljanje administracije i interpretacije rezultata za svaki pojedinačni test. Taj proces je skup i vremenski zahtevan. Ova činjenica je podstakla razvoj različitih formi računarskih testova kao relativno jeftine alternative standardnim testovima [26].

Napredak tehnologije pružio je mogućnost dobijanja vrednih informacija na osnovu izvršene evaluacije koje se ne mogu prikupiti putem papira i olovke, kao što su analiza pauzi, perservativnosti, vremena potrebnog za odgovor za svako pojedinačno merenje, koordinacije pogleda i ruke i sl.

1.6.1 Teorijska osnova Wisconsin Card Sorting testa

Wisconsin Card Sorting je test sortiranja karata i najpoznatiji test za otkrivanje perseverativnosti (ponavljanje motornih obrazaca) i mentalne rigidnosti. Prvenstveno je namenjen za procenu apstrakcije zdravih ispitanika. Sposobnost planiranja, predviđanja, implementacije namere i provera izvršenih akcija se procenjuju uz pomoć *WCS* testa [27].

Preko pedeset godina, *WCST* je jedan od najpopularnijih i najpriznatijih testova funkcija prefrontalnog korteksa. Brenda Milner, neuropsiholog sa Instituta za Neurologiju u Montrealu, predstavila je *WCST* kao test za procenu oštećenja mozga kod pacijenata [28]. U današnje vreme postoje najmanje dve različite verzije *WCST* testa [29] sa Milnerovom ispravkom [28] i skraćena verzija [30]. Kasnije, test je pretrpeo dodatne izmene, pa su tako nastale nove varijante testa [31] i [32].

U uobičajnoj verziji ovog testa subjektu se daju dva istovetna špila od 64 karte (128 karata) sa nacrtanim figurama: krst, krug, zvezda i trougao u crvenoj, zelenoj, žutoj i plavoj boji, dok je broj figura na karti od 1 do 4. Na jednoj karti su sve figure u istoj boji. Prezentuju se četiri stimulusne karte, prema kojima treba da se ređaju karte po špilovima, jedna po jedna ispod stimulusnih karata. Tako se ispod svake stimulusne karte ređaju karte iz špilova jedna preko druge (četiri gomile). Ispitanik treba da otkrije aktuelni princip sparivanja karata u odnosu na stimulusne karte iz špilova, a na osnovu povratne informacije ispitivača da li je u pitanju tačan ili pogrešan odgovor. Ocenjivanje se vrši u odnosu na nekoliko faktora kao što su: ukupan broj grešaka, ukupan broj tačnih odgovora, broj dostignutih kategorija, broj perseverativnih odgovora, broj pokušaja pre dostizanja prve

kategorije, broj neuspelih pokušaja da se održi skup itd. U kliničkom ispitivanju najvažniji rezultati su vrednosti uzastopnih odgovora i broj dostignutih kategorija.

U poređenju sa klasičnim oblikom rešavanja testa, "računarska verzija" ima nekoliko prednosti. Ispitanik gleda stimulusne karte i u odnosu na njih ponuđena karta treba da se upari sa jednom od njih. Uparivanje se vrši klikom miša na stimulusnu kartu za koju ispitnik smatra da je sa ponuđenom kartom po nekom osnovu slična. Ispitaniku se ne daju prevelika i detaljna uputstva za rešavanje testa, suština je da sam dođe do rešenja na osnovu povratne informacije u vidu (različitog) zvučnog i vizualnog signala koji će registrovati tačan i netačan odgovor. Prednost rešavanja putem računara je što se test radi brže, mada nije vremenski ograničen i to što ispitanika ne zbunjuju ostale karte koje okreće, jer nema mogućnost da se vrati na prethodnu kartu koju je koristio.

1.6.2 Teorijska osnova Visual Short Term Working Memory testa

Vizualna kratkoročna memorija (engl. *Visual short term memory*) se definiše kao sposobnost zadržavanja male količine vizualnih informacija (oblici, boje, itd.) tokom kratkog vremenskog perioda [33]. Informacije koje se zadržavaju u vizualnoj kratkoročnoj memoriji mogu dalje biti obrađene kroz radnu memoriju, mogu biti pretvorene u dugoročnu memoriju, ili jednostavno mogu biti zaboravljene. Kratkoročna memorija ima dve osnovne karakteristike: ograničen kapacitet i ograničeno vreme trajanja.

Kapacitet kratkoročne memorije može da zadrži 7 elemenata, plus/minus 2 elementa [34]. Kratkoročna memorija je slabo promenljiva, zbog čega ljudi mogu da zapamte manje ili više isti broj elemenata. Veština pamćenja elemenata zavisi i od ostalih faktora, kao što je dužina reči, osećanje vezano za stimulus i ostali lični faktori. Trajanje kratkoročne memorije je ograničeno. Naša kratkoročna memorija može da zadrži informacije do 30 sekundi. Ipak, moguće je ove informacije zapamtiti ako se ponavljaju ili ako im se da smisao.

Radna memorija (engl. *working memory*) ili operativna memorija, je skup procesa koji omogućavaju čuvanje i manipulisanje privremenim podacima i izvršavanje složenih kognitivnih aktivnosti. Radna memorija je tip kratkoročne memorije. Primljeni materijal (vizualni, zvučni i dr.)

se kratkoročno skladišti, ali se njime aktivno manipuliše, pri čemu oba procesa, skladištenje i manipulacija, bivaju integrisani angažovanjem svesno usmerene pažnje [35,36].

Višekomponentni model radne memorije predstavljen je u radu *Baddeley* i *Hitch* [35,37]. Poslednja verzija modela [33] sadrži tri sistema koja se sastoje od komponenata za čuvanje i obradu informacija. Prvi sistem je centralni sistem za izvršavanje koji funkcioniše kao sistem za nadgledanje. Njegova uloga je da odlučuje o objektu na koji se usmerava pažnja i organizacija aktivnosti za izvršenje akcije. Drugi sistem je fonološka petlja koja omogućava zadržavanje i upravljanje verbalnog i pisanog materijala u memoriji. Treći sistem je vizuospacijalna matrica koja je odgovorna za zadržavanje i upravljanje vizualnim informacijama i zadužena za vizualnu kratkoročnu memoriju.

Vizueana kratkoročna memorija omogućava zadržavanje primljenih vizualnih informacija i njihovu kasniju upotrebu. Veoma je važna za normalno funkcionisanje kognitivnih sposobnosti i izvršavanje svakodnevnih aktivnosti. Svako oštećenje vizualne kratkoročne memorije smanjuje količinu informacija koju je osoba sposobna da zapamti, kao i vreme zadržavanja informacije.

Procenu vizualne kratkoročne memorije moguće je izvršiti neuropsihološkim ispitivanjima. Najčešće korišćeni testovi uključuju: klasičan test direktnih i indirektnih brojeva iz Vekslerove skale pamćenja [38], *NEPSY* test Korkmana, Kirka i Kempa [39], test kontinuiranog izvođenja (*CPT*) [40], Memorijski test (*TOMM*) [41], test vizualne organizacije *Hooper* (*VOT*) [42], test varijalbi pažnje (*TOVA*) [43], i test londonska kula (*TOL*) [44]. Ovi testovi, pored kratkoročne vizualne memorije, procenjuju kratkoročnu memoriju, brzinu reakcije, radnu memoriju, vizualno skeniranje, percepciju okruženja, pamćenje sadržaja, imenovanje, razlikovanje i brzinu obrade podataka [45].

1.6.3 Teorijska osnova mTutor testa

Iako su istraživači oduvek pokušavali da iskoriste neurološka istraživanja za unapređenje postojećih modela elektronskog učenja, u ovoj oblasti i dalje ima dosta prostora za napredak. Jedan od najvećih izazova je pronaći način da elektronska procena znanja u što većoj meri oslikava realno znanje i veštine ispitanika [46].

Savremeni sistemi testiranja fokus sa tehničkih i sigurnosnih problema izmeštaju na sadržaj testova. Tako, danas postoji više od 20 osnovnih tipova pitanja koja se mogu iskoristiti za izradu testova. Sa druge strane, psihološko stanje ispitanika se najčešće ignoriše, kako u procesu dizajniranja testova, tako i u toku samog procesa testiranja. Ovo je uzrok čestih pritužbi studenata da su stresni uslovi uticali na postizanje boljih rezultata.

Kako bi se dobilo što je moguće više podataka o različitim emotivnim reakcijama ispitanika, pitanja su po težini i sadržaju podeljena u pet grupa – tri grupe "regularnih" pitanja (sa jednim tačnim odgovorom i tri težine: laka (*LDQ*), srednja (*MDQ*) i teška (*HDQ*)) i dve grupe "specijalnih pitanja": zabavna (*FQ*), sa tačnim odgovorom koji je očigledan jer su ostali zabavnog karaktera i nemoguća (*ImQ*), koja nemaju tačan odgovor. Regularna pitanja su kategorisana u grupe naknadno, na osnovu procenta tačnih odgovora.

1.6.4 Teorijska osnova AC testa

Vizualno skeniranje je veština koja omogućava da se efikasno i brzo pronađu relevantne informacije u našem okruženju. Vizualno skeniranje spada u funkcije vizualne percepcije koja je usmerena na otkrivanje i prepoznavanje vizualnog stimulusa. Kada je neophodno da se pronađe neki željeni predmet, mozak automatski obavlja čitav niz međusobno povezanih procesa.

Fokusirana pažnja se odnosi na sposobnost usmeravanja pažnje na stimulus. Sa druge strane, selektivna pažnja jeste sposobnost održavanja pažnje na jedan stimulus kada su prisutni ostali stimulusi koji odvlače pažnju. Ovaj tip pažnje, uz kognitivno preusmeravanje, omogućava preusmeravanje pažnje sa ciljnog stimulusa, usmeravanje pažnje na nebitan stimulus i zatim vraćanje i usmeravanje pažnje na početni stimulus [47].

AC Test je test iz skupa neuropsiholoških testova kojim se ispituje vigilnost i fleksibilnost pažnje. Spada u grupu "testova precrtavanja slova" (engl. *Letter Cancellation Task*) koje prvi u svom radu opisao Taland [48], a nedugo zatim Diler i ostali [49]. Ispitanik dobija papir veličine A4 formata na kome se nalaze ispisana različita slova u 29 redova sa po 36 slova u redu. Zadatak ispitanika je da za četiri minuta zaokruži sva slova *A* i *C*, idući s leva na desno, ne preskačući redove i bez mogućnosti vraćanja na prethodna slova. Rezultat testa se formira u odnosu na ukupan broj tačno zaokruženih slova i ukupan broj grešaka. U greške spadaju: greške propuštanja - kada ispitanik preskoči da zaokruži traženo slovo i greške pogrešnog zaokruživanja, odnosno zaokruživanja netačnog slova. Greške se posmatraju i u odnosu na prostornu poziciju pa se kvalifikuju kao greške centra, desnostrane i levostrane greške. Ukoliko pozicija grešaka propuštanja predominira na nekoj od strana onda to može ukazati na mogućnost postojanja sindroma jednostranog zanemarivanja.

1.7 Veštačka inteligencija

Veštačka inteligencija (VI) je počela sa razvojem nakon Drugog svetskog rata, a samo ime je dobila 1956. godine [6]. U odnosu na to da li se bavi procesima razmišljanja ili ponašanja, VI se može definisati po osnovu ovih katerogija kao sistem koji misli kao čovek ili sistem koji misli racionalno i sa druge strane, kao sistem koji se ponaša kao čovek ili sistem koji se ponaša racionalno [50].

Grčki filozof, Aristotel (4 v.p.n.e), je prvi pokušao da sistematski analizira proces rezonovanja. Uspeo je da identifikuje vrstu rasuđivanja koju je nazvao silogizam. Silogizam se može definisati kao misaoni proces u kome se na osnovu dve ili više tvrdnji izvodi novi zaključak, koji je tačan pod pretpostavkom da su sve prethodne tvrdnje tačne [51] (*Svi ljudi su smrtni; Sokrat je čovek*, sledi *Sokrat je smrtan*).

Gotfrid Lajbnic, nemački filozof, je pokušao da dizajnira jezik u kome bi bila moguća predstava celokupnog ljudskog znanja (filosofskog i metafizičkog). Ovaj jezik bi sačinjavao azbuku ljudskih misli koja bi se mogla koristiti za automatizaciju procesa razmišljanja.

Matematički razvoj logike počinje radovima Džordža Bula koji je formulisao propozicionu ili Bulovu logiku. Bul je razmatrao različite logičke principe ljudskog razmišljanja i predstavljao ih kroz matematičke forme, čime je sledio Lajbnicovu ideju o formulaciji ljudskog mišljenja kroz univerzalni

jezik (algebru). Nakon njega, nemački filozof Gotlib Fridž proširuje Bulovu logiku tako da uključuje objekte i relacije i tako stvara logički model koji se danas koristi u VI za reprezentaciju znanja i automatsko rezonovanje [6].

Krajem 18. veka, britanski naučnik Čarls Stanhop dizajnirao je napravu koja je bila u stanju da rešava jednostavne logičke probleme. Ova naprava se sastojala od kutije sa ulazima sa strane u koje su mogle da se ubacuju obojene kartice. Kroz otvor na sredini kutije mogle su se videti pozicionirane kartice koje su predstavljale problem, a na osnovu posmatranja njihovog preklapanja moglo se odrediti rešenje problema [51].

Alan Tjuring, je 1950. godine u svom radu *Computing Machinery and Intelligence* postavio pitanje da li mašina može da prođe test inteligentnog ponašanja, kasnije nazvan Tjuringov test. Mašina prolazi Tjuringov test ako ispitivač - čovek, posle postavljanja nekoliko pitanja, ne može da odredi da li je odgovor dao čovek ili mašina. Tjuringov test koji je kasnije dopunjen video signalom se i danas smatra relevantnim za proveru sposobnosti inteligentnog ponašanja mašine.

Pojava Interneta je pozitivno uticala na razvoj VI. Internet predstavlja pogodno okruženje za razvoj autonomnih softverskih agenata koji pretražuju Internet domen ili preporučuju korisniku odgovarajući sadržaj na osnovu njegovih interesovanja. VI je našla svoju primenu i u komercijalnoj sferi, kao što je automatizovana izrada Veb sajtova (*Wix ADI*, *Firedrop*), pružanje tehničke podrške (*chatbots*), glasovne pretrage (*Alexa*, *Siri*, *Google Assistant*), detektovanje sajber napada (*Intrusion detection/prevention systems*) i druge. Pored toga, sistemi VI naročito dobijaju na značaju danas, kada koncept Internet stvari (engl. *Internet of Things* [IoT]) dobija na popularnosti.

1.7.1 Mašinsko učenje

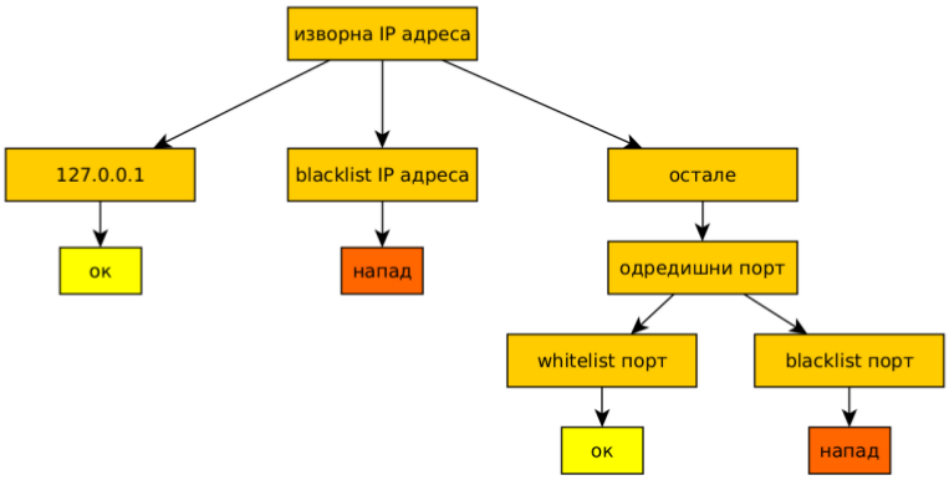
Termin **mašinsko učenje** se može odrediti kao automatsko detektovanje smislenih obrazaca u podacima [52]. Mašinsko učenje se u svom razvoju oslanja na sisteme veštačke inteligencije, teoriji verovatnoće, statistici, neuropsilohogiji i drugim srodnim naučnim disciplinama. Za razliku od klasične upotrebe programa na računarima, zbog složenosti obrazaca koje je potrebno detektovati, programer ne može da obezbedi eksplicitno definisanu specifikaciju kako svaki od ovih zadataka treba da se izvrši. Mnoge veštine ljudi stiču i usavršavaju učenjem iz iskustva, a ne praćenjem striktnih

instrukcija koje su nam date. Mašinsko učenje se zasniva na programima koju su u stanju da uče i prilagođavaju se.

Neki od modela mašinskog učenja koji su primenjeni u kvantitativnoj analizi rezultata našeg istraživanja su: **stabla odlučivanja** (engl. *Decision tree*), ***Support Vector Machine***, **K-najbližih suseda** (engl. *K-nearest neighbors*) i **neuronske mreže** (engl. *Neural Networks*).

1.7.1.1 Stabla odlučivanja

Stabla odlučivanja se sastoje od unutrašnjih čvorova koji procesuiraju date podatke i vraćaju binarnu odluku u zavisnosti od dodeljenog uslova. Grane drveta predstavljaju ishod testa, a lišće označava naziv klase [53]. Ovaj pristup omogućava razlaganje složene odluke na skup nekoliko manjih odluka. Drvo se formira deljenjem inicijalnog skupa koji sadrži sve podatke prema izabranom atributu (karakteristici). Svaki podskup čini jedan čvor drveta i svaki čvor može imati samo jednog roditelja. Čvorovi drveta koji sadrže više instanci se dalje dele po atributima dok se ne dođe do čvorova koji sadrže samo jednu instancu ili više instanci koje se ne mogu dalje podeliti po karakteritikama. Ovi krajnji čvorovi su lišće drveta (Slika 2).



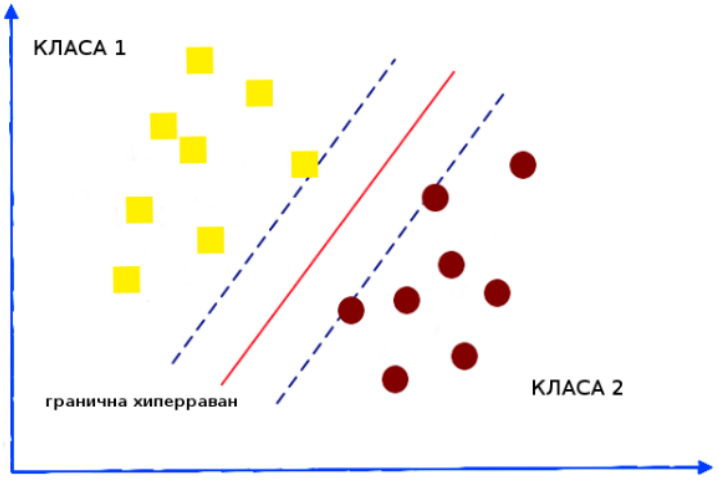
Slika 2. Primer stabla odlučivanja za određivanje zlonamernih konkecija

Orezivanje stabla (engl. *Tree pruning*) je tehnika mašinskog učenja koja se koristi da minimalizuje veličinu stabla odlučivanja menjajući neke od čvorova lišćem, kako bi se smanjila kompleksnost klasifikatora i unapredila njegova preciznost. Orezivanje stabla se može izvršiti *pre-pruning* ili *post-pruning* metodom. Kod *pre-pruning* metode, stablu se ne dozvoljava da se u potpunosti formira, već se postavlja granična vrednost koja ograničava ekspanziju drveta. U slučaju *post-pruning* tehnike, stablo je u potpunosti formirano kada se korišćenjem odabranog algoritma orezuju grane (čvorovi) čime se redukuje njegova veličina i smanjuje vreme treniranja klasifikatora [54].

Slučajna šuma (engl. *Random forest*) je klasifikator koji se sastoji od velikog broja pojedinačnih stabala odlučivanja. U prvom koraku, svako pojedinačno stablo odredi klasu instance, a zatim se instanca klasifikuje na osnovu klase za koju je "glasao" najveći broja stabala. Bolji rezultati klasifikacije u odnosu na individualno stablo odlučivanja postižu se zahvaljujući niskoj korelaciji između pojedinačnih stabala [55]. Jedan od načina ostvarivanja niske korelacije je putem malim promenama u trenažnom skupu svakog stabla. Drugi način je određivanje podskupa (umesto celog skupa) svojstava (karakteristika) koje se prezentuju stablu u procesu njegovog rasta.

1.7.1.2 Support Vector Machine

Support Vector Machine (*SVM*) je metoda klasifikacije koja maksimalizuje razdaljinu između granične hiperravni i prostora koji odgovaraju različitim kategorijama (klasama), tako da je udaljenost hiperravni od najbližih tačaka (instanci) klasa maksimalna [56]. Tačke koje su najbliže graničnoj hiperravni nazivaju se **podržavajući vektori** (engl. *support vectors*) (Slika 3). Istovremeno, to su tačke podataka koje je najteže klasifikovati. Njihovo uklanjanje iz trenažnog skupa podataka promenilo bi položaj granične hiperravni.



Slika 3. Hiperravan i podržavajući vektori u dvodimenzionalnom prostoru

Najčešća primena *SVM* klasifikatora je u kategorizaciji teksta i prepoznavanju objekata na slikama.

1.7.1.3 K-najbližih suseda

K-najbližih suseda je algoritam za mašinsko učenje koji spada u grupu algoritama sa nadgledanim učenjem (obučavanje sa učiteljem, engl. *supervised machine learning*). U procesu treniranja se oslanja na obeležene podatke i na osnovu njih pokušava da pronađe najbolju aproksimaciju funkcije koja proizvodi željeni (ispravan) izlaz za tačke koje ne pripadaju obučavajućem skupu [57]. Posmatrana instanca se klasifikuje u odnosu na to kako su klasifikovani njeni susedi.

U svojoj osnovi, algoritam se zasniva na grupisanju tačaka na bazi njihove međusobne udaljenosti. Najčešće se udaljenost računa kao pravolinijska razdaljina između tačaka u ravni (Euklidska distanca). Kao primeri drugih metrika koje se mogu koristiti za izračunavanje udaljenosti mogu se navesti: Mehnetn razdaljina (engl. *Manhattan distance*), Čebiševa razdaljina (engl. *Chebyshev distance*), Mahalanobisova razdljina (engl. *Mahalanobis distance*).

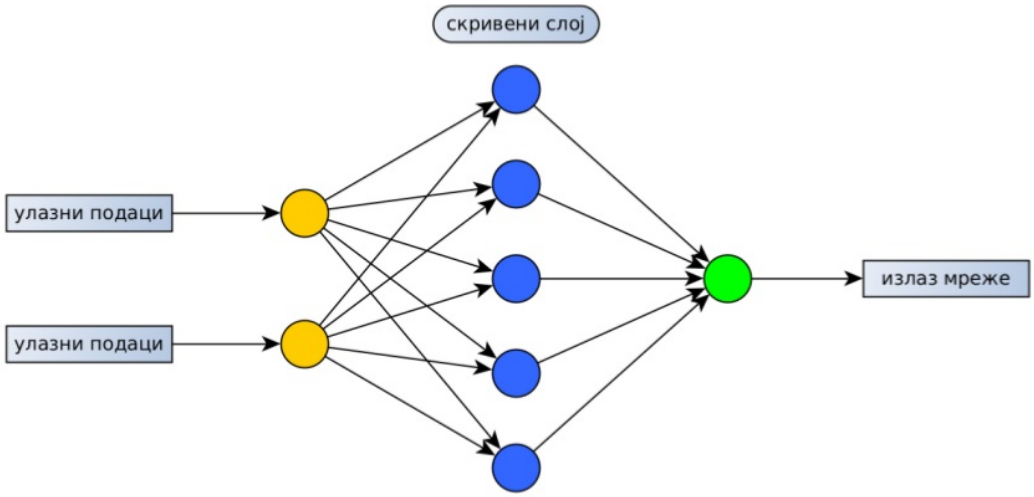
Faktor (parametar) **k** se koristi za određivanje broja suseda koji su uključeni u proces "glasanja". Instanci se pripisuje klasa koja ima najviše glasova od strane *k*-njenih suseda. Za vrednost parametra **k** se uzima neparan broj kako bi se izbegla mogućnost da više klasa imaju isti broj glasova.

1.7.1.4 Neuronske mreže

Neuronske mreže predstavljaju model prepoznavanja obrazaca kroz simuliranje načina rada ljudskog mozga. Iz tog razloga, neuronske mreže predstavljaju alat pomoću koga bi se mogli modelovati biološki neuronski sistemi. Ukoliko bi sistem neuronskih mreža mogao simulirati kapacite ljudskog mozga, stvorila bi se izvrsna računarska podloga za izučavanje svih kognitivnih procesa prisutnih u našem mozgu, što bi dalo snažan podsticaj ostvarivanju većine ciljeva VI [6]. Za razliku od klasičnog računarstva koje zahteva eksplicitno pisanje programa u nekom izabranom programskom jeziku, neuronske mreže obavljaju namenjeni zadatak implicitno, preko faze obučavanja podržane primerima struktuiranim u obučavajuće skupove.

U jednoslojnim i višeslojnim neuronskim mrežama sa prostiranjem signala unapred (engl. *feed-forward*), svaki pojedinačni neuron je povezan sa nekoliko neurona u sloju ispod njega, od kojih prima podatke i sa nekoliko neurona u sloju iznad, kojima šalje podatke (Slika 4). Svakoj dolazećoj konekciji (sinapsi) neuron će dodeliti vrednost koja se naziva **sinaptička težina**. Kada je mreža aktivna, neuron prima različite podatke sa svake sinapse i množi ih sa dodeljenom težinom sinapse. Nakon toga, sabirajući dobijene vrednosti, formira težinsku sumu ulaza. Najčešće, ako je ta vrednost ispod određene granične vrednosti (praga), neuron ne šalje podatke sledećem sloju. Ukoliko je vrednost težinske suma veća od praga, neuron će proslediti podatak o težinskoj sumi preko svih svojih konekcija neuronima u sledećem sloju.

Prilikom treniranja neuronske mreže, sinaptičkim težinama i pragovima se dodeljuju slučajne vrednosti (praktična preporuka je da vrednost bude u opsegu $[-(\frac{3}{\sqrt{k_i}}), \frac{3}{\sqrt{k_i}}]$gde je k_i broj ulaznih koneckija u neuron i). Treniranje započinje od najnižeg sloja i nastavlja se kroz povezane slojeve mreže dok ne stigne do izlaznog sloja. U tom procesu, sinaptičke težine i pragovi se dinamički prilagođavaju dok svi podaci iz obučavajućeg skupa koji pripadaju istoj kategoriji (klasi) ne proizvedu iste izlaze.



Slika 4. Višeslojna neuronska mreža sa prostiranjem unapred

2 PREGLED OBLASTI

Za prikupljanje podataka o emotivnim karakteristikama ispitanika korišćen je *EMOTIV EPOC+* uređaj. Uređaj je u stanju da izoluje *P300* signal niskog napona (2-5 μV) za koji se smatra da se javlja kao posledica donošenja odluka u odnosu na spoljašnji stimulus, odnosno njegove procene i kategorizacije [58,59]. Pošto je njegova snaga veoma mala u odnosu na EEG, teško ga je razlikovati od pozadinskog šuma koji se javlja prilikom merenja. Ovo potvrđuje da je uređaj u stanju da izvrši filtriranje signala i njihovu diferencijaciju od impulsa koji proističu iz sekundarnih izvora, kao što su kontrakcije facijalnih mišića.

U istraživanju [60] je utvrđeno da uređaj uspešno detektuje signale koji se javljaju u različitim regionima mozga u zavisnosti od boje i strukture posmatranog objekta. Na osnovu toga, autori su bili u mogućnosti da jasno odrede izraženu asimetriju u aktivnosti desne i leve moždane hemisfere. U drugom radu [61] je pokazano da su obrasci moždane aktivnosti i odgovarajuće frekvencije signala ispravno klasifikovani u slučajevima kada korisnik odabere najpoželjniji marketinški proizvod. U studiji Tejlora i Smita [62], testirana je sposobnost uređaja da pravilno razlikuje šest parova mentalnih akcija (*Push - Pull*, *Lift - Drop*, *Rotate left - Rotate right*...). Rezultati pokazuju da je ispravna odluka o iniciranju akcije doneta u polovini slučajeva, u odnosu na lažnu klasifikaciju događaja, kada sistem detektuje mentalnu akciju koja se nije dogodila. Dodatno, sistem je bio u stanju da u 87.5% slučajeva ispravno odredi mentalnu akciju zamišljenu od strane učesnika eksperimenta.

Zadavanje mentalnih komandi putem *EMOTIV EPOC+* interfejsa ispitano je na primeru iscrtavanja kockastih, sferičnih, cilindričnih, piramidalnih i konusnih objekata u *CAD* sistemu [63]. U 44.6% slučajeva vizualno zamišljanje jednog od 5 osnovnih oblika dovelo je njegovog ispravnog iscrtavanja u *3D* okruženju. Iako je metod ograničen na primitivne oblike, rezultati pokazuju postojanje jasne korelacije između osobina kompleksnih objekata (zaobljenosti, oštrine, simetrije, zakrivljenosti...) i izmerenih EEG vrednosti.

U drugim studijama fokus je stavljen na upravljanje robotskom rukom ili traktorom na daljinu korišćenjem različitih facijalnih izraza. U oba slučaja je utvrđena mogućnost primene EEG uređaja za kontrolu pravca po vertikalnoj [64] i horizontalnoj osi [65]. U okviru istraživanja [66] razvijena je aplikacija koja omogućava biranje telefonskog broja na *iPhone* uređaju putem detektovanja *P300* signala u trenutku osvetljavanja slike željenog kontakta na telefonu.

U svojoj studiji [67], autori istražuju emotivna stanja studenata, predstavljena u vidu frustracije i uzbuđenja, koja se javljaju kao posledica povratnih informacija dobijenih od Inteligentnih sistema za učenje (engl. *Intelligent tutoring systems [ITS]*). Analizirajući dobijene rezultate autori su razvili model koji omogućava ovim sistemima da predvide emocije studenta i u skladu sa tim modifikuju povratne informacije koje se studentima pružaju.

Emotivne reakcije na različite vizualne stimuluse bile su predmet ekperimenata u dva nezavisna rada [68,69]. U prvom radu je ispitana mogućnost prepoznavanja EEG obrazaca u stanju opuštenosti i zamišljanja dve vrste slika: lica i kuća, pri čemu je ostvarena preciznost od 48%. U drugom radu, razvijen je metod za interpretaciju EEG vrednosti sa ciljem razlikovanja mentalnih obrazaca u slučajevima kada korisnik posmatra prijatnu i neprijatnu sliku u odnosu na neutralan kontekst.

U okviru svoje studije [70] E. T. Esfahani i drugi, testirano je detektovanje nivoa zadovoljstva i njegova upotreba u ispravljanju ponašanja robota kako bi se nivo zadovoljstva maksimizovao. Iako na malom broju ispitanika (četiri muškarca), pravilna klasifikacija izvršena je u prosečno 79.2% slučajeva.

Još jedna studija [71] koja se bavi prepoznavanjem emocija korišćenjem EEG signala i uređaja za praćenje pogleda opisuje rezultate eksperimenata u kojima su ispitanici gledali 15 emotivnih filmskih isečaka svrstanih u tri kategorije - pozitivne, neutralne i negativne. Prezentovana analiza pokazuje da se na osnovu EEG podataka i prečnika zenice (detektovanog putem *eye tracker* uređaja) može uspešno klasifikovati emocija sa preciznošću od 73.59%.

U sličnom radu [72], autori su koristili različite klasifikacione algoritme kako bi odredili dve emotivne kategorije kod ispitanika (pozitivnu i negativnu). Podaci na osnovu kojih su izdvojene karakteristike za klasifikaciju su prikupljeni upotrebom EEG uređaja. Ispitanici su gledali 12 filmskih isečaka (6 pozitivnih i 6 negativnih) u trajanju od 4 minuta. Najbolji rezultati su postignuti uz pomoć duboke mreže verovanja (engl. *deep belief network*) pri čemu ostvarena preciznost iznosi 87.62%. Slede, *SVM* i *KNN* sa 84.08% i 69.66%, redom.

Y. Lin i ostali u svom istraživanju ispituju mogućnost određivanja osećanja za vreme slušanja muzike [73]. Na osnovu EEG podataka od 26 ispitanika pokušali su da detektuju jednu od četiri kategorije emotivnih stanja - radost, ljutnja, tuga i zadovoljstvo. Za vreme eksperimenta ispitanici su

slušali 16 različitih muzičkih klipova u trajanju od 30 sekundi. Rezultati klasifikacije upotrebom *SVM* algoritma pokazuju da je moguće odrediti emotivno stanje ispitanika sa preciznošću od 92.57%.

Još jedan rad [74] koji koristi *SVM* algoritam za klasifikaciju pozitivnih i negativnih emotivnih stanja koristi filmske isečke kao stimuluse. Studija je sprovedena na 6 ispitanika koji su gledali 12 filmskih isečaka dužine 4 minuta. Za to vreme na glavi su nosili EEG uređaj. Odabirom 100 svojstava sa najvećim koeficijentom korelacije postignuta je preciznost od 89.22%.

Razvoj metode za određivanje stepena zamora vozača u toku vožnje je još jedan primer primene EEG signala za detektovanje mentalnih perfomansi korisnika [75]. Na osnovu prikupljenih podataka od 30 ispitanika koji su koristili simulator vožnje u trajanju od 33 do 60 minuta, predložen je metod za klasifikaciju nivoa zamora vozača u jednu od dve kategorije - spreman/na oprezu i umoran/pospan. Prezentovani model na svaka tri minuta utvrđuje stepen zamora i daje povratnu informaciju korisniku sistema. Odabirom karakteristika sa najvećom korelacijom ostvarena je najbolja srednja preciznost od 96% upotrebom *KNN* klasifikatora. Drugi najbolji rezultat iznosi 81% preciznosti i dobijen je korišćenjem *SVM* algoritma.

Kako bi izmerili "akademska" emotivna stanja studenata tokom rešavanja Bergovog testa sortiranja karata, autori su u svom istraživanju [76] koristili izvorne EEG podatke i iz njih izdvojena statistička svojstva kao ulaz za različite klasifikacione algoritame. Akademska stanja su kategorisana kao: dosada, zbunjenost, angažovanje i frustracija. Na uzorku od 19 studenata koji su koristili *EMOTIV EPOC+* uređaj za prikupljanje EEG podataka, najbolji rezultat je postignut upotrebom *KNN* klasifikatora. Rezultati pokazuju da je moguće odrediti emociju koju student oseća u toku testiranja sa preciznošću od 54.09%.

U svom radu [77], autori su uz pomoć EEG uređaja i uređaja za praćenje pogleda ispitivali uticaj marketinških stimulusa na proces odlučivanja. Od ispitanika se zahtevalo da odaberu svoj omiljeni keks na osnovu oblika - krug, trougao i kvadrat, ukusa - prazan, pšenični i pirinčani i preliva - sa prelivom i bez preliva. Osnovni zaključak je da postoji jasna promena u EEG vrednostima u trenutku kada ispitanik odabere željeni proizvod. Dodatno, ukus i preliv keksa su se izdvojile kao dominantne karakteristike koje utiču na izbor omiljenog proizvoda od strane kupca.

Jedna od studija koja se bavi bezbednosnim aspektima upotrebe EEG senzora od strane korisnika opisuje model napada koji omogućava otkrivanje osetljivih podataka kao što su brojevi bankovnih kartica, PIN kodovi, mesto stanovanja ili znanje o poznatim ličnostima [78]. Zaključci su

formirani na osnovu rezultata pet nezavisnih eksperimenta. Prvi eksperiment je imao za cilj da utvrdi mogućnost otkrivanja (delimičnih) informacija o PIN kodu koji je korisnik odabrao. Cilj drugog eksperimenta bio je dobijanje podataka o bankovnom računu na osnovu prikazanih slika banaka. U trećem eksperimentu pokušano je otkrivanje datuma rođenja korisnika na osnovu EEG podataka prikupljenih tokom prikazivanja sekcvenci imena meseci. Četvrti eksperiment se odnosio na prepoznavanje lica poznatih ličnosti. Cilj poslednjeg eksperimenta je određivanje geografske lokacije korisnika prilikom prikazivanja mapa predela od interesa. Rezultati pokazuju da je procenat uspešne klasifikacije u slučaju PIN koda, bankovnih računa i poznatih ličnosti 20%. Kada je reč o mesecu rođenja uspešnost je iznosila 60%, a u slučaju određivanja lokacije, preciznost je iznosila 30%.

U svom radu [79], autori su, korišćenjem prenosivog EEG uređaja, merili dva kongnitivna svojstva, fokusiranu pažnju i radnu memoriju. Obučavanjem nekoliko različitih klasifikatora za predviđanje tri nivoa pomenutih osobina, ostvarili su preciznost od 84% i 81% za fokusiranu pažnju i radnu memoriju. Druga studija [80] se bavi istraživanjem uticaja načina prezentovanja vizualnih informacija u različitim vremenskim intervalima na preciznost i pouzdanost reprodukcije tokom *VSTM* evaluacije. Rezultati pokazuju da se najveća efikasnost reprodukcije postiže nakon prvog testiranja *VSTM*. Studija takođe pokazuje da, u slučaju više evalucionih sesija, efikasnost reprodukcije je bolja ako se testiranja obavljaju u kratkim vremenskim intervalima, nego u dužim (nekoliko sati i više).

U situaciji koja je izuzetno važna za osobu retko kada se javlja samo jedno osećanje ili jedna tendencija za ponašanjem. Obično se javlja više emocija, koje se manifestuju paralelno ili sekcvencijalno jedna za drugom. Iz tog razloga, moguće je da stres i opuštenost, iako suprostavljena osećanja, dostignu isti ili sličan nivo u jednom trenutku. Kada korisnik posmatra sliku sa većim brojem detalja, neophodno je da se angažuje i mentalno i emocionalno kako bi zapamtio što više detalja. Kao rezultat, stres se povećava. Ova vrsta stresa se naziva eustres i korisna je jer pomaže postizanju ciljeva i povećava efikasnost tokom angažovanja [81].

Prema jednoj studiji [82], emotivne slike sa složenim scenama imaju drugačiji efekat na kratkoročnu vizualnu memoriju u poređenju sa neutralnim slikama sa objektima. Stres je uvek prisutan, ali ima povišene vrednosti u slučaju složenih emotivnih slika. Razlika u vizualnoj kompleksnosti posmatranih slika utiče i na efikasnost pamćenja - kompleksnije emotivne slike se

pamte sa više detalja od neutralnih slika. Emotivno uzbuđenje povećava aktivnost amigdale i hipokampusa koje pozitivno utiču na efikasnost pamćenja.

Jedan od prvih radova koji se bave ispitivanjem korelacije između pogleda korisnika i korišćenja računarskog miša opisuje zavisnost kretanja kursora miša po ekranu i fokusa očiju korisnika tokom pregledanja Veb stranica [83]. Prikupljeni podaci pokazuju da je pogledom obuhvaćeno oko 50% sadržaja na stranici, a kursorom je posećeno približno 38%. Dodatno, od regiona koje korisnik nije gledao, 88% nije bilo posećeno mišem. Prosečna korelacija između lokacije pogleda i miša iznosi 58%. Rezultati potvrđuju da postoji snažna korelacija i jasni obrasci ponašanja korisnika tokom gledanja Veb stranice. Na osnovu toga, autori tvrde da je, osim koordinata na koje je korisnik kliknuo, moguće iskoristiti daleko više informacija dobijenih od računarskog miša. U zaključku se predlaže dalji razvoj modela koji bi omogućio predviđanje lokacije pogleda korisnika na osnovu podataka o kretanju miša i time obezbedila alternativa skupim uređajima za praćenje pogleda.

U drugoj studiji je testirana zavisnost kretanja miša od položaja pogleda tokom izvršavanja četiri operacije pretraživanja Veb sajta [84]. Rezultati prikupljeni od 27 ispitanika pokazuju da je prosečan procenat poklapanja lokacije pogleda i kursora, u zavisnosti od izvršene akcije, između 59% i 74%. Sa druge strane, kretanje miša je pratilo kretanje pogleda u proseku u 69% slučajeva.

Još jedno istraživanje koje se bavi utvrđivanjem vremenskih intervala u kojima se položaj pogleda i kursora miša poklapaju, zasnovano je na ponašanju korisnika u toku pretrage Veb sadržaja [85]. Na osnovu analiziranih podataka autori su prezentovali nekoliko značajnih zaključaka. Prvo, procenat poklapanja direktno zavisi od vremena provedenog na stranici, ličnih navika korisnika i trenutnog stanja kursora. Kursor je najčešće bio u stanju "neaktivnosti" (58.8% vremena), zatim u stanju "istraživanja" (32.9%) i na kraju u statusu "čitanja" (2.5%). I na kraju, razvijeni model se može primeniti za delimičnu aproksimaciju položaja pogleda na osnovu položaja miša, u meri u kojoj korisnik aktivno koristi miša u procesu pretraživanja Veb sadržaja (ukoliko korisnik nije statičan).

3 EKSPERIMENTI

U svrhu demonstracije primene veštačke inteligencije u analizi interakcije između čoveka i računara i procenu kognitivnih performansi sprovedena su četiri eksperimenta. Za potrebe svakog pojedinačnog eksperimenta razvijena je posebna klijentska aplikacija, sa mogućnošću povezivanja sa senzorskim aplikacijama putem sinhronizacijske platforme (*HCI-MAP*). U ovom istraživanju korišćeni su podaci sa tri senzora: EEG uređaja, uređaja za praćenje pogleda i računarskog miša. Kako bi se omogućila agregacija i kasnija zajednička obrada podataka o celokupnoj interakciji čoveka i računara, za komunikaciju sa EEG uređajem i uređajem za praćenje pogleda napisane su nezavisne senzorske aplikacije.

3.1 Tehnologije

HCI-MAP je realizovana u *PHP* programskom jeziku u formi modularnih Veb aplikacija i servisa, a za komunikaciju sa senzorima i klijentskim aplikacijama koristi protokol baziran na *JSON* formatu. Prikupljeni podaci se smeštaju u relacionu bazu (*MySql*) odakle su dostupni za obradu u realnom vremenu ili kasniju analizu. Generički način izvoza podatka kao vremenskih serija je u *CSV* formatu.

Kako bi razvijeni aplikativni interfejs bio što univerzalniji, a time platforma dostupna za korišćenje sa velikim brojem različitih senzorskih uređaja, struktura *JSON* poruke nije strogo standardizovana. Poruka sadrži pet obaveznih osnovnih atributa: *TimeOffset* – koji određuje vremensku razliku između sata na senzoru i platformi; *Source* – koji identifikuje senzor koji šalje podatke; *Session* – koji sadrži jedinstveni identifikator sesije; *SequenceNumber* – čija je uloga da detektuje ispravnost sekvence primljenih paketa i *Records* – koji predstavlja niz snimljenih podataka sa senzora. *Records* polje je promenjive strukture u zavisnosti od konkretnog tipa podataka koji senzorska aplikacija prosleđuje platformi. Na Listi 1. prikazan je primer *JSON* poruke primljene sa *eye tracker* uređaja.

Lista 1. Primer JSON poruke sa *eye tracker* uređaja

```
{
        "TimeOffset": 0.8142,
        "Source": "Eye/Tracker",
        "Session": "5a62f67491b52",
        "SequenceNumber": 4,
        "Records": [
        {
                "Type": "state",
                "mouse_y": 0.2856,
                "mouse_x": 0.3889,
                "eye_y": 0.139,
                "eye_x": 0.4046,
                "Timestamp": 1528208256.224
        },
        {
                "Type": "state",
                "mouse_y": 0.2856,
                "mouse_x": 0.3889,
                "eye_y": 0.1566,
                "eye_x": 0.4098,
                "Timestamp": 1528208256.256
        }]
}
```


MyEmotivator senzorska aplikacija je dizajnirana za rad na *Android* operativnom sistemu. Zbog posedovanja neophodnih funkcionalnosti *API*-a, minimalna verzija *Android*-a potrebna za izvršavanje aplikacije je *Android 5.0 - Lillipop*. Testiranje je uspešno izvršeno i na višoj verziji 7.0 i 7.1 (*Nougat*), a može se pretpostaviti da je u potpunosti kompatibilna i sa najnovijom verzijom *Android*-a u trenutku pisanja ovog rada - *Android 10.0*. U zavisnosti od verzije operativnog sistema, po završetku instalacije ili prilikom prvog pokretanja aplikacije neophodno je odobriti sistemske dozvole za pristupanje *Bluetooth* interfejsu i Internet konekciji.

MyEmotivator je dizajniran u razvojnom okruženju *Android Studio 3* korišćenjem *Java 1.8* programskog jezika. Razvoj aplikacije možemo podeliti u nekoliko faza: izrada interfejsa za *core* funkcionalnosti, upravljanje procesom povezivanja na *EPOC+* uređaj, izrada interfejsa za skladištenje i slanje podataka i izrada grafičkog okruženja (*GUI*).

Pod primarnim (*core*) funkcionalnostima podrazumevamo metode osnovnog nivoa pristupa izvornim podacima koje za cilj imaju podešavanje režima rada uređaja, pribavljanje trenutno aktivnog stanja i određivanje vrednosti emotivnih performansi, facijalnih izraza i mentalnih komandi. Da bi se ostvarila maksimalna brzina izvršavanja bazičnih algoritama, *core* funkcionalnosti su implementirane u formi dinamičkih *Share Object* (*so*) biblioteka. Zarad brzine žrtvovana je podrazumevana portabilnost *Java* koda, koji je na ovaj način ograničen na korišćenje u okviru zadate platformske arhitekture.

U *Java* programskom jeziku, metodama iz eksternih biblioteka može se pristupiti upotrebom *Java Native Interface* (*JNI*). Prilikom imenovanja *native* funkcija poštovane su standardne konvencije koje se primenjuju za povezivanje dinamičkih biblioteka sa *Java* kodom [86]. Radi preglednosti, svi pozivi *native* funkcija smešteni su u jedan fajl koji se kasnije referencira iz ostalih delova koda.

AyeEye je aplikacija namenjena povezivanju i prikupljanju podataka sa *Eye Tribe* senzora [87] za praćenje lokacije pogleda. Obzirom da aplikativni interfejs uređaja podržava integraciju sa *C++*, *C#* i *Java* platformom, odlučili smo da senzorsku aplikaciju razvijemo u *Java* programskom jeziku. Programski kod je pisan u *NetBeans 8.2* razvojnom okruženju na verziji *Java 1.8*. U slučaju *AyeEye* aplikacije podrazumevana prenosivost *Java* koda uslovljena je operativnim sistemom koji je podržan od strane serverskog softvera koga isporučuje proizvođač uređaja i softvera za kalibraciju sa kojima *AyeEye* ostvaruje direktnu komunikaciju. Iz tog razloga, aplikacija je ograničena na rad na *Windows* i *MacOS* operativnim sistemima.

WCS, VSTWM i **AC test** su razvijeni u formi klijentske Veb aplikacije, korišćenjem *JavaScript*, *HTML5* i *CSS* jezika. Odabir tehnologija je izvršen sa primernim ciljem obezbeđivanja prenosivosti i nezavisnosti koda od računarskog sistema na kome se izvršava. Na ovaj način je omogućeno korišćenje klijentskih aplikacija na različitim hardverskim arhitekturama i operativnim sistemima. Jedini neophodan preduslov za obavljanje testiranja jeste postojanje Veb pregledača (engl. *browser*) koji podržava navedene tehnologije. Komunikacija sa *HCI-MAP* je ostvarena kroz

definisani aplikativni interfejs baziran na *JSON* formatu, slanjem poruka koje sadrže detaljne podatke o akcijama koje korisnik ostvaruje sa računarom putem aplikacije.

mTutor je realizovan je u vidu Veb platforme za elektronsko testiranje u *PHP* programskom jeziku na *HTTP(S)* protokolu, bazirane na *SOA* arhitekturi servisa [88]. Za smeštanje podataka o pitanjima, testovima i rezultatima studenata korišćena je *MySQL* relaciona baza. Za jednostavnije upravljanje složenim funkcionalnostima sistema implementirana su tri nezavisna softverska modula sa različitim privilegijama korisnika - administratorski, nastavnički i studentski modul. Administratorski modul podrazumeva upravljanje nalozima korisnika, korisničkim grupama, definisanje prostorija i predmeta i podešavanje sistemskih parametara. Nastavnički modul podrazumeva kreiranje strukture predmeta, grupa pitanja, dizajn testova i definisanje studentskih grupa i prostorija. Osnovne funkcionalnosti studentskog modula su rešavanje testova i pregled rezultata.

3.2 Uređaji / senzori

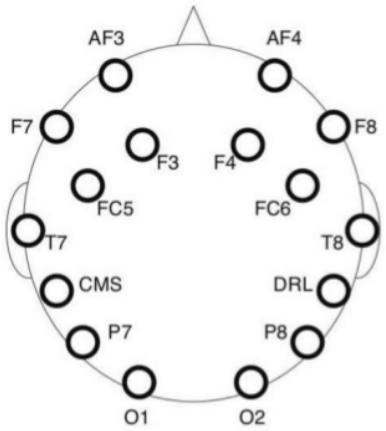
U ovom istraživanju za interakciju između čoveka i računara korišćena su tri osnovna senzora: EEG uređaj, uređaj za praćenje položaja pogleda i računarski miš.

Iako se bilo koji EEG uređaj može povezati na arhitekturu *HCI-MAP*, u ovom radu za potrebe merenja varijabilnosti emotivnih karakteristika ispitanika u zavisnosti od promena u spoljašnjem okruženju korišćen je *EMOTIV EPOC+* uređaj [89]. *EMOTIV EPOC+* je bežični EEG uređaj sa 14 kanala dizajniran za potrebe merenja aktivnosti moždanog korteksa. Mogućnost pristupa izvornim (sirovim) EEG podacima, čini uređaj pogodnim za potrebe razvoja *Brain-computer interface* (*BCI*) aplikacija. Noviji modeli uređaja imaju ugrađen žiroskop, akcelerometar i magnetometar [90].

Konvencionalna tehnika merenja EEG mozga podrazumeva postavljanje elektroda na kožu glave korisnika pri čemu se radi bolje provodljivosti električnih impulsa na konektorima koristi specijalizovana pasta ili gel. Imena elektroda i njihov položaj određena su konvencijom pod nazivom *International 10–20 system* [91], koja garantuje standardizovan metod za obezbeđivanje međusobne uporedivosti dobijenih rezultata i njihovu reprodukciju. U osnovi, lokacija elektrode označava se u odnosu na oblast mozga koju očitava (*Pre-frontal (Pf), Frontal (F), Temporal (T), Parietal (P),*

Occipital (O), i *Central (C)*) i stranu glave na koju je postavljena, tako da parni brojevi označavaju desnu, a neparni levu stranu.

U skladu sa tehničkom dokumentacijom [18], 14 kanala (plus 2 kontrolna) koje poseduje *EMOTIV EPOC+* uređaj nose nazive: *AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4* (Slika 5). Slanje podataka sa uređaj na računar obalja se isključivo putem bežične *Bluetooth* tehnologije.



Slika 5. Položaj i nazivi EMOTIV EPOC+ kanala

Na osnovu izmerenih izvornih EEG vrednosti, kroz rigoroznu ekperimentalnu analizu *EMOTIV* je razvio tri različita tipa algoritama za detekciju facijalnih izraza, emotivnih performansi i mentalnih naredbi [92]. Upotrebom dostupnih softverskih alata moguće je odrediti vrednosti šest emotivnih i podsvesnih stanja: uzbuđenje (engl. *Excitement*), zainteresovanost (engl. *Interest*), stres (engl. *Stress*), angažovanost (engl. *Engagement*), pažnju (engl. *Focus*) i opuštenost (engl. *Relaxation*). Korišćenje mentalnih komandi bazira se na treniranju sistema kroz prepoznavanje misaonih obrazaca u zavisnosti od željenog ishoda (npr. pomeranje objekata).

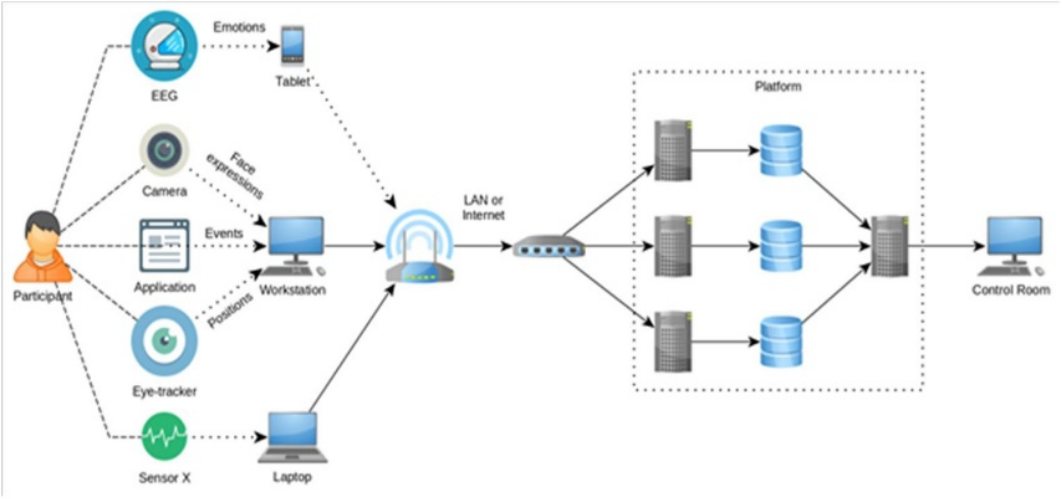
Podaci dobijeni obradom podataka sa *eye tracker* uređaja omogućavaju dinamičko praćenje usmerenosti pažnje ispitanika tokom interakcije sa računarom. Na taj način je moguće objektivno proceniti stepen vidljivosti, značaj i relevantnost dizajna elemenata interfejsa u odnosu na korisnika.

Za merenje lokacije pogleda i putanja kojom se kreću oči korisnika prilikom prelaska sa jedne tačke fokusa na drugu korišćen je **Eye Tribe** uređaj. Uređaj koristi konekciju sa *USB 3.0* portom kao izvor napajanja i link za slanje podataka računaru. Osnovne komponente uređaja su kamera i

infracrvene *LE* (*light-emiting*) diode visoke rezolucije. Kamera snima položaj zenica nekoliko desetina puta u sekundi i podatke šalje algoritmu koji određuje položaj pogleda korisnika na ekranu sa kašnjenjem manjim od 20 ms. Uređaj se isporučuje sa kompletom za razvoj softvera i aplikativnim interfejsom koji podržava integraciju sa *C++*, *C#* i *Java* platformom.

3.3 Platforma i senzorske aplikacije

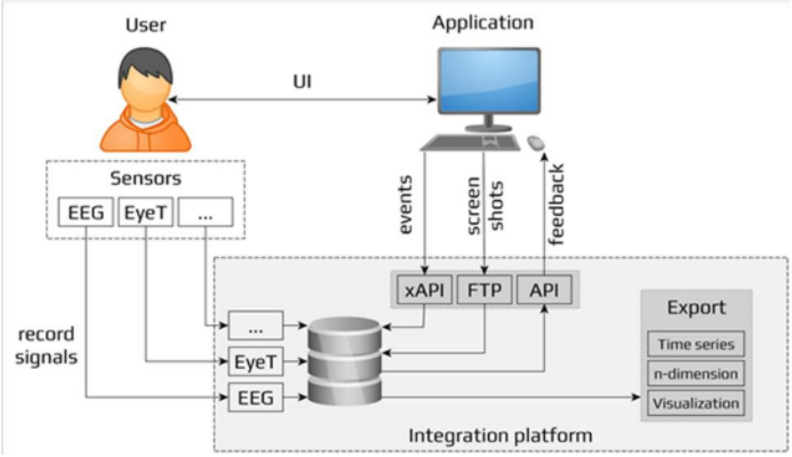
U ovom radu za potrebe prikupljanja i sinhronizacije podataka sa različitih senzora i klijentskih aplikacija korišćena je *HCI-MAP* platforma. Pored toga, za svaki pojedinačni senzor, razvijena je zasebna aplikacija sa ugrađenom mogućnošću slanja podataka na platformu upotrebom razvijenog *API*-ja (engl. *Application Interface*) putem *HTTP(S)* protokola. Na kraju, svaki test je realizovan u vidu posebne aplikacije koja koristi isti interfejs za slanje podataka o interakciji između čoveka i računara (Slika 6).



Slika 6. Mrežna organizacija "HCI-MAP" platforme

3.3.1 HCI-MAP platforma

HCI-MAP predstavlja platformu za sinhronizovanje i prikupljanje podataka sa različitih senzora i aplikacija, njihovu fuziju i obradu u realnom vremenu, i vraćanje rezultata u formatima pogodnim za dalju obradu od strane računara ili interpretaciju od strane ljudi (Slika 7).

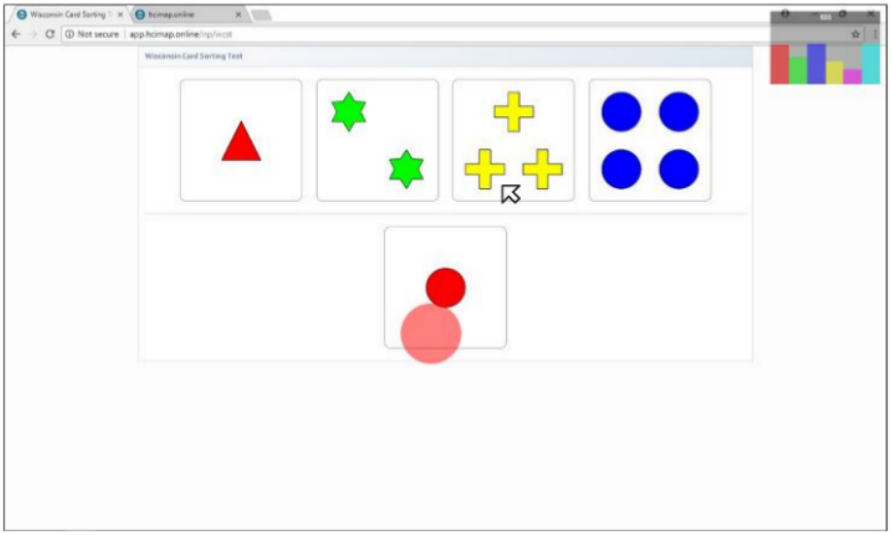


Slika 7. Osnovna arhitektura "HCI-MAP" platforme

Kod jednostavnih eksperimenata svi senzori su povezani sa jednim računarom i dele isti vremenski izvor, tako da se svi podaci prikupljaju sinhronizovano. Međutim, kod složenijih eksperimenata, koji se izvode u distribuiranom okruženju, ne samo da različiti senzori koriste različite vremenske izvore, već i različite mrežne putanje do centralnog servera sa različitim kašnjenjem. Neke od razloga za izmeštanje obrade na udaljeni server(e) čine postojanje više učesnika u eksperimentu, ali i potreba za brzom obradom podataka dobijenih sa senzora, i vraćanje rezultata u aplikaciju u vidu povratne informacije. Time se postiže adaptivno ponašanje korišćenih aplikacija, a za obradu se mogu koristiti napredni algoritmi za veštačku inteligenciju, koji zahtevaju značajne procesorske resurse da bi radili u realnom vremenu.

Trenutno su podržani senzori tipa EEG, *eye tracker*, prepoznavanje emocija putem facijalnih izraza (Veb kamera) i praćenje kursora miša, ali, s obzirom na otvoreni interfejs, i drugi senzori se mogu lako povezati sa platformom. Osim sa senzora, platforma informacije može dobijati i od strane korisničkih aplikacija, korišćenjem istog interfejsa koji koriste i senzori. Platforma generički podržava izvoz svih podataka kao vremenskih serija (u *CSV* formatu), ali su podržani i napredniji izveštaji (npr. snimak korišćenja korisničkog interfejsa sa vizualizacijom pozicije pogleda, pozicije

kursora miša, EEG vrednostima i facijalnim izrazom) (Slika 8), kao i modularno dodavanje novih tipova izveštaja. Izvoz podataka može se vršiti naknadno, na navedeni način, ili u realnom vremenu kroz *API*.



Slika 8. Eksportovana animacija koja sadrži snimak ekrana, položaj pogleda (crveni krug) i kursora miša, kao i izmerene emotivne karakteristike (dijagram u gornjem desnom uglu)

Jedan od glavnih izazova pri sakupljanju podataka sa više senzora, a ujedno i jedan od glavnih motiva za razvoj ove platforme, predstavlja njihova vremenska sinhronizacija. Podaci sa senzora se mogu menjati više (desetina) puta u sekundi, pa greška od nekoliko stotina milisekundi može u potpunosti učiniti podatke neupotrebljivim [93].

Najčešće korišćeni metod za vremensku sinhronizaciju u distribuiranim sistemima, npr. mrežama baziranim na *TCP/IP* protokolu je korišćenje *NTP*. Za potrebe *HCI-MAP* razvijen je model sinhronizacije baziran na *NTP*, uz eliminisanje ograničenja koje izvorni protokol poseduje (zavisnost od operativnog sistema, administratorske privilegije, neophodnost sinhronizacije neposredno pre početka eksperimenta).

Prvi korak sinhronizacije predstavlja izračunavanje razlike u vremenima između klijenta (npr. mobilnog uređaja) i servera (θ) i kašnjenja u transferu podataka (δ), korišćenjem *NTP* (*Network Time Protocol*) modela [8]:

$$\theta = \frac{(t_1 - t_0) + (t_2 - t_3)}{2}$$

$$\delta = (t_3 - t_0) - (t_2 - t_1)$$

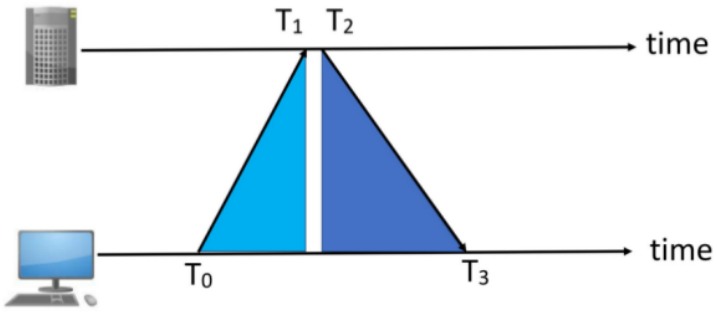
pri čemu je:

t0 - precizno vreme slanja paketa na strani klijenta

t1 - precizno vreme prijema paketa na strani servera

t2 - precizno vreme slanja odgovora na strani servera

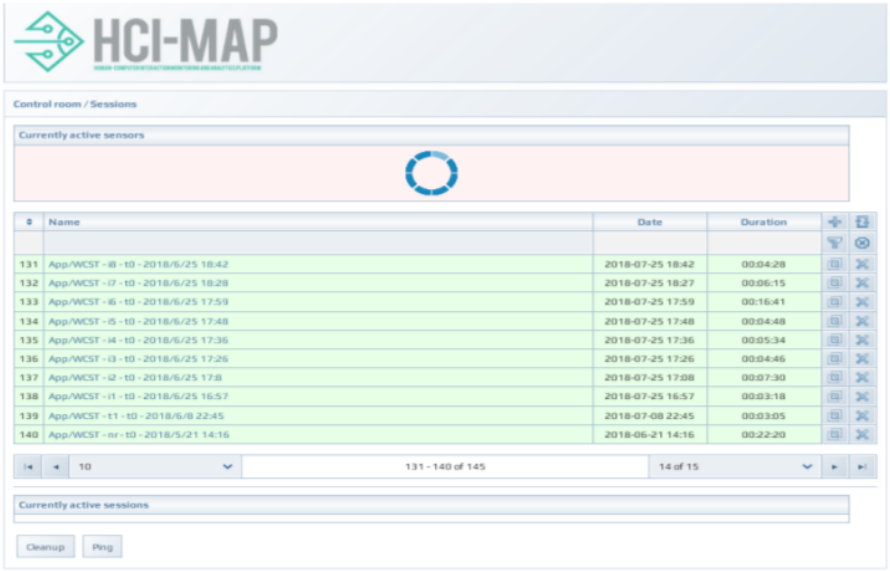
t3 - precizno vreme prijema odgovora na strani klijenta (Slika 9)



Slika 9. Primer izračunavanja kašnjenja (NTP model)

Ovakvim pristupom dobijena je zahtevana preciznost sinhronizacije (<5ms dozvoljene greške kod lokalne 100Mb/s mreže i do 30ms greške kod *ADSL* 10Mb/s Internet veze), kao i nezavisnost od operativnog sistema i administratorskih privilegija.

Jedna od najznačajnijih komponenti platforme je Kontrolna soba (Slika 10). Ovaj modul predstavlja glavni Veb interfejs koji omogućava praćenje događaja na platformi i pristupanje skupovima podataka koji su ranije prikupljeni i obrađeni. Na njemu se mogu videti trenutno aktivni senzori i trenutno aktivne i ranije snimljene sesije. Takođe, preko njega se mogu započinjati nove i uklanjati stare sesije.



Slika 10. Izgled "Kontrolne sobe" HCI-MAP platforme

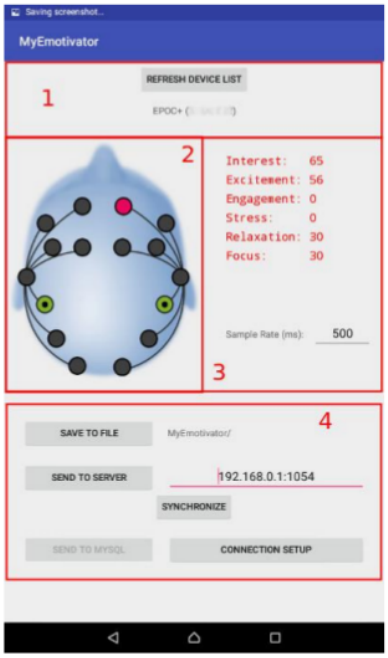
3.3.2 Senzorske aplikacije

Komunikacija platforme sa nekim senzorima je direktna – na primer, softver koji prati položaj pogleda i pozicije kursora miša je realizovan kao aplikacija koja se izvršava na klijentskom računaru. Sa druge strane, softver koji platformi dostavlja podatke sa EEG senzora se izvršava na *Android* tabletu, koji sa samim EEG uređajem komunicira putem *Bluetooth* protokola (Slika 6). Za komunikaciju sa EEG uređajem i uređajem za praćenje pogleda razvijene su posebne aplikacije, sa mogućnošću sinhronizacije sa klijentskim aplikacijama putem *HCI-MAP*.

3.3.2.1 MyEmotivator

Za potrebe merenja varijabilnosti emotivnih karakteristika u zavisnosti od promena u spoljašnjem okruženju, razvijena je *MyEmotivator* aplikaciju čiji je zadatak da, u realnom vremenu, korišćenjem *EMOTIV EPOC+* interfejsa prikazuje i beleži šest emotivnih stanja (zainteresovanost, angažovanost, uzbuđenje, stres, opuštenost i fokusiranost) (Slika 11). Cilj nam je bio da omogućimo

što kompletniji uvid i kasniju analizu eksperimentalnih podataka o uticaju različitih spoljašnjih faktora na podsvesna emotivna stanja ispitanika putem prilagodljivog softverskog rešenja.



Slika 11. Glavni prozor "MyEmotivator" aplikacije

Kako bi se omogućila primena u najširem mogućem spektru eksperimentalnih uslova, *MyEmotivator* aplikacija je prilagođena upotrebi na mobilnim uređajima. Time se omogućava njeno korišćenje u eksternom okruženju i jednostavna promena lokacije. Takođe, merenja je moguće izvršiti i u slučajevima kada ispitanik nije statičan, pod uslovom da *EPOC+* i mobilni uređaj zadrže propisanu međusobnu udaljenost. Slanje podataka sa *EMOTIV EPOC+* uređaja obavlja se isključivo bežičnim putem korišćenjem *Bluetooth* tehnologije. Iz tog razloga osnovni uslov koji mora da zadovolji uređaj koji pokreće *MyEmotivator* aplikaciju jeste posedovanje *Bluetooth SMART* funkcionalnosti. U odnosu na klasični *Bluetooth* standard, *Bluetooth SMART* omogućava manju potrošnju energije, održavajući približno jednak teorijski opseg komunikacije od približno 100 metara.

Zarad jednostavnosti korišćenja i minimalnog opterećenja grafičkih resursa, sve funkcionalnosti *MyEmotivator* aplikacije smeštene su u okviru glavnog prozora. Dizajnersko rešenje podrazumeva podelu na četiri sekcije u skladu sa različitim programskim modulima koje vizualizuju.

Prvi modul (Slika 11, sekcija 1) je zadužen za skreniranje aktivnih *EPOC+* uređaja i prikazivanje rezultata pretrage u vidu tekstualnog polja koje sadrži naziv uređaja i poseduje mogućnost odabira pritiskom. Aplikacija je u stanju da jednoznačno odredi naziv konektora (kanala) sa koga očitava signal (u skladu sa *International 10–20* standardom) i vizualno prikaže njegov položaj na glavi. Prikazivanje lokacija konektora na glavi korisnika i kvaliteta signala koji se sa njih očitavaju obavljeno je upotrebom dinamički prilagodljivih slika postavljenih preko statičke pozadine skice glave (Slika 11, sekcija 2). U zavisnosti od statusa uređaja i položaja konektora, boja odgovarajućih tačaka (krugova) može varirati od crne (ukoliko konektori nemaju kontakt sa glavom) i crvene (ukoliko nema očitavanja impulsa), preko narandžaste (u slučaju slabog signala), do zelene (kada signal poseduje zadovoljavajuću snagu). U zadatim vremenskim intervalima aplikacija vrši proveru kvaliteta i osvežavanje dinamičkih slika u skladu sa dobijenim vrednostima.

Treća sekcija (Slika 11, sekcija 3) sadrži tekstulna polja sa trenutnim vrednostima šest emotivnih karakteristika i poljem za podešavanje učestalosti merenja podataka (*sample rate*). Kada algoritam koji EEG vrednosti pretvara u odgovarajuće emotivno stanje počne da radi u punom obimu (sa svim neophodnim ulaznim parametrima), boja teksta se menja iz crvene u crnu. Kako bi se sprečilo setovanje nedozvoljenog režima rada uređaja, prilikom unošenja vrednosti u polje za frekvenciju aplikacija obavlja proveru ispravnosti tipa i opsega unete vrednosti (da li je vrednost celobrojna i veća od definisane konstante).

U donjem delu osnovnog prozora aplikacije nalazi se interfejs sa opcijama za slanje i skladištenje podataka (Slika 11, sekcija 4). Za metode slanja podataka na udaljeni računar predviđena su dodatna polja za unošenje potrebnih informacija o adresi servera i parametrima konekcije (u slučaju *MySql* baze). Dodatne opcije vezane za konkretan metod prikazuju se u zasebnom *dialog* prozoru koji se poziva pritiskom na željeno dugme. Ovako koncipiran dizajn omogućava istovremeni pregled svih operacija koje aplikacija obavlja i jednostavno upravljanje statusom mobilnog i *EPOC+* uređaja. Zbog univerzalnosti, interfejs je rađen na engleskom jeziku.

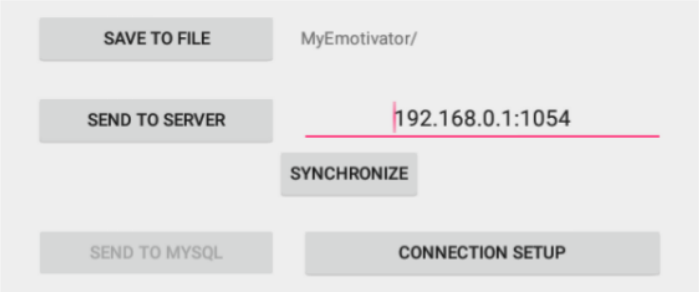
Preporučena procedura za početak rada sa *EMOTIV EPOC+* uređajem podrazumeva uključivanje uređaja pre pokretanja aplikacije i pretragu aktivnih uređaja po *Bluetooth* domenu (Slika 11, sekcija 1). Ubrzo po uključivanju, uređaj odašilja *Bluetooth* signal sa informacijama o svom tipu i nazivu. Aplikacija poseduje mehanizam skeniranja svih aktivnih *Bluetooth* konekcija, filtriranje sa ciljem izdvajanja *EPOC+* uređaja iz domena, a zatim i njegovo prikazivanje u okviru glavnog

prozora. Nije na odmet napomenuti, iako je kompanija *EMOTIV*, pored *EPOC+*, razvila još jedan bežični EEG uređaj sa 5 kanala - *Insight* (koji poseduje sličan *core* interfejs), *MyEmotivator* aplikacija je ograničena na čitanje i uparivanje isključivo sa *EPOC+* uređajima.

Odabirom željenog *EPOC+* uređaja inicira se njegovo povezivanje sa aplikacijom. U regularnim uslovima procedura konektovanja traje 1-2 sekunde. Vreme čekanja se može produžiti kao posledica velike fizičke udaljenosti *EPOC+* i mobilnog uređaja ili slabe baterije. Po uspešnom uparivanju zaustavlja se mehanizam aktivnog skeniranja novih uređaja i započinje faza proveravanja kvaliteta signala na konektorima koji se nalaze na glavi korisnika. Definisana su tri moguća nivoa snage signala: bez signala, loš signal i dobar signal. Loš kvalitet može biti posledica nedovoljne provodljivosti konektora, lošeg kontakta sa kožom glave korisnika ili slabe baterije. U skladu sa detektovanim nivoom, u osnovnom prozoru na odgovarajućoj slici pozicije konektora će biti obeležene određenom bojom - crnom, crvenom, narandžastom ili zelenom (Slika 11, sekcija 2).

Podrazumevana frekvencija očitavanja vrednosti emotivnih stanja je dva puta u sekundi (500 ms). Svaka od šest dobijenih vrednosti (*Interest, Engagement, Excitement, Stress, Relaxation, Focus*) kreće se u opsegu od 0 do 100, pri čemu 100 predstavlja maksimalni nivo određene emocije za datog korisnika, a 0 teoretski minimum. Boja teksta prikazanih vrednosti dodatno ukazuje na ispravnost očitavanja podataka sa uređaja, odnosno, ukoliko postoji problem sa signalom nekog kanala, boja odgovarajućeg teksta se menja u crvenu (Slika 11, sekcija 3).

Aplikacija poseduje tri metoda snimanja podataka – na lokalnom uređaju, preko *MySql* servera i na udaljenom serveru primenom sinhronizacije sa razvijenom platformskom arhitekturom (Slika 12). Snimanje podataka na eksternu memoriju mobilnog uređaja je najpouzdaniji metod, sa najmanjom potrošnjom resursa, kod koga je verovatnoća za gubitkom informacija minimalna. Kako bi sistem bio dodatno rasterećen, za ovaj metod je predviđena posebno definisana frekvencija upisa na memoriju, nezavisna od *sample rate* uređaja. Na taj način, podaci se sakupljaju u skladu sa zadatom dinamikom očitavanja (engl. *sample rate*), a zatim u određenim vremenskim intervalima snimaju na ekternu memoriju u predefinisani direktorijum. Za potrebe analize, pored vrednosti šest emotivnih stanja, aplikacija beleži i precizno vreme svakog obavljenog očitavanja u *UNIX Timestamp* formatu. Zbog svojih karakteristika, opisana tehnika je najpogodnija u slučajevima kada se ne zahteva simultana obrada izmerenih vrednosti i interakcija sa korisnikom, već se ekperimentalni ciljevi mogu postići naknadnom analizom snimljenih rezultata.



Slika 12. Odabir željenog metoda skladištenja i slanja podataka

Drugi pristup snimanja podataka podrazumeva različite metode slanja informacija na udaljeni računar putem lokalne mreže ili Interneta. Aplikacija u svojoj trenutnoj verziji sadrži implementaciju dva različita modela daljinskog upravljanja podacima: slanje podataka *MySql* bazi i sinhronizovano slanje podataka udaljenom servisu uz primenu *NTP-like* protokola.

Slanje podataka *MySql* bazi predstavlja najjednostavniji pristup koji nije ograničen isključivo na upotrebu u svrhu kasnije analize, već omogućava obradu podataka i pružanje povratne informacije u realnom vremenu. Korišćenje ovog metoda podrazumeva posedovanje nezavisnog *MySql* servera povezanog na mrežu, sa kreiranom bazom podataka koja poseduje precizno definisanu strukturu. Komunikacija sa bazom se obavlja posredstvom *Java Database Connectivity* (*JDBC) Java* interfejsa, čime je omogućeno jednostavno slanje upita upotrebom standardnih iskaza (*SELECT*, *INSERT*...). Kreirana tabela na serverskoj strani mora da ima predefinisani naziv **Records** i pored primarnog ključa sadrži sedam polja celobrojnog tipa: *Timestamp*, *Interest*, *Excitement*, *Engagement*, *Stress*, *Relaxation* i *Focus*. Kao potencijalni nedostatak pomenute metode može se navesti njegova relativna nepouzdanost. Naime, u slučaju prekida konekcije sa bazom (do koga dolazi češće nego u slučaju standardne *TCP/IP* konekcije) poslati upit se jednostavno neće izvršiti, što do vodi ili do potpunog gubitka podataka ili do prekida u kontinuitetu poslatih podataka.

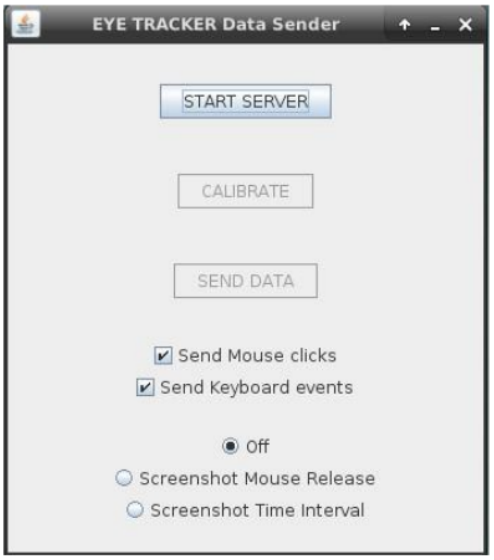
3.3.2.2 AyeEye

Za potrebe prikupljanja podataka uz pomoć *Eye Tribe* uređaja proizvođač je razvio dve odvojene aplikacije - serversku aplikaciju i aplikaciju za kalibrisanje uređaja. Obe aplikacije su dostupne na *Windows* i *MacOS* operativnim sistemima.

Serverska aplikacija je od trenutka pokretanja aktivna u pozadini i predstavlja osnovni interfejs preko koga *eye tracker* uređaj komunicira sa računarom. Njen osnovni zadatak je da sirove podatke koje dobija od uređaja konvertuje u oblik koji je razumljiv za čoveka ili računar i time ih učini pogodnim za dalju obradu i analizu. U kontekstu ovog rada, najkorisnije informacije koje pruža serverska aplikacija jesu koordinate položaja pogleda korisnika.

Osnovni zadatak aplikacije za kalibrisanje uređaja jeste da prilagodi parametre serverske aplikacije specifičnim karakteristikama očiju svakog ispitanika. Za razliku od serverske aplikacije koja jednom pokrenuta ostaje aktivna sve vreme korišćenja uređaja, aplikacija za kalibrisanje se mora iznova koristiti za svakog pojedinačanog korisnika na kome se obavlja merenje. Kalibracija se obalja tako što korisnik pogledom prati položaj kruga koji se kreće po ekranu, pri čemu položaj glave mora ostati statičan. Po okončanju kalibracije *eye tracker* uređaj je spreman za korišćenje.

Kako bi se omogućila sinhronizacija podataka sa *eye tracker* uređaja sa merenjima dobijenim od strane drugih senzora i aplikacija, razvijena je **AyeEye** aplikaciju. Pored svoje osnovne funkcije - da šalje podatke sa *eye tracker* uređaja na platformu za sinhronizaciju, aplikacija prikuplja podatke o položaju i aktivnosti miša i tastature. Osim toga, ugrađena je mogućnost periodičnog snimanja sadržaja ekrana i čuvanje snimaka na lokalnom računaru. Glavni prozor aplikacije (Slika 13) se sastoji od tri sekcije.



Slika 13. Izgled glavnog prozora "AyeEye" aplikacije

Prva sekcija sadrži dugmiće za upravljanje aktivnostima koje aplikacija obavlja u određenom trenutku. Pre početka procesa prikupljanja podataka sa eye tracker uređaja neophodno je pokrenuti generičku serversku aplikaciju (*START SERVER* dugme). Serverska aplikacija se startuje kao pozadinski proces i proverava da li je uređaj priključen na računar i inicira njegovo pokretanje i slanje podataka. Nakon uspešno ostvarene komunikacije sa uređajem, kalibracija uređaja se započinje pokretanjem osnovne aplikacije za kalibraciju koju je razvio proizvođač (*CALIBRATE* dugme). Od korisnika se traži da, držeći glavu u statičnom položaju, pogledom prati kružić koji se kreće po ekranu. Nivo uspešnosti kalibracije se oceljuje brojčano od 0 do 5, pri čemu nula predstavlja neuspešnu kalibraciju, a pet maksimalni nivo uspešnosti. Treća aktivnost aplikacije (*SEND DATA* dugme) predstavlja sinhronizaciju aplikacije sa *HCI-MAP* platformom i slanje podataka korišćenjem platformskog interfejsa. *AyeEye* aplikacija se povezuje sa ranije pokrenutom serverskom aplikacijom uz pomoć postojećeg *API*-ja i podatke koje senzor šalje serveru proseđuje platformi.

Druga sekcija glavnog prozora sadrži opcije koje se tiču beleženja aktivnosti korišćenja miša i tastature. Koordinate kursora miša se automatski prikupljaju i šalju zajedno sa koordinatama položaja pogleda, a dodatno se može odabrati opcija slanja događaja pritiska i otpuštanja tastera miša. Ukoliko se odabere opcija slanja događaja tastature, platformi će biti dostupne informacije o *ASCII* kodu pritisnutog tastera i preciznom vremenu njegovog pritiskanja i otpuštanja.

U nekim eksperimentima je, pored senzorskih podataka, potrebno posedovati informaciju o sadržaju ekrana korisnika u trenutku dešavanja određenih događaja pri interakciji korisnika sa računarom. Zbog toga je, u okviru treće sekcije glavnog prozora aplikacije, omogućen odabir opcija snimanja ekrana na lokalnom računaru. Snimci ekrana u svom nazivu sadrže precizno vreme kada su nastali (u *UNIX timestamp formatu*) kako bi se kasnije mogli povezati sa odgovarajućim događajima.

3.4 Opis eksperimentalnog okruženja

Sva četiri eksperimenta koja su obavljena u svrhu ovog istraživanja sprovedena su uz prethodno dobijen pristanak svih učesnika. Ispitanici su upoznati sa procedurom izvođenja eksperimenta i načinom obrade dobijenih podataka. Neki ispitanici su učestvovali u više eksperimenata. Merenja su obavljena u računarskom kabinetu uz nadzor lica ovlašćenog za sprovođenje eksperimenta kome nisu pružene informacije o identitetu učesnika. Identitet osoba je bio poznat eksternom saradniku čiji zadatak je bio da ispitanike upućuje u računarski kabinet na početku eksperimenta i koji nije bio prisutan u prostoriji u kojoj je eksperiment obavljen. Podaci koji bi povezivali prikupljena merenja sa identitetom ispitanika koji je učestvovao u eksperimentu ni u jednom trenutku nisu beleženi u pisanoj formi ili na digitalnom mediju.

3.4.1 Wisconsin Card Sorting test

WCS je test sortiranja karata prvenstveno namenjen za procenu apstrakcije zdravih ispitanika. Testiranjem je moguće izvršiti procenu sposobnosti planiranja, predviđanja i implementacije namere. Predstavlja jedan od najpopularnijih testova funkcija prefrontalnog korteksa.

WCST eksperiment je sproveden korišćenjem tri senzora: EEG uređaja, uređaja za praćenje pogleda i računarskog miša. Svaki od senzora je obavljao komunikaciju sa sinhronizacijskom platformom putem posebne senzorske, odnosno klijentske aplikacije. Za slanje senzorskih podataka korišćene su navedene *MyEmotivator* i *AyeEye* aplikacije. Podaci o interakciji čoveka sa računarom preko računarskog miša i podaci o uspehu postignutom u toku testiranja prosleđivani su platformi

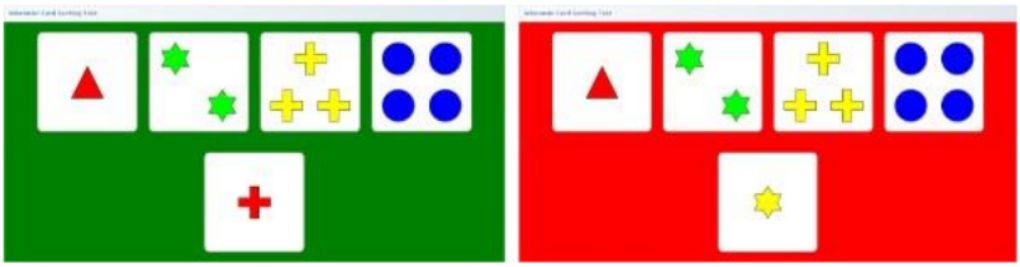
korišćenjem *WCST* klijentske aplikacije. Sekundarni zadatak klijentske aplikacije je da ispitaniku pruži povratne informacije od sistema u vezi sa evaluacijom postignutih rezultata.

3.4.1.1 WCST klijentska aplikacija

WCS test je razvijen u vidu Veb aplikacije, korišćenjem *JavaScript*, *HTML5* i *CSS* jezika. Aplikacija se sastoji od četiri stranice: inicijalizacione, početne, stranice za izbor karata i stranice za prikaz rezultata [5].

Inicijalizaciona stranica se prikazuje tokom učitavanja aplikacije i njen najvažniji aspekt je sinhronizacija sa *HCI-MAP* platformom. Po završetku sinhronizacije prikazuje se početni ekran. Prikazana *HTML* forma omogućava unos imena učesnika i vremenskog ograničenja trajanja testa.

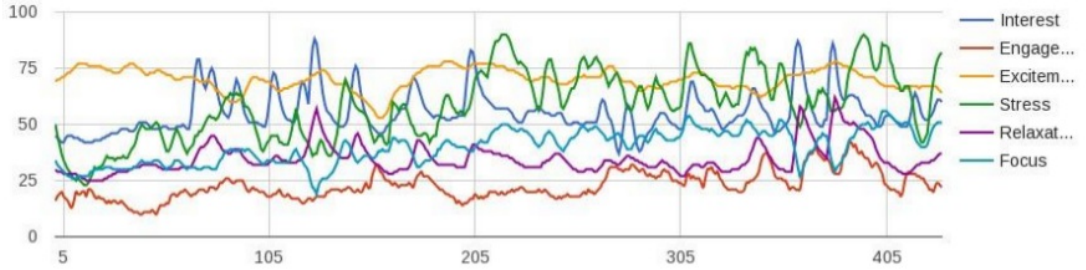
Osnovna stranica aplikacije služi za samo sprovođenje testiranja kroz odabir željene karte iz prikazanog skupa (Slika 14). Od pet prikazanih karata, četiri su statičke i predstavljaju stimuluse, a peta - aktivna prikazana je u donjem redu. Aktivna karta se prikazuje slučajnim odabirom iz špila od 128 karata, a od učesnika se očekuje da izabere jednu stimulusnu kartu koja po nekom kriterijumu (oblik, boja ili broj) odgovara prikazanoj aktivnoj. Tačnost odgovora se označava zvučnim signalom i određenom bojom, zelenom u slučaju tačnog odabira karte i crvenom u slučaju netačnog. Nakon prikazivanja svih 128 karata test se završava i prikazuju se rezultati.



Slika 14. Osnovna stranica nakon odabira tačnog (levo) i netačnog (desno) odgovora

Rezultati *WCS* testa se prikazuju na ekranu odmah po završetku testiranja. Na stranici sa rezultatom se može videti više kvantitativnih podataka: broj tačnih i netačnih odgovora, broj

dostignutih kategorija, broj prikazanih karata pre dostizanja svake kategorije itd. Osim toga, cela sesija je snimljena na platformi i može se eksportovati u *CSV* fajl za detaljniju kvantitativnu i kvalitativnu analizu. Na Slici 15. je prikazan linijski grafikon eksportovan iz EEG signala tokom trajanja jedne sesije, koji se može koristiti za ivođenje dodatnih zapažanja o ponašanju ispitanika tokom testiranja.



Slika 15. Grafikon sa EEG signalima prikupljenim tokom WCST sesije

Sintezom prikupljenih sinhronizovanih podataka o aktivnosti računarskog miša, položaja pogleda i korisničkim akcijama u aplikaciji može se generisati reprodukcija interakcije ispitanika sa računarom u toku trajanja testa.

3.4.1.2 Opis WCST eksperimenta

Istraživanje je sprovedeno na 20 ispitanika koji su predhodno detaljno upoznati sa procedurom samog istraživanja i ulogom korišćenih uređaja. Pored toga obavešteni su da će prilikom merenja podaci o njihovom identitetu biti anonimni, odnosno da će se o njima beležiti samo podaci vezani za pol, starost i nivo obrazovanja.

Osnovni kriterijumi za učestvovanje u ekperimentu podrazumevali su da svi ispitani subjekti imaju visoko obrazovanje ili da su studenti, starosti od 18 do 30 godina i da u svojoj anamnezi negiraju prisustvo neuroloških i psihijatrijskih oboljenja kao i bolesti zavisnosti (Tabela 1).

Tabela 1. Struktura učesnika eksperimenta

Karakteristike ispitanika		Broj ispitanika (u procentima)
POL	Muški	15 (75%)
	Ženski	5 (25%)
STAROST	Prosek (standardna devijacija)	22.9 godina (3.22)
	Opseg	18-29 godina
OBRAZOVANjE	Visoka škola	12 (60%)
	Srednja škola	8 (40%)

Ispitanicima su u računarskoj verziji *Wisconsin Card Sorting* testa na ekranu prikazivane stranice sa prikazane četiri stimulusne karte, od kojih ispitanik treba da odebere onu koja po njegovom mišljenju odgovara aktivnoj karti prikazanoj ispod njih. Ispitanicima je dato uputstvo da je potrebno da otkriju princip sparivanja karata na osnovu povratne informacije od sistema u vidu boje (zelene u slučaju tačnog odabira i crvene u slučaju netačnog) i zvučnog signala. Ispitanici nisu imali informaciju od sistema da li su i kada dostigli kategoriju, niti kada su pravili perseverativne greške i greške u odustajanju od aktuelnog principa sparivanja, tj. greške u održavanju seta. Eksperiment nije bio vremenski ograničen.

3.4.2 Visual Short Term Working Memomy test

VSTWM test predstavlja jedan od načina za procenu vizualne kratkoročne memorije. Vizualna kratkoročna memorija omogućava zadržavanje primljenih vizualnih informacija i njihovu kasniju upotrebu. Važna je za normalno funkcionisanje kognitivnih sposobnosti i izvršavanje svakodnevnih aktivnosti. Informacije koje se zadržavaju u vizualnoj kratkoročnoj memoriji mogu dalje biti obrađene kroz radnu memoriju, mogu biti pretvorene u dugoročnu memoriju, ili jednostavno mogu biti zaboravljene.

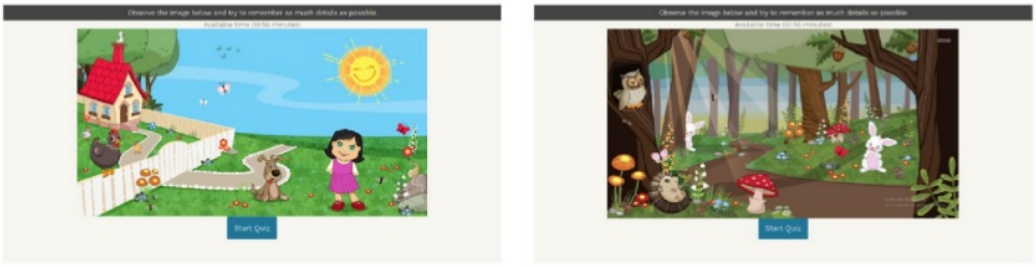
VSTWMT eksperiment je sproveden korišćenjem tri senzora: EEG uređaja, uređaja za praćenje pogleda i računarskog miša. EEG senzor i senzor za praćenje pogleda su komunicirali sa

sinhronizacijskom platformom putem *MyEmotivator* i *AyeEye* aplikacija. Podaci o interakciji čoveka sa računarom preko računarskog miša i podaci o uspehu postignutom u toku testiranja prosleđivani su platformi korišćenjem *VSTWMT* klijentske aplikacije. Po završetku testiranja, klijentska aplikacija je ispitaniku pružala povratne informacije od sistema u vezi sa rezultatima koje postigao u toku trajanja eksperimenta.

3.4.2.1 VSTWMT klijentska aplikacija

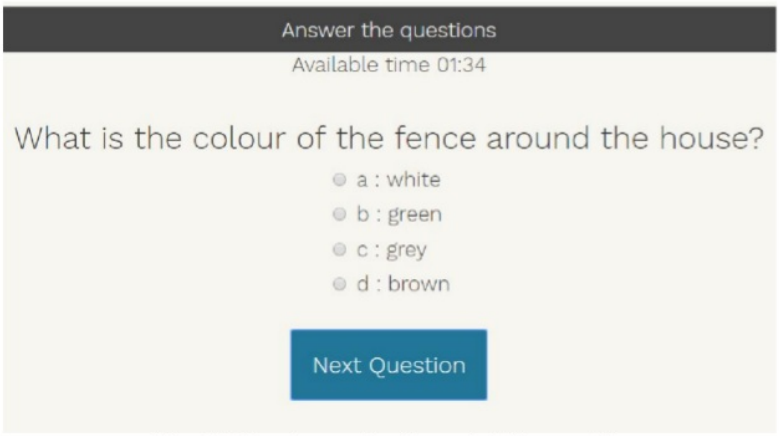
VSTWMT je implementiran u vidu interaktivne Veb aplikacije upotrebom *HTML5*, *JavaScript* i *CSS* tehnologija. Aplikacija se sastoji iz četiri osnovna ekrana: početni ekran, ekran sa slikom koju treba memorisati, ekran sa pitanjima i ekran za prikaz rezultata.

Početni ekran se prikazuje dok se obavalja učitavanje aplikacije i sinhronizacija sa *HCI-MAP* platformom u pozadini. Ekran sadrži dva polja za unos podataka - o imenu korisnika i vremenskog ograničenja trajanja testa. Uneti vremenski okvir se koristi kao interval prikazivanja slike na ekranu i kasnije kao period u okviru koga korisnik mora da pruži odgovor na postavljena pitanja. Po unošenju traženih podataka započinje se prva faza testa - prikazivanje slike sa detaljima (Slika 16).



Slika 16. Stranica za prikaz slike sa detaljima za memorisanje (slika A - levo i slika B - desno)

Zadatak ispitanika je da u zadatom vremenskom intervalu memoriše što je moguće više detalja sa prikazane slike. Po isteku vremena, slika se sklanja sa ekrana i započinje faza prikazivanja pitanja (Slika 17). Sve vreme svoje aktivnosti aplikacija šalje platformi podatke o akcijama koje korisnik obavlja. Pitanja su formulisana na način da testiraju sposobnost učesnika eksperimenta za pamćenjem detalja.



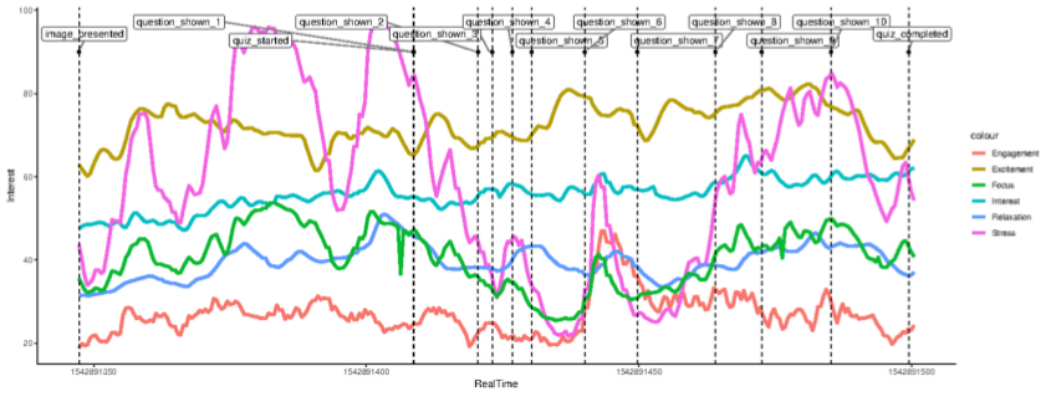
Slika 17. Stranica sa pitanjima o detaljima sa slike

Nakon što korisnik odgovori na sva pitanja ili po isteku vremena predviđenog za odgovaranje na pitanja, na ekranu se prikazuje stranica sa rezultatom. Svaka sesija snimljena na platformi sadrži podatke o nekoliko događaja koji se dešavaju prilikom interakcije sa Veb aplikacijom. Primeri događaja su: prikazana slika (*image_presented*), uklonjena slika (*image_removed*), startovan kviz (*quiz_started*), prikazano pitanje (*question_shown*) itd. Prikupljanjem i eksportovanjem podataka sa *eye tracker* uređaja moguće je dobiti toplotnu kartu (engl. *heat map*) za određenu sliku za svakog pojedinačanog korisnika (Slika 18). Detaljnijom analizom regiona slike koje je korisnik najduže gledao može se pristupiti određivanju korelacija između posmatranih regiona i tačnosti odgovora na pitanja koja se odnose na konkretan region.



Slika 18. Toplotna karta dobijena iz VSTWMT sesije

Sinhronizacijom podataka o akcijama korisnika u okviru *VSTWM* aplikacije i podataka prikupljenih sa korišćenih senzora, mogu se kreirati grafikoni sesija na kojima su predstavljeni preseci konkretnih interakcija korisnika sa računarom i podataka o njegovim emotivnim performansama ili lokaciji pogleda u trenutku izvršene akcije. Na Slici 19. je prikazan primer grafikona sa EEG vrednostima ispitanika u toku *VSTWM* testiranja. Obojene linije na grafikonu predstavljaju vrednosti neke od merenih emotivnih karakteristika sa senzora, a vertikalni preseci prikazuju naziv i tačan trenutak izvršenog događaja na strani klijentske aplikacije.



Slika 19. Primer vizualizacije EEG podataka prikupljenih tokom VSTWMT sesije

3.4.2.2 Opis VSTWMT eksperimenta

U eksperimentu je učestvovalo 12 ispitanika, starosti 17 i 18 godina, podeljenih u dve grupe. Svakom ispitaniku su prikazane dve slike tokom dve sesije snimanja, bez pauze između sesija. U toku prikazivanja prve slike ispitanici su se nalazili u izolovanom okruženju, dok je testiranje na drugoj slici obavljeno u prisustvu publike. Prvoj grupi ispitanika je prezentovana Slika A kao prva slika (u prvoj sesiji), a Slika B kao druga slika (u drugoj sesiji). Da bi se ostvarila razlika u zavisnosti dobijenih podataka od redosleda gledanja slika i vrste slike koju je ispitanik gledao, drugoj grupi ispitanika slike su prikazane u obrnutom redosledu (prvo Slika B, a zatim Slika A). Učesnici su nosili EEG uređaj na glavi i kompletna sesija je snimana uz pomoć *MyEmotivator* aplikacije. Postavka eksperimenta je prikazana na Slici 20.



Slika 20. Učesnici sa EEG opremom u toku trajanja VSTWMT eksperimenta

Na početku svake sesije, ispitaniku je na ekranu prikazivana odgovarajuća slika u trajanju od jednog minuta, sa prethodnim instrukcijama da zapamti što je moguće više detalja sa slike. Nakon toga, ispitanik je imao dva minuta da odgovori na 10 pitanja o detaljima sa slike. Po završetku testa, aplikacija je prikazivala broj tačnih odgovora na postavljena pitanja.

U eksperimentu je prikupljeno ukupno 11 kompletnih merenja. Za svakog korisnika, dobijena su dva skupa podataka, jedan sa merenjima koja se odnose na prvu prikazanu sliku i drugi koji se odnosi na drugu prikazanu sliku. Na kraju, prikupljeno je 23 validna skupa podataka za klasifikaciju - 11 kompletnih skupova (sa podacima iz obe sesije) i jedan skup koji sadrži delimične podatke od ispitanika sa brojem 12 (sa snimljenim podacima u toku gledanja Slike A, druge po redu).

Prikupljeni podaci su organizovani po broju ispitanika, broju pitanja, vrsti slike (Slika A ili Slika B), redosledu prikazivanja slike (slika prikazna u prvoj ili drugoj sesiji) i tačnosti odgovora korišćenjem sledećih svojstava:

A. Prosečne vrednosti šest emotivnih stanja

Dobijene vrednosti izmerenih emotivnih stanja sa EEG signala su apsolutne i variraju u opsegu od 0 do 100. Korišćena su tri svojstva (minimalna, maksimalna i prosečna vrednost [aritmetička sredina]) za svako emotivno stanje. Na ovaj način, dobijeno je ukupno 18 svojstava

(*interest min*, *interest max*, *interest avg*, *engagement min*, *engagement max, engagement avg* itd.). Vrednosti ovih svojstava su određene za svaki vremenski interval između dva uzastopna *question_shown* događaja (uključujući prvi *image_presented* i poslednji *quiz_completed* događaj) za svaku pojedinačnu korisničku sesiju. Svojstva su izračunata za datog ispitanika, u odnosu na prikazanu sliku i pitanje. Tako, na primer, dobijene su minimalna, maksimalna i prosečna vrednost svakog emotivnog stanja za ispitanika broj 1, dok je odgovarao na pitanje broj 1, kada je Slika A bila prikazana kao prva slika u nizu, bez prisustva publike.

B. Vremenski period odgovaranja na pitanja ili gledanja slike

Korišćenjem *HCI-MAP* i razvijenog sinhronizacijskog protokola, akcije korisnika na klijentskoj aplikaciji su beležene u milisekundama. To je omogućilo da se dobije tačan vremenski interval koji je ispitanik proveo odgovarajući na svako pojedinačno pitanja i posmatrajući sliku. Postoji ukupno 11 vrednosti ovog svojstva koje su prikupljene za svaku korisničku sesiju (10 pitanja i 1 period gledanja slike).

V. Normalizovana prosečna vrednost šest emotivnih stanja

Različite karakteristike ličnosti uzrokuju razlike u intenzitetu emotivnih reakcija na spoljašnje stimuluse koje se reflektuju kroz varijacije u maksimalnim i minimalnim vrednostima emotivnih stanja. Iz tog razloga, uvedeno je novo, relativno svojstvo: normalizovana prosečna vrednost emotivnog stanja. Ovo svojstvo opisuje relaciju između svake prosečne vrednosti emotivnog stanja i maksimalne vrednosti tog emotivnog stanja u toku trajanja sesije. Izračunava se po formuli:

$$NV = AV/MSV$$

gde je:

NV - normalizovana vrednost emotivnog stanja

AV - prosečna vrednost (aritmetička sredina) emotivnog stanja

MSV - maksimalna vrednost emotivnog stanja u toku sesije

Ovako dobijene vrednosti svojstva varijaju u opsegu od 0 do 1. Njegovim korišćenjem u procesu klasifikacije, u nekim slučajevima, povećan je procenat uspešne klasifikacije za približno 10%.

U ovom eksperimentu je postavljeno nekoliko početnih hipoteza. Prva se odnosi na prisustvo publike tokom testa. Očekivali smo da prisustvo publike predstavlja ometajući faktor za ispitanike što će se manifestovati kroz veći broj pogrešnih odgovora i primetnom razlikom u novou stresa i fokusa koja će moći da se detektuje putem kvantitativne analize. Osim toga, očekivali smo da prisustvo publike poveća nivo stresa ispitanika, što je moguće potvrditi analizom EEG podataka. Takođe, očekivali smo da će koncentracija biti veća dok ispitanici posmatraju sliku u odnosu na period odgovaranja na pitanja, a za svako pitanje na koje ispitanik da pogrešan odgovor, nivo stresa će biti povišen.

3.4.3 mTutor test

Jedan od najvećih izazova je pronaći način da elektronska procena znanja u što većoj meri oslikava realno znanje i veštine ispitanika. Psihološko stanje ispitanika u toku testiranja se najčešće ignoriše, što predstavlja uzrok čestih pritužbi studenata da su stresni uslovi uticali na postizanje boljih rezultata.

mTutor eksperiment je sproveden korišćenjem dva senzora: EEG uređaja i računarskog miša. EEG senzor je obavljao komunikaciju sa sinhronizacijskom platformom putem *MyEmotivator* aplikacije. Podaci o interakciji čoveka sa računarom preko računarskog miša i podaci o uspehu postignutom u toku testiranja prosleđivani su platformi korišćenjem *mTutor* klijentske aplikacije. *mTutor* aplikacija je na kraju testiranja ispitanicima pružala povratne informacije od sistema u vezi sa postignutim rezultatima.

3.4.3.1 mTutor aplikacija

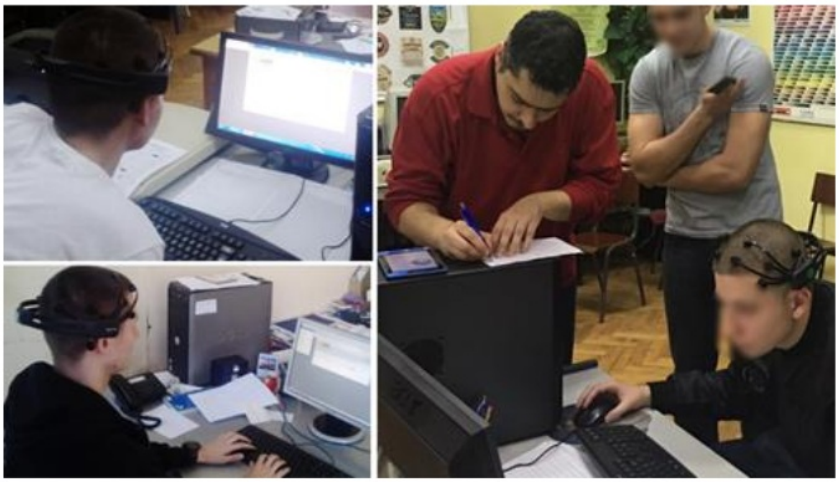
Platforma za elektronsko testiranje koja je korišćenja u ovom eksperimentu je razvijena pod nazivom *MTutor*. Realizovana je u fomi veb aplikacije koja omogućava elektronsku proveru znanja studenata korišćenjem pitanja sa jednim i više tačnih odgovora (engl. *single* i *multi choise questions*). Sastoji se od dve osnovne sekcije – za nastavnike i za studente. Nastavnička sekcija služi za kreiranje pitanja i odgovora, kao i definisanje parametara testa. U studentskom delu aplikacije, nakon prijavljivanja studenta na sistem, slučajnim redosledom prikazuju se pitanja i ponuđeni odgovori (Slika 21). Nakon odabira željenog(ih) odgovora, sistem prelazi na sledeće pitanje. Tokom celokupnog trajanja testa student može da vidi broj preostalih pitanja i vreme koje mu je na raspolaganju. Strategija ocenjivanja je takva da ne postoje negativni poeni za netačan odgovor, delimično tačan odgovor boduje se određenim procentom, a u slučaju pitanja sa više tačnih odgovora, odabir jednog netačnog odgovora povlači sa sobom oduzimanje svih poena za to pitanje.



Slika 21. mTutor platforma - Studentski interfejs

3.4.3.2 Opis eksperimenta sa elektronskom proverom znanja

U eksperimentu je učestvovalo 35 ispitanika, muškog pola, starosti 17 i 18 godina. Svi učesnici pohađaju predmet "Osnovi veb dizajna" u okviru redovnog srednješkolskog programa. Sadržaj predmeta je iskorišćen za izradu pitanja koja su korišćena pri kreiranju testa. Učenici poseduju osnovna znanja o radu na računaru i obradi teksta koja su stekli u toku svog školovanja. Eksperiment je sproveden u kontrolisanom okruženju u školskom računarskom kabinetu upotrebom *MTutor* elektronskog sistema (Slika 22).



Slika 22. Ispitanici nose EEG opremu tokom mTutor eksperimenta

Pitanja na testu su sadržala materijale koji su učenicima bili poznati sa ranijih predavanja. Učenicima je rečeno da će njihovi rezultati na testu biti vrednovani, a da će prikupljeni podaci biti iskorišćeni za unapređenje predmetne nastave. Učesnici su test radili samostalno, pod nadzorom nastavnika, noseći *EMOTIV EPOC++* uređaj na glavi. Problemi sa sinhronizacijom koji su se javljali tokom eksperimenta usled nestabilne Internet veze doveli su do toga da su podaci od 8 ispitanika odbačeni kao nepotpuni ili nevalidni.

Iz skupa od ukupno 50 *single-choise* pitanja, sistem je za svakog ispitanika kreirao nezavisan test sa slučajnim redosledom pitanja i odgovora. Vremensko ograničenje je postavljeno na 5 minuta, po čijem isteku se test prekida i ispitaniku prikazuju postignuti rezultati. Takođe, ispitanicima je data instrukcija da pokušaju da odgovore na što više pitanja u zadatom vremenu.

Kako bi se dobilo što je moguće više podataka o različitim emotivnim reakcijama ispitanika, pitanja su po težini i sadržaju podeljena u pet grupa – tri grupe "regularnih" pitanja (sa jednim tačnim odgovorom i tri težine): **laka** (*LDQ*), **srednja** (*MDQ*) i **teška** (*HDQ*) i dve grupe "specijalnih pitanja": **zabavna** (*FQ*), sa tačnim odgovorom koji je očigledan jer su ostali zabavnog karaktera i **nemoguća** (*ImQ*), koja nemaju tačan odgovor. Regularna pitanja su kategorisana u grupe naknadno, na osnovu procenta tačnih odgovora.

3.4.4 AC test

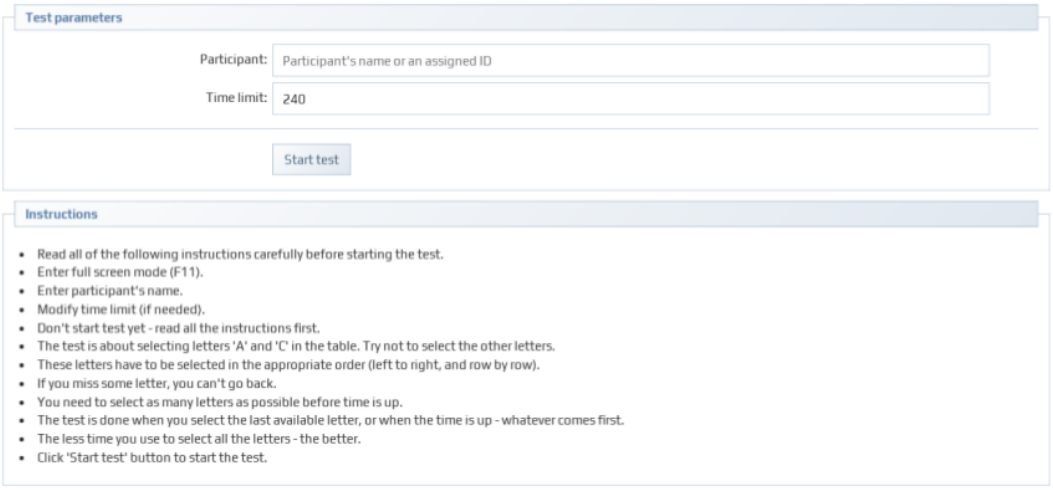
AC Test se koristi za ispitivanje vigilnosti i fleksibilnosti pažnje. Spada u grupu "testova precrtavanja slova" (engl. *Letter Cancellation Task*). Rezultat testa se formira u odnosu na ukupan broj tačno zaokruženih slova i ukupan broj grešaka. Ukoliko je pozicija grešaka dominanta na nekoj od strana, to može ukazati na potencijalno postojanje sindroma jednostranog zanemarivanja.

AC eksperiment je sproveden upotrebom tri senzora: EEG uređaja, uređaja za praćenje pogleda i računarskog miša. Svaki od senzora je obavljao komunikaciju sa sinhronizacijskom platformom putem posebne senzorske, odnosno klijentske aplikacije. Slanje podataka sa EEG uređaja i uređaja za praćenje pogleda vršeno je korišćenjem *MyEmotivator*, odnosno *AyeEye* aplikacije. Podaci dobijeni sa računarskog miša prosleđeni su platformi preko *AC* klijentske aplikacije. Osim toga, klijentska aplikacija je imala zadatak da platformi pruži podatke o rezultatima koje je ispitanik postigao tokom testiranja i ispitanika obavesti o broju i tipu grešaka.

3.4.4.1 ACT klijentska aplikacija

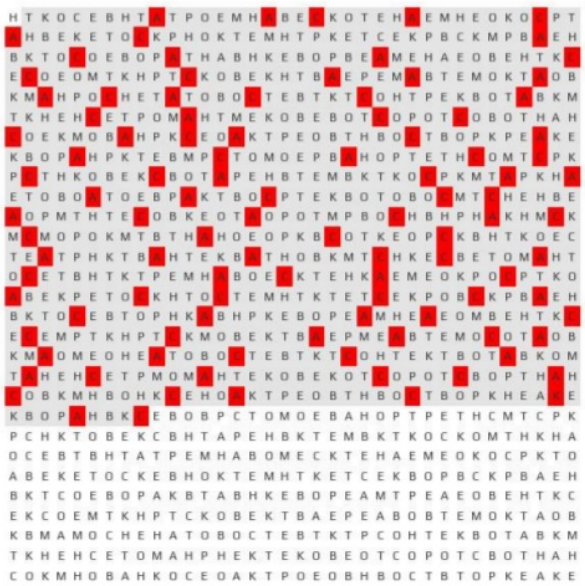
Prednosti računarske verzije *AC* testa u odnosu na standardnu verziju su: veći kapacitet za brzo testiranje velikog broja ispitanika; sposobnost merenja performansi na vremenski osetljivim zadacima, kao što je precizan trenutak odabira slova; smanjenje troškova koji se odnose na administraciju testa i bodovanje; mogućnost korišćenja testa na različitim jezicima; automatizovana obrada podataka i utvrđivanje oštećenja; povećana dostupnost pacijentima u oblastima u kojima postoji deficit stručne neuropsihološke usluge; i automatizovano generisanje statističkih i normativnih rezultata.

AC Test je realizovan u formi Veb aplikacije primenom *HTML5*, *JavaScript* i *CSS* tehnologija. Aplikacija se sastoji iz tri osnovna ekrana: početni ekran, ekran sa prikazom testa i ekran sa rezultatima. Početna stranica aplikacije omogućava unos imena korisnika i vremenskog ograničenja trajanja testa. U donjem delu nalazi se uputstvo u kome su taksativno navedena pravila i zadatak testa (Slika 23).



Slika 23. Izgled početnog ekrana ACT aplikacije

Nakon unošenja traženih podataka, korisnik prelazi na glavni ekran aplikacije u kome je prikazan sadržaj samog testa. U 29 redova prikazano je 36 slova u svakom redu, a korisnik ima mogućnost da pritiskom miša odabere željeno slovo (Slika 24). Odabrano slovo menja boju u crvenu, a slova koja mu prethode u sivu, čime se implicira da su nedostupna za selektovanje (jedno do pravila testa jeste da se ispitanik ne može zaokruživati slova koja je preskočio). Zadatak ispitanika je da odabere što je moguće više slova 'A' i 'C' pre isteka predviđenog vremena za rad (podrazumevana vrednost je 4 minuta).

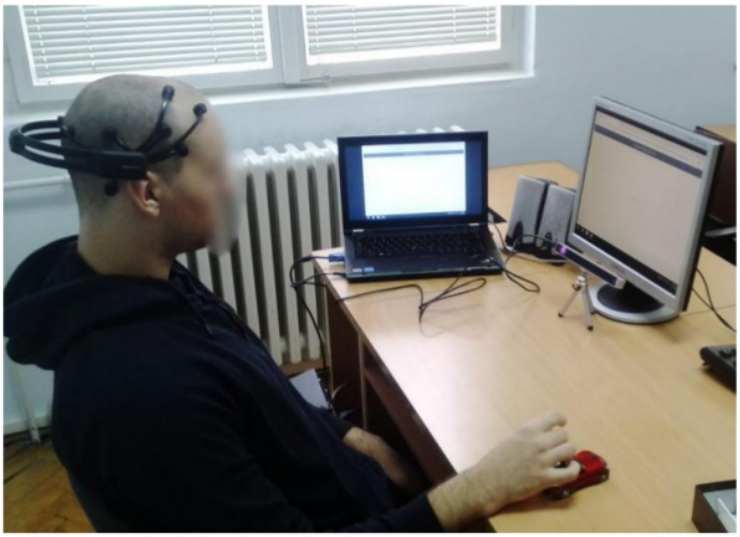


Slika 24. Izgled glavnog ekrana "A C testa"

Po isteku vremena ili po završetku testiranja (kada ispitanik odabere poslednje raspoloživo slovo), prikazuje se ekran sa rezultatom. Na ovom ekranu su dostupni podaci o ukupnom broju tačnih odgovora (zaokruživanja), o broju tačnih odgovora grupisanih na levoj, centralnoj i desnoj strani ekrana, kao i podaci o broju grešaka i propuštenih slova grupisanih po regionima (levo, centralno, desno).

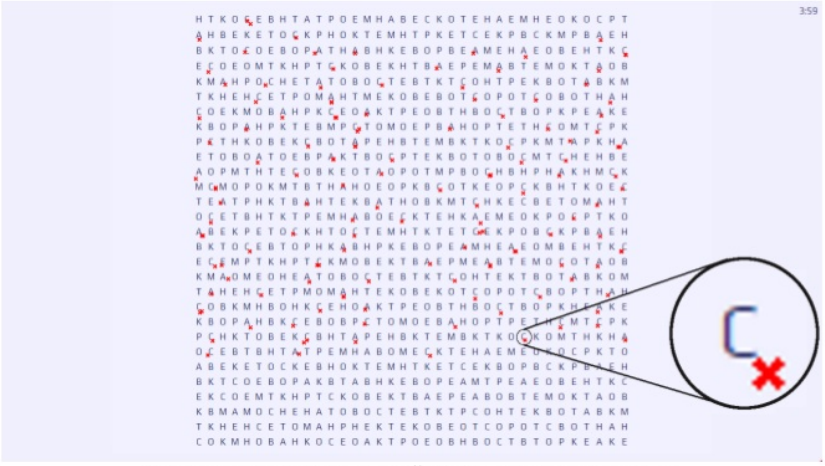
3.4.4.2 Opis ACT eksperimenta

U eksperimentu je učestvovalo osamnaest ispitanika, starosti od 17 do 23 godine. Testiranje je izvršeno na računarskoj verziji *AC* testa u izolovanom okruženju. Ispitanici su nosili prenosivi EEG uređaj na glavi, a ispred njih bio postavljen senzor za praćenje položaja pogleda (Slika 25). Kriterijumi za odabir ispitanika su bili poznavanje osnova rada na računaru i negiranje postojanje neuroloških oboljenja.



Slika 25. Ispitanik sa EEG uređajem i uređajem za praćenje položaja pogleda u toku AC testa

Po pokretanju aplikacije na ekranu se prikazuje upustvo sa zadatkom za rešavanje. Učesnicima je sugerisano da je vreme za izradu testa ograničeno na 4 minuta i da sami odrede svoju dinamiku rada. Beleženje preciznih podataka o interakciji ispitanika sa aplikacijom omogućilo je naknadnu izradu vizualne reprezentacije snimljene sesije u formi ekrana sa precrtanim (obeleženim) slovima koja je korišćena za dodatnu analizu rezultata od stane ljudi (stručnog kadra) (Slika 26).



Slika 26. Lokacije kliktanja miša u toku trajanja "A C testa"

4 ANALIZA REZULTATA

4.1 Rezultati Wisconsin Card Sorting testa

Kako bi se procenila efikasnost računarski realizovanog *WCS* testa, dobijeni rezultati su upoređeni sa normativnim vrednostima standardnog *WCS* testa [94]. Izvršeno je poređenje vrednosti četiri faktora: broja dostignutih kategorija, broja pokušaja do prve kategorije, perseverativnih grešaka i grešaka u održanju seta (Tabela 2). Rezultati ispitivanih egzekutivnih funkcija dobijeni putem računarske verzije testa pokazuju da su ispitanici ostvarili manji broj kategorija (AS = 3.9) u odnosu na normativne vrednosti testa (AS = 5.9) za odgovarajući uzrast. Prosečan broj pokušaja do postizanja prve kategorije u našem ispitanom uzorku je značajno veći (AS = 37.4) u odnosu na normativne vrednosti (AS = 12.2). Postignut je značajno manji broj perseverativnih odgovora u ispitanom uzorku (AS = 4.8) u odnosu na normativne vrednosti testa odgovarajuće za uzrast (AS = 10.3). Rezultati grešaka u održavanju seta u ispitivanom uzorku su proseku 1.00, dok su normativne vrednosti za ovu stavku u proseku 1.83.

Tabela 2. Rezultati učesnika eksperimenta u odnosu na normativne vrednosti

Parametar	Normativne vrednosti WCS testa		Računarski WCS test	
	aritm. sred.	stand. devijac.	aritm. sred.	stand. devijac.
Broj kategorija	5.90	0.50	3.90	2.49
Broj pokušaja do prve kategorije	12.20	3.90	37.40	32.61
Perseverativne greške	10.30	6.40	4.80	3.82
Greške u održanju seta	1.83	1.87	1.00	0.97

U Tabeli 3. prikazano je prosečno vreme do postizanja prve kategorije i ukupno vreme trajanja testa. U ispitanom uzorku prosečno vreme za dostizanje prve kategorije je 151.5 sekundi. Ukupno

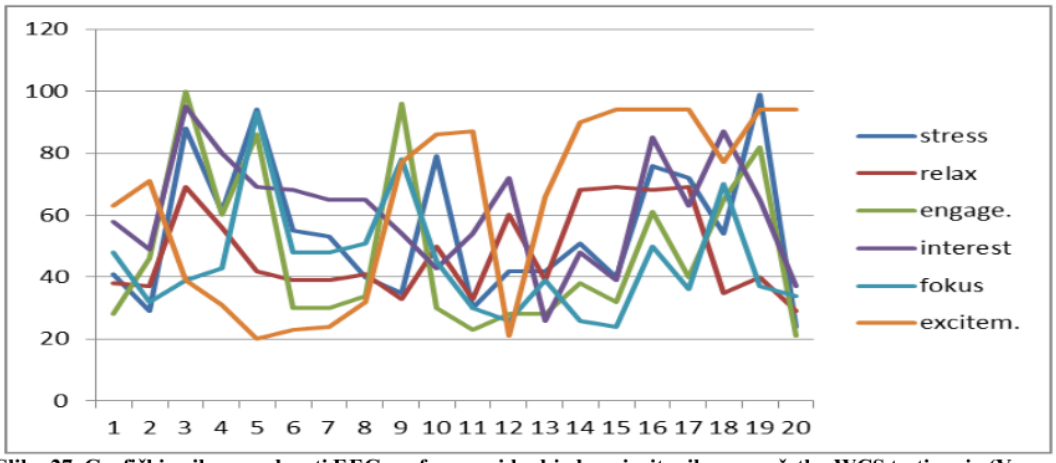
vreme za rešavanje testa u proseku je bilo 616.6 sekundi, a minimalno i maksimalno vreme rešavanja testa su 350 sekundi, odnosno 1985 sekundi.

Tabela 3. Postignuto vreme egzekutivnih funkcija učesnika eksperimenta

Parametar	Vreme u sekundama			
	aritm. sred.	stand. devijac.	aritm. sred.	stand. devijac.
Vreme do prve kategorije	151.5	130.7	32	506
Ukupno vreme rešavanja testa	616,6	357,3	350	1985

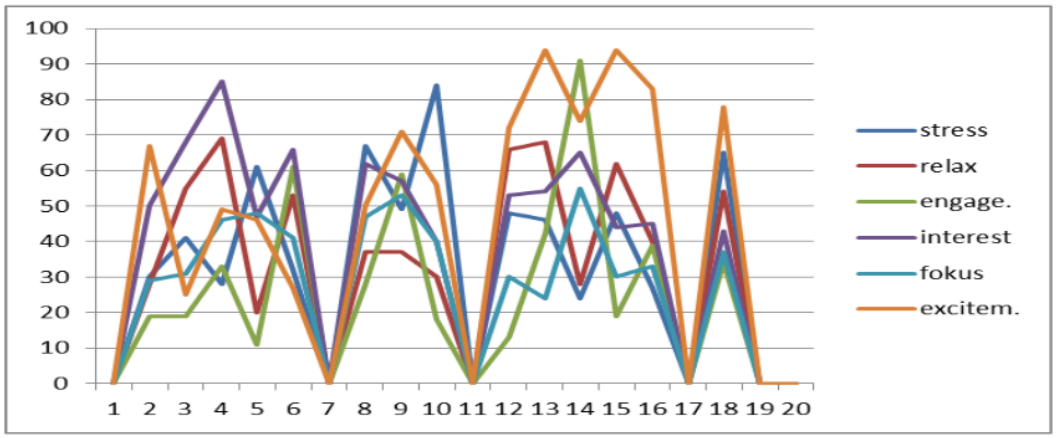
Za potrebe ovog istraživanja analizirani su prikupljeni podaci o emotivnim stanjima ispitanika u pet karakterističnih intervala rešavanja testa: u trenutku kada su započinjali test, kada su postigli prvu kategoriju, kada su pravili perseverativne greške, kada su odustajali od aktuelnog principa (greške u održanju seta) i na samom kraju testiranja.

Analiza podataka dobijenih sa EEG uređaja pokazuje da je na početku testiranja kod 10 ispitanika (50%) registrovano uzbuđenje u rasponu od 80-100%. Angažovanje u istom rasponu registrovano je kod 4 ispitanika, dok su pojedinačno stres i interesovanje registrovani kod troje ispitanika u rasponu od 80-100%. Ostale detektovane osobine kod preostalih ispitanika su u rasponu od 20-80% i u pozitivnoj korelaciji (Slika 27).



Slika 27. Grafički prikaz vrednosti EEG performansi kod jednog ispitanika na početku WCS testiranja (Y osa - vrednosti EEG performansi, X osa - vreme u sekundama)

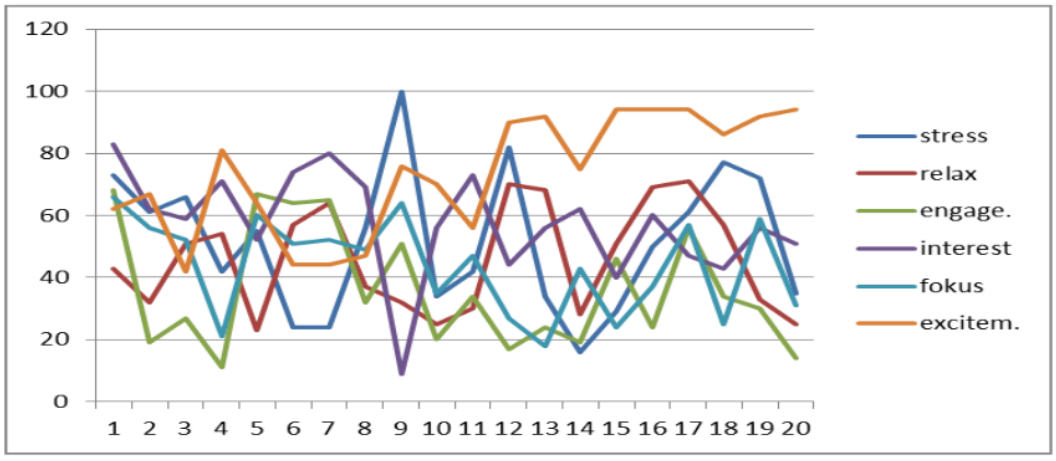
Prilikom postizanja prve kategorije podaci pokazuju da se interesovanje registruje kod 7 ispitanika u rasponu od 80-100%, uzbuđenje kod 6 ispitanika u rasponu od 80-100%, dok se stres registruje kod troje ispitanika u rasponu od 80-100%. Detektovane osobine kod preostalih ispitanika su u međusobnoj korelaciji u rasponu od 20-80%. Prilikom davanja perseverativnih odgovora, kod četvoro ispitanika registrovano je uzbuđenje u rasponu od 80-100%. Kod petoro ispitanika, detektovane osobine su u korelaciji i beleže značajan pad ispod 10%. Kod ostalih ispitanika detektovane osobine su u korelaciji i rasponu u od 10-70% (Slika 28).



Slika 28. Grafički prikaz vrednosti EEG performansi kod jednog ispitanika kod perseverativnih grešaka (Y osa - vrednosti EEG performansi, X osa - vreme u sekundama)

Kada je reč o greškama u održanju seta, kod četvoro ispitanika se detektuje uzbuđenje u rasponu od 80-90%. Angažovanje, opuštenost i fokus, registruju se u rasponu od 20-55%. Takođe, kao i kod perseverativnih odgovora, kod grešaka u održanju seta, kod šestoro ispitanika, detektovane osobine su u korelaciji i beleže značajan pad ispod 10%.

Na kraju testiranja EEG podaci pokazuju da kod 10 ispitanika uzbuđenje nastavlja da perzistira u rasponu od 80-95%, dok su stres i interesovanje kod dvoje ispitanika u rasponu od 80-100%. Kod jednog ispitanika beleži se negativna korelacija visoko procentualno zastupljenog stresa i nisko procentualno zastupljenog interesovanja. Ostale ispitivane osobine kreću se u rasponu od 20-80% (Slika 29).



Slika 29. Grafički prikaz vrednosti EEG performansi kod jednog ispitanika na kraju testa (Y osa - vrednosti EEG performansi, X osa - vreme u sekundama)

Na samom početku testiranja, kod ispitanika se kao najzastupljenija osobina javlja uzbuđenje, a zatim angažovanje, odmah zatim stres i interesovanje, dok su ostale registrovane osobine u međusobnoj korelaciji sa nižim procentom zastupljenosti. Prilikom postizanja prve kategorije, najzastupljenija detektovana osobina je interesovanje, a uzbuđenje i stres i dalje nastavljaju da perzistiraju. Analizom rezultata detektovanih osobina u toku mentalnog angažovanja, prilikom davanja perseverativnih odgovora, uzbuđenje kao osobina se održava, dok interesovanje i angažovanje opadaju. Interesantan rezultat u ovom slučaju postižu petoro ispitanika, kod kojih su sva detektovana osećanja u međusobnoj korelaciji i potpunom padu ispod 10%. Veoma sličan rezultat detektovanih osobina dobijenih kod perseverativnih odgovora, dobijen je i kod pojave grešaka

odustajanja od seta. Uzbuđenje je konstantno prisutno, zatim interesovanje i stres, sve u rasponu od 80-100%. Kao i kod perseverativnih odgovora, i kod grešaka odustajanja od seta, kod šestoro ispitanika prisutna je korelacija svih detektovanih osobina sa niskim procentom zastupljenosti (ispod 10%). Rezultati pokazuju da i na samom kraju testiranja, uzbuđenje ostaje najčeše detektovana osobina u visokom rasponu (80-100%), a zatim slede stres i interesovanje u istom rasponu. Na kraju, opuštenost i fokus kao detektovane osobine se uvek registruju u rasponu od 20-70% i u stalnoj su korelaciji sa ostalim osobinama.

4.2 Rezultati Visual Short Term Working Memory testa

U postupku obrade podataka dobijenih u toku *VSTWM* testa korišćena je kvantitativnu i kvalitativnu analizu podataka. Kvantitativna analiza podrazumevala je korišćenje različitih klasifikacionih algoritama u postupku određivanja korelacije između odabranih svojstava i redosleda prikazivanja slike, vrste slike i tačnosti odgovora, sa ciljem otkrivanja mogućnosti pridviđanja toka ili ishoda eksperimenta na osnovu prikupljenih podataka o interakciji između čoveka i računara.

Kvalitativna analiza za cilj ima da opiše promene emotivnih stanja ispitanika u odnosu na različite eksperimentale uslove i različite faze eksperimenta. Na primer, posmatrane su varijacije emotivnih stanja na nivou ispitane grupe u trenutku kada su ispitanici prelazili iz faze gledanja slike na fazu odgovaranja na pitanja. Takođe, analizirane su razlike u vrednostima emocija u zavisnosti od vrste i redosleda slike koju su ispitanici posmatrali, odnosno, da li je u trenutku testiranja ispitanik bio u prisustvu publike.

4.2.1 Rezultati klasifikacije

U ovom radu, podaci su klasifikovani u odnosu na tri klase: **1. redosled prikazivanja slike** (slika prikazana prva ili druga po redu [odnosno, sa ili bez prisustva publike]); **2. vrsta slike** (Slika A ili Slika B) i **3. tačnost odgovora** (slika, tačno, netačno). Klasifikacija je izvršena korišćenjem četiri klasifikaciona algoritma: *Naive Bayes*, *Support Vector Machine*, *K-nearest neighbors* (KNN) i

Random Forest. U ovom radu su prezentovana dva najbolja postignuta rezultata klasifikacije. Za pripremanje podataka i klasifikaciju je korišćen softver *Weka*, verzije 3.8.3.

4.2.1.1 Redosled prikazivanja slike

Svakom navedenom klasifikatoru su prezentovane dve klase: slika prikazana PRVA po redu i slika prikazana DRUGA po redu. Klasifikacija je izvršena sa i bez (korišćenjem samo EEG podataka) svojstva *vremenskog perioda odgovaranja na pitanja* kao klasifikacionog atributa.

U slučaju kada je korišćeno svojstvo *vremenskog perioda*, najbolji rezultat je postignut korišćenjem **KNN** (k-najbližih suseda) klasifikatora, sa faktorom **k = 1** i Euklidskom distancom kao metrikom za pretragu udaljenosti instanci (Tabela 4). Od ukupno 253 instance, ispravna klasifikacija je izvršena na 228, što predstavlja preciznost od **90.12%** za kros-validaciju (engl. *cross-validation*) (Tabela 4A) i **86.05%** kada je klasifikator treniran sa 66% dostupnih podataka (Tabela 4B). Klasifikacija je, takođe, izvršena sa vrednošću faktora k = 2 (84.19% u slučaju kros-validacije; 86.05% sa 66% podataka za treniranje), k = 3 (85.38% kros-validacija; 86.05% sa 66% podataka za treniranje) i k = 7 (81.82% kros-validacija; 86.05% sa 66% podataka za treniranje).

Tabela 4. Redosled prikazivanja slike, rezultati KNN klasifikatora (k = 1) - sa svojstvom *vremenskog perioda* kao atributom

A. Kros-validacija

PRVA	DRUGA	<-- klasifikovano kao
106	15	PRVA
10	122	DRUGA

B. Treniranje sa 66% podataka

PRVA	DRUGA	<-- klasifikovano kao
33	3	PRVA
9	41	DRUGA

Sa korišćenjem svojstva *vremenskog perioda* kao atributa, drugi najbolji rezultat je ostvaren upotrebom *Random Forest* klasifikacionog algoritma, sa brojem iteracija postavljenim na 100 i neograničenom dubinom drveta. U ovom slučaju procenat ispravno klasifikovanih instanci iznosi 85.38% za kros-validaciju i 86.05% sa treniranjem na skupu od 66% podataka (Tabela 5).

Tabela 5. Redosled prikazivanja slike, rezultati Random forest klasifikatora - sa svojstvom *vremenskog perioda* kao atributom

A. Kros-validacija

PRVA	DRUGA	<-- klasifikovano kao
105	16	PRVA
21	111	DRUGA

B. Treniranje sa 66% podataka

PRVA	DRUGA	<-- klasifikovano kao
33	3	PRVA
9	41	DRUGA

Kada vremenski period nije korišćen kao atribut u klasifikacionom algoritmu, najbolji rezultat je postignut korišćenjem **KNN** (k-najbližih suseda) klasifikatora, sa faktorom **k = 1** i Euklidskom distancom kao metrikom za pretragu udaljenosti instanci (Tabela 6). Korišćenjem isključivo vrednosti o emotivnim stanjima dobijenih iz podataka sa EEG uređaja, dobili smo 226 ispravno klasifikovane instance (od 253; **89.33%**) u slučaju kros-validacije (Tabela 6A) i 74 (od 86; **86.05%**) ispravno klasifikovane instance pri korišćenju 66% podataka za trening klasifikatora, a ostatak za testiranje (Tabela 6B).

Tabela 6. Redosled prikazivanja slike, rezultati KNN klasifikatora (k = 1) - bez *vremenskog perioda* kao atributa

A. Kros-validacija

PRVA	DRUGA	<-- klasifikovano kao
105	16	PRVA
11	121	DRUGA

B. Treniranje sa 66% podataka

PRVA	DRUGA	<-- klasifikovano kao
33	3	PRVA
9	41	DRUGA

Drugi najbolji rezultat sa korišćenjem svojstava koja se odnose isključivo na emotivna stanja ispitanika postignut je upotrebom *Random Forest* klasifikacionog algoritma, sa 100 iteracija i neograničenom dubinom drveta. Upotrebom kros-validacije, ostvarena preciznost klasifikacije iznosi 84.98%, a korišćenjem 66% uzorka za treniranje, preciznost je 84.88%.

Gore navedeni rezultati pokazuju da je moguće odrediti sa najvećom preciznošću od 90.12% (86.05%) kom redosledu prikazivanja slike pripada svaka instanca, odnosno, da li je ispitanik posmatrao sliku prvu ili drugu po redu kada je odgovarao na pitanja. Zbog činjenice da su ispitanici bili izolovani od publike kada su posmatrali prvu sliku, a u prisustvu publike tokom testiranja na drugoj slici, moguće se odrediti sa preciznošću od **90.12%** da li je ispitanik bio u prisustvu publike dok je odgovarao na pitanje. U slučaju redosleda prikazivanja slike, najbolji rezultati su ostvareni kada je korišćeno svojstvo *vremenskog perioda* zajedno sa svojstvima koja se odnose na emotivna stanja ispitanika.

4.2.1.2 Vrsta slike

U ovom pokušaju klasifikacije se mogu izdvojiti dve klase: Slika A i Slika B. Klasifikacija je izvršena sa i bez (korišćenjem samo EEG podataka) svojstva *vremenskog perioda odgovaranja na pitanja* kao klasifikacionog atributa.

Kada je korišćeno svojstvo *vremenskog perioda*, najbolji rezultat je postignut korišćenjem **KNN** klasifikatora, sa faktorom **k = 1** i Euklidskom distancom kao metrikom za pretragu udaljenosti instanci (Tabela 7). Od ukupno 253 instance, ispravna klasifikacija je izvršena na 227, što predstavlja preciznost od **89.72%** za kros-validaciju (engl. *cross-validation*) (Tabela 7A) i **89.53%** kada je klasifikator treniran sa 66% dostupnog uzorka (Tabela 7B). Klasifikacija je, takođe, izvršena sa vrednošću faktora k = 2 (84.98% u slučaju kros-validacije; 84.88% sa 66% podataka za treniranje) i k = 3 (87.75% kros-validacija; 88.37% sa 66% podataka za treniranje).

Tabela 7. Vrsta slike, rezultati KNN klasifikatora (k = 1) - sa svojstvom *vremenskog perioda* kao atributom

A. Kros-validacija **B. Treniranje sa 66% podataka**

Slika A	Slika B	<-- klasifikovano kao		Slika A	Slika B	<-- klasifikovano kao
117	15	Slika A		37	3	Slika A
11	110	Slika B		6	40	Slika B

Drugi najbolji rezultat, kada govorimo o vrsti prikazane slike, sa svojstvom vremenskog perioda, ostvaren je korišćenjem *Random Forest* klasifikacionog algoritma, sa brojem iteracija podešenim na 100 i neograničenom dubinom drveta. Procenat ispravno klasifikovanih instanci iznosi 83.40% za kros-validaciju i 86.05% sa treniranjem na skupu od 66% podataka (Tabela 8).

Tabela 8. Vrsta slike, rezultati Random forest klasifikatora - sa svojstvom *vremenskog perioda* kao atributom

A. Kros-validacija **B. Treniranje sa 66% podataka**

Slika A	Slika B	<-- klasifikovano kao		Slika A	Slika B	<-- klasifikovano kao
120	12	Slika A		36	4	Slika A
30	91	Slika B		8	38	Slika B

Ako se vremenski period ne koristi kao atribut u klasifikacionom algoritmu, najbolji rezultat se postiže korišćenjem **KNN** klasifikatora, sa faktorom **k = 1** i Euklidskom distancom kao metrikom za pretragu udaljenosti instanci (Tabela 9). Kada se za klasifikaciju koriste isključivo vrednosti o emotivnim stanjima ispitanika, dobija se 229 ispravno klasifikovanih instanci (od 253; **90.51%**) u slučaju kros-validacije (Tabela 9A) i 77 (od 86; **86.05%**) ispravno klasifikovanih instanci kada se koristi 66% podataka za trening klasifikatora, a ostatak za testiranje (Tabela 9B). Ovo prestavlja najbolji rezultat kada je reč o klasi *vrsta prikazane slike*. Sa vrednošću parametra k = 2, procenat

ispravnih klasifikacija iznosi 86.56% za kros-validaciju (87.21% sa 66% uzorka za treniranje), i za k = 3, procenat iznosi 89.72% za kros-validaciju (88.37% sa 66% uzorka za treniranje).

Tabela 9. Vrsta slike, rezultati KNN klasifikatora (k = 1) - bez svojstva *vremenskog perioda* kao atributa (isključivo na osnovu EEG podataka)

A. Kros-validacija				**B. Treniranje sa 66% podataka**		
Slika A	Slika B	<-- klasifikovano kao		Slika A	Slika B	<-- klasifikovano kao
119	13	Slika A		37	3	Slika A
11	110	Slika B		6	40	Slika B

Drugi najbolji rezultat korišćenjem isključivo svojstava koja se odnose na emotivna stanja ispitanika postignut je upotrebom *Random Forest* klasifikacionog algoritma, sa 100 iteracija. Upotrebom kros-validacije, ostvarena preciznost klasifikacije iznosi 85.38%, a korišćenjem 66% uzorka za treniranje, preciznost je 83.72%.

Rezultati analize pokazuju da je moguće utvrditi sa najvećom preciznošću od **90.51**% (**89.53**%) kojoj slici (A ili B, bez obzira na redosled prikazivanja) svaka pojedinačna instanca pripada, odnosno, koju sliku je ispitanik gledao pre odgovaranja na pitanja. U slučaju vrste slike, najbolji rezultat je ostvaren kada se za klasifikaciju koriste samo svojstva dobijena iz EEG podataka, bez vremenskog svojstva kao atributa.

U sličnom istraživanju [95], korišćenjem EEG podataka dobijenih od 8 ispitanika, autori su uspeli da uspešno klasifikuju sličice objekata sa šire slike sa ostvarenom preciznošću od 78 do 95%. U drugom radu [96], ispitanici su posmatrali slučajno odabrane slike iz 101 različite kategorije. Prezentovani algoritam pokazuje da je moguće ispravno detektovati klasu slike sa preciznošću od 52–74% korišćenjem isključivo EEG podataka. U svom radu [97], autori su testirali varijacije moždanih talasa prilikom prikazivanja jednostavnih mrlja boje i prostih vizualnih oblika i njihovih imena. Korišćenjem razvijenog modela, uspeli su da ispravno klasifikuju između 60% i 75% moždanih

talasa. Uopšteni zaključak je da jednostavni oblici, kao što su krugovi, i jednostavni prikazi boja generišu moždane talase iznenađujuće slične onima koje generišu njihova imena. Naši rezultati potvrđuju da je moguće izvršiti razlikovanje između različitih slika korišćenjem EEG podataka, sa većom preciznošću.

4.2.1.3 Tačnost odgovora

U slučaju tačnosti odgovora na postavljeno pitanje instanca može da pripada jednoj od tri klase: gledanje slike (SLIKA), tačan odgovor (TAČNO) i netačan odgovor (NETAČNO). Vremenski period kao atribut nije korišćen ni u jednom klasifikacionionom algoritmu, jer je vremenski interval gledanja slike (u trajanju od 60 sekundi) značajno duži od tajanja intervala odgovaranja na pitanja. Takođe je važno naglasiti da je ovde u pitanju nebalansirani skup podataka, odnosno, broj instanci koji pripada različitim klasama se drastično razlikuje. Tako, broj instanci koje pripadaju gledanju slike je 23, broj instanci koje pripadaju tačnom odgovoru je 156, a broj pogrešnih odgovora je 74.

Imajući to u vidu, nije ostvaren značajan rezultat klasifikacije korišćenjem atributa *tačnost odgovora* kao klase. Može se reći da je najbolji dobijeni rezultat postignut upotrebom **KNN** klasifikatora, sa faktorom **k = 3** i Euklidskom distancom kao metrikom, gde imamo više ispravnih nego neispravnih klasifikacija u dve klase: SLIKA i TAČNO (Tabela 10), dok u slučaju svih drugih korišćenih klasifikacionih algoritama imamo više ispravnih nego neispravnih klasifikacija samo u jednoj klasi (TAČNO). KNN klasifikator je dao **61.66**% ispravno klasifikovanih instanci sa kros-validacijom i **61.63**% ispravnih klasifikacija sa 66% uzorka za treniranje.

Tabela 10. Tačnost odgovora, rezultati KNN klasifikatora (k = 3)

A. Kros-validacija

SLIKA	TAČNO	NETAČNO	<-- klasifikovano kao
16	5	2	SLIKA

B. Treniranje sa 66% podataka

SLIKA	TAČNO	NETAČNO	<-- klasifikovano kao
4	1	1	SLIKA

5	119	32	TAČNO		3	43	12	TAČNO
3	50	21	NETAČNO		2	14	6	NETAČNO

4.2.2 Kvalitativna analiza

Nakon što je obavljena klasifikacija podataka korišćenjem tri različite klase, izršena je analiza promena svojstava emotivnih stanja u odnosu na svaku od klasa.

4.2.2.1 Redosled prikazivanja slike

Prilikom analize EEG podataka u odnosu na *redosled prikazivanja slike*, pokušali smo da utvrdimo odnos između individualnog svojstva i klase upoređujući prosečne vrednosti svojstava svih ispitanika za svaku od dve moguće klase - PRVA i DRUGA. Nakon toga, odabrana su svojstva sa najvećom razlikom u prosečnim vrednostima u različim klasama i grupisana u odnosu na pripadnost istom emotivnom stanju (Tabela 11).

Tabela 11. Poređenje prosečnih vrednosti svojstava za klase PRVA i DRUGA

Razlika u %	Svojstvo	Emotivno stanje
-6.32	Stress Max	STRESS
-4.27	Stress Avg	STRESS
+3.76	Stress Avg/MAX	STRESS
-3.30	Rel Max	RELAXATION
-2.93	Rel Avg	RELAXATION
-2.62	Rel Min	RELAXATION

Kao što se može videti iz rezultata, prvih šest svojstava sa najvećim promenama u odnosu na različite klase se odnose na emotivna stanja **stresa** i **opuštenosti**. Šta više, vrednosti svojstava stresa i opuštenosti (osim *Stress Avg/MAX*) su veće (u proseku) u slučaju klase PRVA, iz čega se može zaključiti da su i stres i opuštenost bili veći kada su ispitanici radili test prvi put, bez publike, u poređenju sa drugim testiranjem, u prisustvu publike. Razlozi ovoga zahtevaju dublju analizu. Ovo potvrđuje zaključke drugih istraživanja [98,99,100] da postoji snažna korelacija između prisustva publike i nivoa stresa (krvnog pritiska i pulsa).

4.2.2.2 Vrsta slike

Kada je u pitanju *vrsta slike*, primenjena je ista metodologija za utvrđivanje odnosa individualnih svojstava u odnosu na klasu opisana u Sekciji 4.2.2.1. Grupisana su svojstva sa najvećom razlikom u prosečnim vrednostima u različim klasama (Slika A i Slika B) u odnosu na emotivno stanje kome pripadaju (Tabela 12).

Tabela 12. Poređenje prosečnih vrednosti svojstava za klase SLIKA A i SLIKA B

Razlika u %	Svojstvo	Emotivno stanje
-7.93	Stress Max	STRESS
-6.30	Stress Avg	STRESS
+4.98	Eng Avg/MAX	ENGAGEMENT
-4.40	Stress Min	STRESS
-3.66	Exc Avg/MAX	EXCITEMENT

Rezultati pokazuju da je **stres** emotivno stanje sa najvećom promenom u odnosu na tip slike koju je ispitanik gledao. Stres je bio veći u preseku u slučaju kada je ispitanik gledao Sliku A u odnosu na Sliku B, bez obzira da li je slika prikazana prva ili druga po redu. Razlozi za ovo zahtevaju dublju analizu i nisu predmet ovog rada.

4.2.2.3 Tačnost odgovora

Kao što je objašnjeno u Sekciji 4.2.1.3, kada je u pitanju *tačnost odgovora*, instanca može da pripada jednoj od tri klase. Iako je korišćen isti metod za izračunavanje prosečne vrednosti svakog pojedinačnog svojstva za svaku od ovih klasa (kao u Sekcijama 4.2.2.1 i 4.2.2.2), u ovom slučaju, izvršena su dva odvojena poređenja. Prvo poređenje je između klase *gledanje slike*, sa jedne strane, i klasa *tačan* i *netačan* odgovor sa druge (Tabela 13). Drugo poređenje je između klasa *tačan* i *netačan* odgovor (Tabela 14).

Tabela 13. Poređenje prosečnih vrednosti svojstava za klase GLEDANjE SLIKE i klasa TAČAN i NETAČAN odgovor

Razlika u %	Svojstvo	Emotivno stanje
-32.28	Stress Max	STRESS
-25.29	Eng Max	ENGAGEMENT
-15.85	Rel Max	RELAXATION
-13.58	Foc Max	FOCUS

Rezultati iz Tabele 13 pokazuju da postoji značajno opadanje **stresa**, **angažovanosti**, **opuštenosti** i **fokusa** kada je ispitanik prešao sa gledanja slike na odgovaranje na pitanja. Na primer, maksimalna vrednost stresa (*Stress Max*) je u proseku bila 32.28% veća dok je ispitanik gledao sliku.

Tabela 14. Poređenje prosečnih vrednosti svojstava za klase TAČAN i NETAČAN odgovor

Razlika u %	Svojstvo	Emotivno stanje
+3.59	Rel Max	RELAXATION
+3.15	Rel Avg/MAX	RELAXATION
+2.97	Rel Avg	RELAXATION

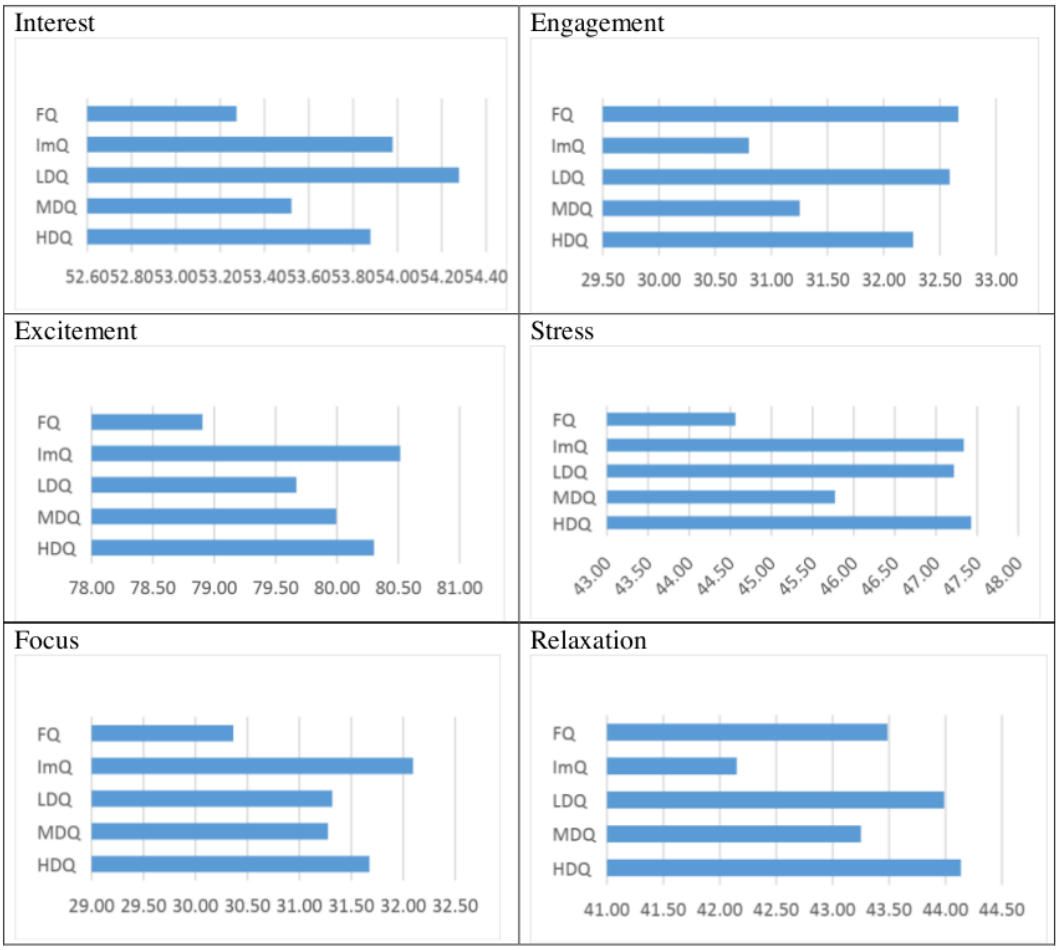
Kada se uporede prosečne emotivne vrednosti svojstava za tačan i netačan odgovor, može se zaključiti da je jedino značajno odstupanje u slučaju stanja **opuštenosti**, koje je bilo veće (u proseku) za pitanja na koja je pružen tačan odgovor.

4.3 Rezultati mTutor testa

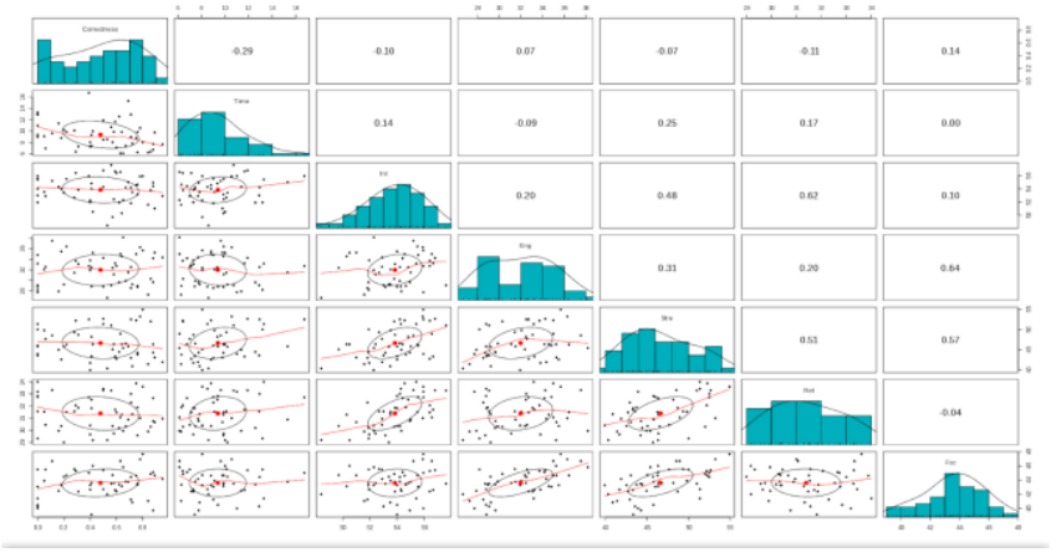
U Tabeli 15 je prikazano šest grafikona koji predstavljaju srednje vrednosti (aritmetičke sredine) za svaku merenu emotivnu karakteristiku u zavisnosti od tipa pitanja. Zanimljivo je da su vrednosti za interesovanje, uzbuđenje, stres i opuštenosti u slučaju *zabavnih* pitanja najniže, dok *nemoguća* pitanja imaju minimalne vrednosti za angažovanost i fokus. Regularna pitanja pokazuju

slične tendencije za uzbuđenje, stres, opuštenost i fokus, pri čemu najviše vrednosti imaju najteža pitanja.

Tabela 15. Srednje vrednosti emotivnih stanja za različite tipove pitanja



Drugi aspekt statističke analize predstavlja korelacija između parametara (zainteresovanost, angažovanost, uzbuđenje, stres, opuštenost, fokusiranost) za svako pitanje sa srednjim vrednostima emotivnih stanja za sve učesnike u testu. Slika 30 prikazuje korelacije za parove parametara (ispod



dijagonale), histograme za svaki parametar i Pirson korelaciju (iznad dijagonale).**Slika 30. Korelacije između različitih parametara pitanja – tačnosti, vremena, zainteresovanosti, angažovanosti, stresa, opuštenosti i fokusiranosti**

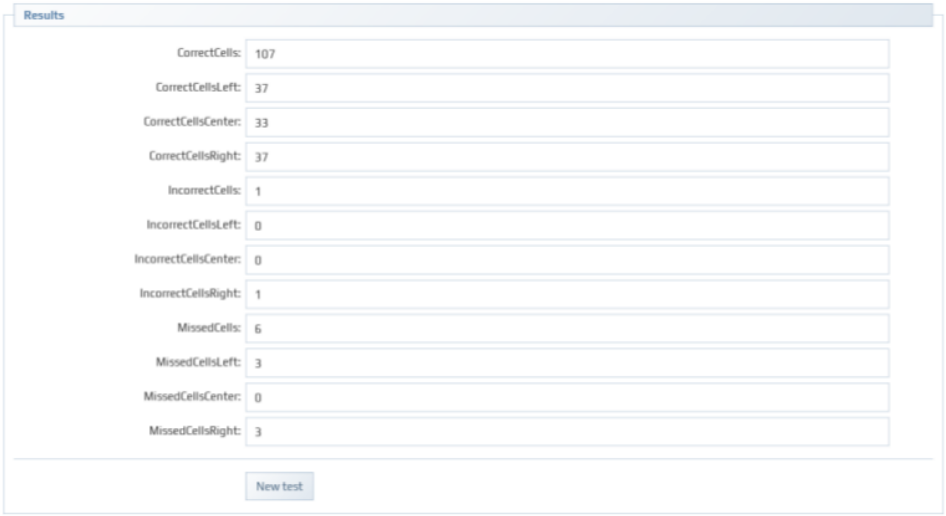
Iz rezultata se može zaključiti da ne postoji snažna korelacija između bilo kog individualnog parametra i preciznosti odgovora i da je najveća (negativna) korelacija između tačnosti odgovora i vremena provedenog na pitanju. Najveća korelacija se javlja između parova: angažovanost – fokusiranost (+0.64), zainteresovanost – opuštenost (+0.62), stres – fokus (+0.57), stres – opuštenost (+0.51) i zainteresovanost – stres (+0.48).

Ove prve analize dobijenih podataka bazirane na potrazi za jednostavnim statističkim korelacijama između različitih parametara nisu dovoljne za efikasnu upotrebu primenjenih tehnika u svrhu simultanog davanja povratne informacije sistemu za testiranje niti za korišćenje u korekciji rezultata koje su studenti pokazali na testu znanja. Međutim, neki zaključci o uticaju određene grupe pitanja na emotivno stanje studenata se mogu primeniti na smanjenje stresa ili povećanje zainteresovanosti. Tako, stres se može umanjiti ubacivanjem pitanja zabavnog karaktera sa očiglednim tačnim odgovorom. Najveću zainteresovanost izazivaju laka pitanja, dok se fokusiranost studenta može povratiti korišćenjem nemogućih pitanja, bez tačnog odgovora. Sa druge strane, algoritam bodovanja studenata se mora adekvatno prilagoditi postojanju "zabavnih" i "nemogućih" pitanja.

4.4 Rezultati AC testa

AC test je test za procenu fokusirane i selektivne pažnje (koncentracije), odnosno, sposobnosti da se istaknu važni stimulusi ili pojmovi u određenom trenutku, uz istovremenu supresiju nebitnih ili ometajućih nadražaja [101]. Iz brzine reagovanja i broja grešaka procenjuje se efikasnost u rešavanju zadatka. Korišćenje ovog testa za procenu pažnje može imati kliničku važnost u pogledu otkrivanja postojanja jednostranog prostornog zanemarivanja.

Po završetku testiranja (kada ispitanik odabere poslednje raspoloživo slovo), prikazuje se ekran sa rezultatima koji sadrži vrednosti za sve kategorije od značaja za evaluaciju *AC* testa (Slika 31). Dobijeni podaci predstavljaju osnov za kvantitavnu analizu. Automatizovanom obradom podataka o interakciji ispitanika sa *AC* test aplikacijom mogu se odrediti osnovni parametri koji se odnose na: ukupan broj ispravno odabranih (precrtanih) slova; broj ispravno precrtanih slova po regionima (levo, sredina, desno); ukupan broj pogrešno odabranih slova; broj pogrešno odabranih slova po regionima; ukupan broj propuštenih slova; i broj propuštenih slova po regionima.



Slika 31. Ekran sa postignutim rezultatima koji sadrži vrednosti parametara za procenu efikasnosti

Od 18 testiranih ispitanika, 2 ispitanika (br. 1 i br. 11) su završili test pre isteka definisanog vremena od 4 minuta. U Tabeli 16. su prikazani podaci obrađeni od strane *AC* test aplikacije o kategorijama od značaja za procenu efikasnosti urađenog testa. U toku testiranja, na ekranu sa slovima se nalazi podjednak broj slova A i C u levom i desnom regionu, dok centralni region sadrži u proseku 25% manje slova za precrtavanje. Iz tabele se može zaključiti da je prosečan broj ispravno odabranih slova u levom regionu (AS = 37.72) neznatno veći od broja ispravno odabranih slova sa desne strane (AS = 36.67).

Tabela 16. Rezultati ispitanika u odnosu na parametre za evaluaciju AC testa

R.BR.	UI	IL	IS	ID	UG	GL	GS	GD	UP	PL	PS	PD
1	147	52	43	52	1	1	0	0	13	6	2	5
2	104	38	29	37	0	0	0	0	14	4	5	5
3	93	31	31	31	4	1	1	2	27	11	4	12
4	99	36	29	34	0	0	0	0	3	0	1	2
5	91	36	28	27	0	0	0	0	21	4	4	13
6	92	32	27	33	1	0	1	0	14	5	4	5
7	82	27	28	27	1	0	1	0	24	10	3	11
8	128	44	38	46	3	1	0	2	12	6	2	4
9	91	34	27	30	1	0	1	0	10	2	2	6
10	92	32	28	32	0	0	0	0	6	2	1	3
11	130	48	35	37	1	1	0	0	30	10	10	10
12	112	36	34	42	0	0	0	0	20	10	4	6
13	115	42	33	40	0	0	0	0	10	2	4	4
14	89	31	27	31	1	0	0	1	3	1	0	2
15	99	34	31	34	0	0	0	0	4	2	0	2
16	109	37	31	41	0	0	0	0	11	5	4	2
17	122	45	36	41	4	0	3	1	13	3	3	7
18	125	44	36	45	0	0	0	0	1	0	1	0
ukupno	1920	679	571	660	17	4	7	6	236	83	54	99
AS	106.67	37.72	31.72	36.67	0.94	0.22	0.39	0.33	13.11	4.61	3.00	5.50
SD	17.91	6.72	4.51	6.92	1.35	0.43	0.78	0.69	8.46	3.58	2.33	3.78

Legenda: **UI** - br. ukupno ispravnih odabranih slova; **IL** - br. ispravno odabranih slova levo; **IS** - br. ispravno odabranih slova u sredini; **ID** - br. ispravno odabranih slova levo; **UG** - br. ukupno pogrešno odabranih slova; **GL** - br. pogrešno odabranih slova levo; **GS** - br. pogrešno odabranih slova u sredini; **GD** - br. pogrešno odabranih slova desno; **UP** - br. ukupno propuštenih slova; **PL** - br. propuštenih slova levo; **PS** - br. propuštenih slova u sredini; **PD** - br. propuštenih slova desno; **AS** - aritmetička sredina; **SD** - standardna devijacija

Procentualno, u odnosu na ukupan broj slova koja je ispitanik prešao radeći test, najveći broj propuštenih slova nalazi se sa desne strane - 13%, zatim u levom regionu - 11%, i na kraju u centru -

8.5%. Najveći broj pogrešno odabranih slova, u procentualnim i apsolutnim vrednostima, nalazi se u centralnom regionu (1%), u poređenju sa levim (0.5%) i desnim regionom (0.8%).

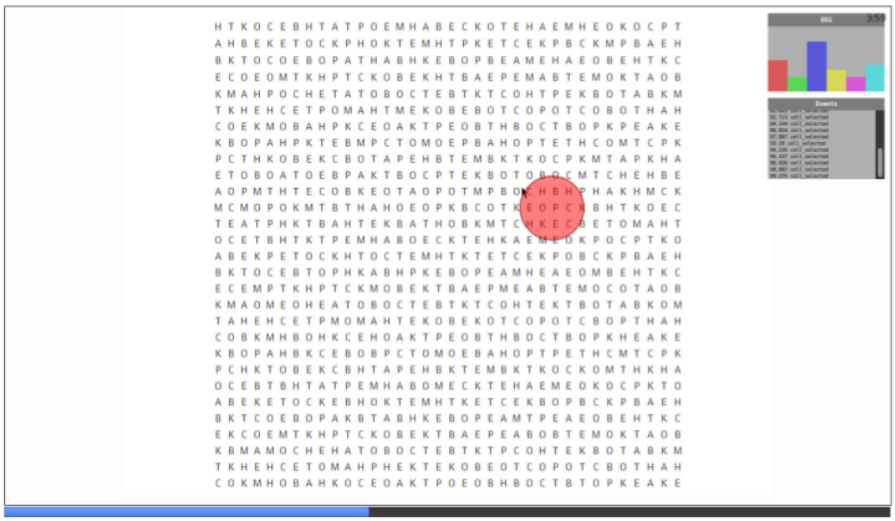
Osim analize vrednosti osnovnih kategorija *AC* testa, aplikacija nam može pružiti dodatne podatke koji se mogu koristiti za dublju analizu. Tako, na primer, moguće je eksportovati podatke o vrsti slova koja su najčešće birana kao pogrešna. Rezultati pokazuju da su ispitanici kao pogrešno najčešće birali slovo **K** (5 puta), zatim slovo **E** i **T** (po 3 puta) i slova **M**, **O** i **H** (po 2 puta).

Tabela 17. prikazuje srednje vrednosti (aritmetičke sredine) emotivnih karakteristika ispitanika u toku testiranja. Potraga za jednostavnim statističkim korelacijama između emotivnih stanja i parametara za evaluaciju testa pokazuje da ne postoji jasna korelacija koja bi omogućila povezivanje emotivnih stanja ispitanika sa postignutim rezultatima. Ipak, može se primetiti da je kod učesnika br. 18, koji je postigao najmanje ukupnih grešaka (greške pogrešnog precrtavanja i propuštenih slova), prosečna vrednost angažovanja (67.73) i fokusa najveća (66.30). Mogući uzrok nedostatka korelacije leži u činjenici da su svi testirani ispitanici zdravi, bez sumnji na postojanje sindroma jednostranog zanemarivanja, što se potvrđuje postignutim rezultatima *AC* testa.

Tabela 17. Aritmetičke sredine emotivnih osobina ispitanika u toku AC testa (AS - aritmetička sredina, SD - standardna devijacija)

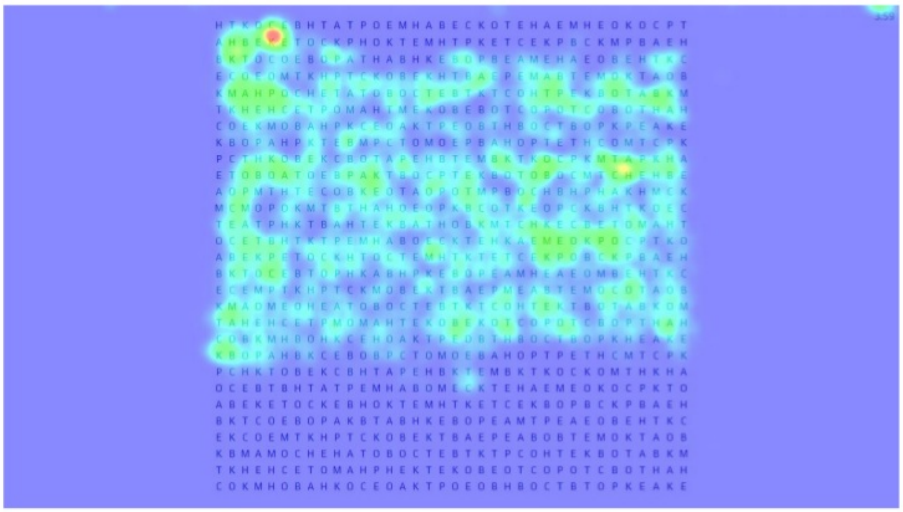
R.BR	Interesovanje	Angažovanje	Uzbuđenje	Stres	Opuštenost	Fokus
1	45.94	36.14	75.79	53.25	29.51	49.23
2	64.64	37.86	86.56	47.37	31.61	47.41
3	51.81	31.44	77.92	54.30	30.28	46.77
4	50.94	32.04	94.21	30.87	28.14	37.91
5	52.34	24.39	73.49	43.07	25.90	40.99
6	52.23	24.46	76.63	41.16	26.17	38.31
7	52.10	28.48	67.11	41.87	32.99	39.72
8	54.43	22.43	74.30	43.87	28.53	38.01
9	67.73	36.39	75.41	37.94	49.75	34.42
10	61.81	38.06	80.34	63.50	37.14	50.42
11	52.94	43.01	83.35	52.02	31.23	51.33
12	51.92	15.79	78.19	41.00	26.47	33.48
13	51.37	30.23	74.81	33.23	22.27	43.05
14	56.05	39.67	76.24	43.50	28.95	47.74
15	63.47	34.25	74.60	43.18	31.64	42.99
16	77.03	40.18	61.33	54.24	44.82	50.43
17	45.16	19.21	57.57	23.09	15.21	37.47
18	45.22	67.73	78.03	55.81	28.02	66.30
AS	55.40	33.43	75.88	44.63	30.48	44.22
SD	8.43	11.50	8.32	9.91	7.69	7.94

Zahvaljujući višesenzorskoj sinhronizaciji sa akcijama na klijentskoj *AC* test aplikaciji moguće je eksportovanje obrađenih podataka u vizualne reprodukcije sesija sa preciznim informacijama o ostvarenoj interakciji (Slika 32).

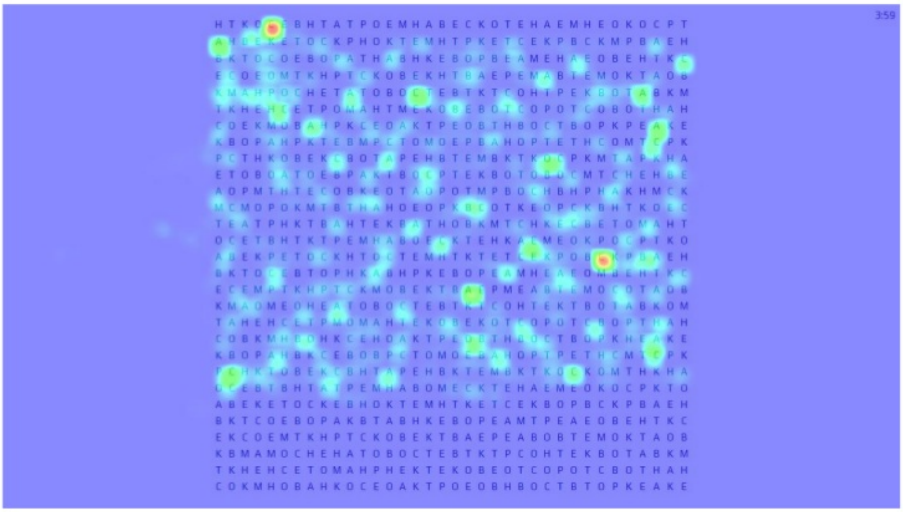


Slika 32. Snimak ekrana u toku reprodukcije sesije AC testa

Osim analize rezultata evaluacije *AC* testa i emotivnih performansi ispitanika u toku trajanja testiranja, korišćenjem razvijene platforme omogućena je analiza podataka vezanih za položaj pogleda i lokaciju kursora miša. Pravljenjem toplotnih karti na osnovu obrađenih vrednosti položaja pogleda i kursora miša može se demonstrirati nivo korelacije koji je detektovan u ovom eksperimentu (Slika 33 i 34). Na osnovu ovoga se može izvesti zaključak u kojoj meri su ispitanici tokom trajanja testa mišem pratili kretanje pogleda na ekranu. Visok nivo korelacije pruža mogućnost aproksimacije interakcije detektovane preko jednog senzora uz pomoć analiziranih podataka sa drugog, odnosno, u ovom slučaju, bilo bi moguće uprostiti eksperimentalno okruženje eliminisanjem senzora za praćenje pogleda, usled visoke sličnosti kretanja pogleda sa podacima o kretanju kursora miša.

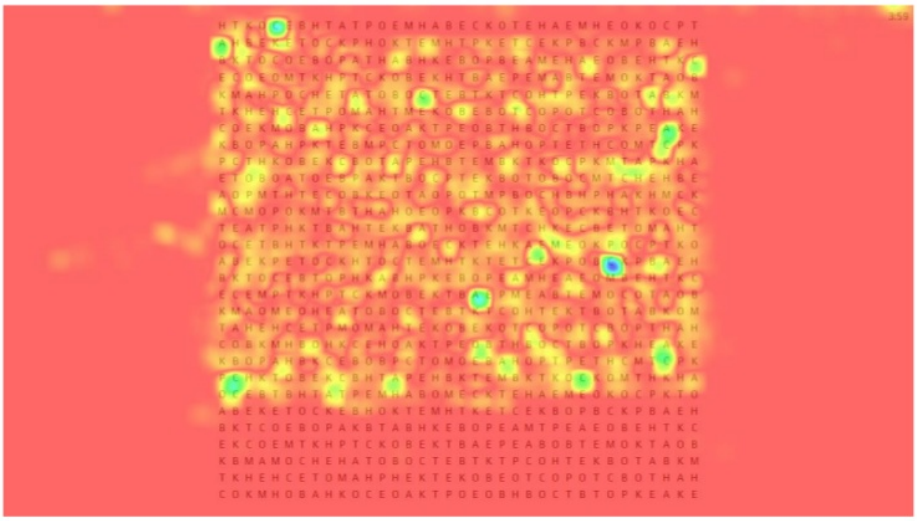


Slika 33. Toplotna karta na osnovu podataka o lokaciji pogleda



Slika 34. Toplotna karta na osnovu podataka o lokaciji kursora miša

Sinhronizacijom, a zatim kombinovanjem podataka o lokaciji i pomeranju pogleda sa odgovarajućim podacima prikupljenim o interakciji preko računarskog miša, može se izraziti stepen podudarnosti kroz vizualizaciju izračunate korelacije. Na Slici 35 prikazan je nivo preklapanja položaja pogleda sa položajem miša. Može se zaključiti da je u slučaju AC testa postojeći nivo korelacije visok, naročito na koorditama slova koja je ispitanik precrtavao (u većini slučajeva slova A i C).



Slika 35. Vizualizacija korelicije između pogleda i miša

5 ZAKLjUČAK

Rezultati našeg istraživanja koji se odnose na postignuće ispitanika na računarskoj verziji *WCS* testa pokazuju izvesna odstupanja u odnosu na normativne vrednosti testa u standardnoj formi (Tabela 2). Rezultati ovog testa pokazuju da je broj postignutih kategorija kod naših ispitanika sa izvesnim odstupanjem u odnosu na referentne vrednosti. Nižu efikasnost možemo objasniti manjom sposobnošću smenjivanja misli ili akcija u zavisnosti od zahteva situacije [102,103], ili manjom sposobošću da se feksibilno menjaju perspektive ili prilagođavaju odgovori [104]. Pretpostavlja se da su ispitanici najviše bili skoncentrisani na to da li će dati tačan odgovor, bez postojanja koncepcije o formiranju niza i postizanju kategorije ili promeni kriterijuma za novu kategoriju.

Rezultati našeg istraživanja pokazuju da postoji značajno odstupanje rezultata ispitanika u odnosu na referentne vrednosti u broju pokušaja do postizanja prve kategorije. To se može objasniti time da su sposobnost anticipacije i izvođenja planirane akcije kod ispitanika bile manje efikasne.

Osobe koje su kognitivno nefleksibilne ponašaju se na rigidan način, ne umeju da se izbore sa promenjenim aktivnostima i procedurama, zato ne uspevaju da se prilagode novim zahtevima. Oštećenje ovog domena je često povezano sa perseverativnim ponašanjem i ponavljanjem istih grešaka. Rezultati našeg istraživanja pokazuju da je broj perseverativnih odgovora naših ispitanika ispod normativnih vrednosti, što ukazuje na kvalitet koji zovemo mentalna fleksibilnost [47].

Rezultati našeg istraživanja ne pokazuju značajna odstupanja kod grešaka u održanju seta u odnosu na normativne vrednosti, što ide u prilog dobroj sposobnosti održanja pažnje, kvaliteta kratkoročne memorije i mentalne fleksibilnosti.

U istraživanju koje je sprovedeno putem *VSTWM* test aplikacije korišćeni su podaci o emotivnim performansama dobijeni sa EEG uređaja. U testiranju je učestvovalo 12 ispitanika. Na početku testiranja, ispitaniku je prikazana slika u trajanju od jednog minuta, sa odgovarajućim instrukcijama da zapamti što je moguće više detalja sa slike.

Karakteristike bazirane na vrednosima šest emotivnih stanja (zainteresovanost, angažovanje, uzbuđenje, stres, opuštenost i fokus) su korišćenje u različitim pokušajima klasifikacije u odnosu na tri klase: redosled prikazivanja slike, vrsta prikazane slike i tačnost odgovora. Na osnovu rezultata se može izvući nekoliko zaključaka. Prvo, rezultati klasifikacije pokazuju da je upotrebom emotivnih

stanja ispitanika i dužine odgovaranja na pitanja moguće odrediti sa najvećom preciznošću od 90.12% koji je bio redosled slika koje je ispitanik gledao tokom testiranja. Zbog činjenice da je druga slika prikazana u prisustvu publike, ovo znači da je moguće utvrditi sa preciznošću 90.12% da li je ispitanik bio u prisutvu publike kada je odgovarao na pitanje. Drugo, rezultati dobijeni kvantitavnom analizom emotivnih stanja ispitanika omogućavaju da se sa preciznošću od 90.51% utvrdi koju sliku (Sliku A ili Sliku B, bez obzira na redosled prikazivanja) je ispitanik gledao pre odgovaranja na pitanje.

Korišćenjem kvalitativne analize, upoređujući ukupne promene u emotivnim performansama ispitanika, moguće je zaključiti da su stres i opuštenost bili veći (u proseku) kada je ispitanik radio test prvi put (bez publike) u poređenju sa drugim putem (sa publikom). Dodatno, stres je bio veći (u proseku) kada je ispitanik gledao Sliku A u poređenju sa Slikom B. Takođe, primetno je opadanje vrednosti stresa, angažovanja, opuštenosti i fokusa kada je ispitanik prešao sa gledanja slike na odgovaranje na pitanja, a opuštenost je bila veća (u proseku) kada je ispitanik ispravno odgovorio na pitanje.

Cilj eksperimenta sa elektronskim testiranjem znanja putem *mTuror* platforme bio je pronalaženje modela za primenu veštačke inteligencije koji bi omogućio da elektronska procena znanja u što većoj meri oslikava realno znanje ispitanika. Analiza rezulata pokazala je da dolazi do smanjenja interesovanja, uzbuđenja, stresa i opuštenosti kada su ispitanici rešavali zabavna pitanja. Sa druge strane, nemoguća pitanja je pratilo opadanje vrednosti angažovanja i fokusa.

Iako nije otkrivena snažna korelacija između bilo kog individualnog parametra i preciznosti odgovora može se zaključiti da je moguće uticati na emotivno stanje ispitanika ubacivanjem odgovora određenog tipa. Tako, stres se može umanjiti ubacivanjem pitanja zabavnog karaktera sa očiglednim tačnim odgovorom. Interesovanje se može povećati korišćenjem lakih pitanja, a fokusiranost studenta može povratiti korišćenjem nemogućih pitanja, bez tačnog odgovora.

AC test se koristi za procenu stepena pažnje, odnosno, sposobnosti isticanja važnih stimulusa u odnosu na ometajuće nadražaje. Analiza rezultata prikupljenih upotrebom računarske verzije testa pokazuje da se najveći broj propuštenih slova nalazi sa desne strane, pa zatim u levom regionu i u centru. Najveći broj pogrešno odabranih slova je u centralnom regionu, zatim u levom i u desnom regionu.

Jednostavnim statističkim korelacijama između emotivnih stanja i parametara za evaluaciju testa nije otkrivena jasna korelacija koja povezuje emotivna stanja ispitanika sa postignutim

rezultatima. Mogući razlog leži u činjenici da su svi testirani ispitanici zdravi, bez sumnji na postojanje sindroma jednostranog zanemarivanja. Sa druge strane, visok nivo korelacije između položaja pogleda i položaja kursora miša pruža mogućnost aproksimacije interakcije detektovane preko jednog senzora uz pomoć analiziranih podataka sa drugog. Upoređivanjem podataka o lokaciji i pomeranju pogleda sa podacima o kretanju miša, može se zaključiti da je u slučaju *AC* testa postojeći nivo korelacije visok, naročito na koordinatama slova koja je ispitanik precrtavao.

Opšti zaključak sprovedenih istraživanja je da je moguće koristiti veštačku inteligenciju za analizu interakcije između čoveka i računara i da će se njenom primenom ostvariti približni ili bolji rezultati od onih u kojima analizu vrši čovek. Moguće je primeniti distribuirana rešenja za sinhronizaciju i pružanje povratne informaciju od sistema u realnom vremenu. Automatizovanom analizom dobijenih rezultata od strane veštačke inteligencije moguća je procena kognitivnih performansi korisnika.

6 PRILOZI

6. 1 PRILOG A. Primer reprezentativnog koda za sinhronizaciju putem NTP-like protokola

6.2 PRILOG B. Primeri grafički predstavljenih sesija sa EEG podacima iz WSC eksperimenta

6.3 PRILOG C. Primeri grafički predstavljenih sesija sa EEG podacima iz VSTWM eksperimenta

6.4 PRILOG D. Primeri grafički predstavljenih sesija sa EEG podacima iz mTutor eksperimenta

6.5 PRILOG E. Primeri grafički predstavljenih sesija sa EEG podacima iz ACT eksperimenta

6.6 PRILOG F. Primeri sirovih podataka prikupljenih sa VSTWM klijentske aplikacije

6.7 PRILOG G. Primeri sirovih podataka prikupljenih sa ACT klijentske aplikacije

6.1 PRILOG A.

Primer reprezentativnog koda za sinhronizaciju putem NTP-like protokola

```
public static void sendSyncPkg() throws IOException, ParseException {
        InputStream is = null;
        String servdata = "";

        try {
            URL url = new URL(syncUrl);
              HttpURLConnection conn = (HttpURLConnection) url.openConnection();
              String data = "_Module=" + "HCI__MAP__API" + "&" + "_Method=" + "timeOffset" +
"&" + "request_sent=" + String.valueOf(currentTimeMillis());

            conn.setReadTimeout(10000);
            conn.setConnectTimeout(10000);
            conn.setRequestProperty("User-Agent", "Mozilla/5.0");
            conn.setRequestProperty("Accept-Language", "en-US,en;q=0.5");
            conn.setRequestMethod("POST");
            conn.setDoOutput(true);
            DataOutputStream wr = new DataOutputStream(conn.getOutputStream());

            wr.writeBytes(data);
            wr.flush();
            wr.close();
            is = conn.getInputStream();
            servdata = ISToString(is, "ISO-8859-1");
        } finally {
            if (is != null) is.close();
        }

        long resRec = currentTimeMillis();
        JSONParser parser = new JSONParser();
        JSONObject jsonObj = (JSONObject) parser.parse(servdata);
         // Calculate synchronization formula variables
```

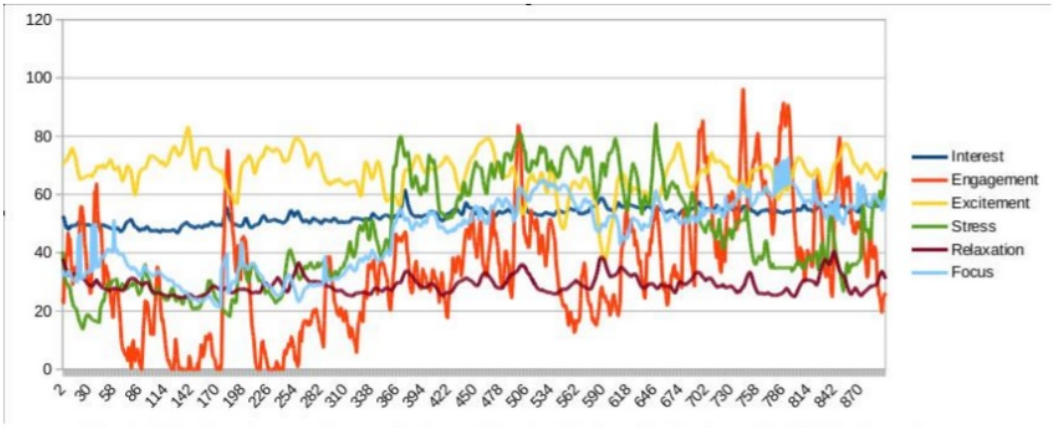
```
        long reqSent = Long.parseLong((String)jsonObj.get("request_sent"));
        long reqRec = (long)((Double)jsonObj.get("request_received")*1000);
        long resSent = (long)((Double)jsonObj.get("response_sent")*1000);
        long timeOffset = ((reqRec-reqSent) + (resSent-resRec))/2;
        long rndTrip = (resRec-reqSent) - (resSent - reqRec);

        timeOffs.add(timeOffset);
        rndTrips.add(rndTrip);
        if (timeOffs.size() == NUM_OF_SYN_PKGS) {
              // Predefined number of synchronization packets are sent
              // Calculate time offset
            int lind = 0;
            long min = rndTrips.get(lind);

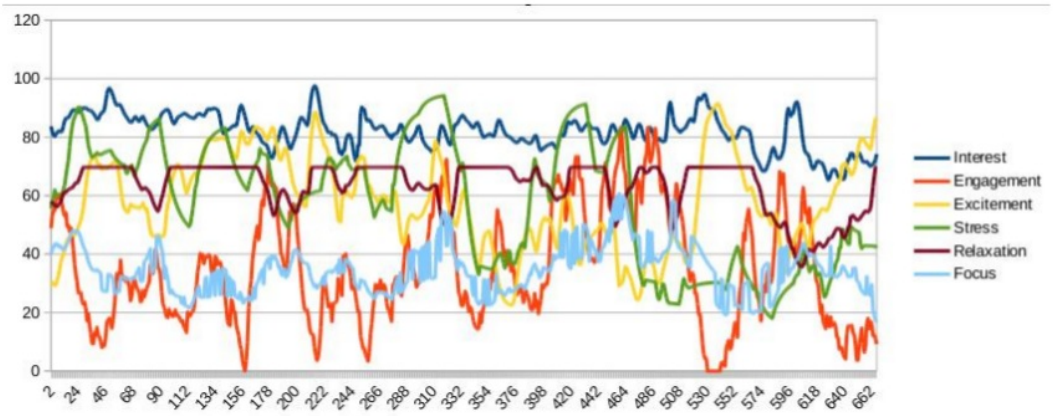
            for (int i=1; i < NUM_OF_SYN_PKGS; i++) {
                if (rndTrips.get(i) < min) {
                    lind = i;
                    min = rndTrips.get(i);
                }
            }
            syncOffset = timeOffs.get(lind);
            timeOffs = new ArrayList<>();
            rndTrips = new ArrayList<>();
            System.out.println("Synchronized with time offset: " + syncOffset/1000.0 + " secs");
              //  Synchronized, start sending data
            System.out.println("Sending data to platform...");
            doSendData = true;
            new Timer().schedule(ttask, 0, 1000);
        }
        else {
              // Send another synchronization package
              sendSyncPkg();
         }
    }
```

6.2 PRILOG B.

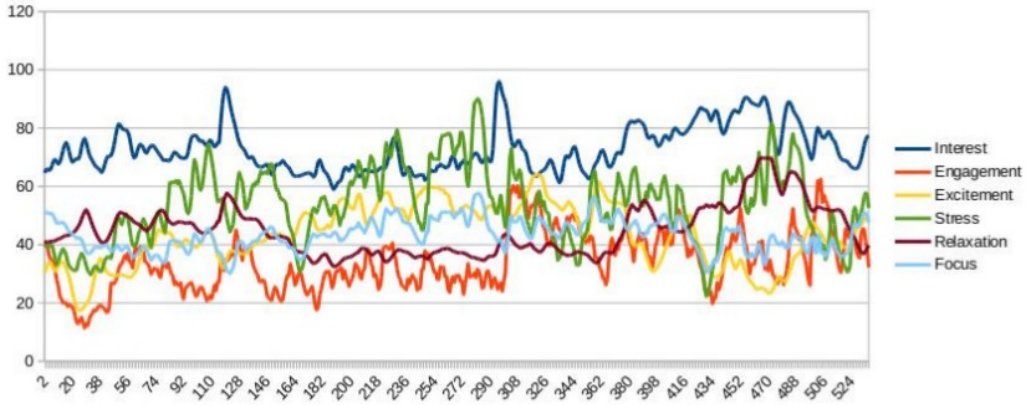
Primeri grafički predstavljenih sesija sa EEG podacima iz WSC eksperimenta



Slika 36. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku WSC eksperimenta



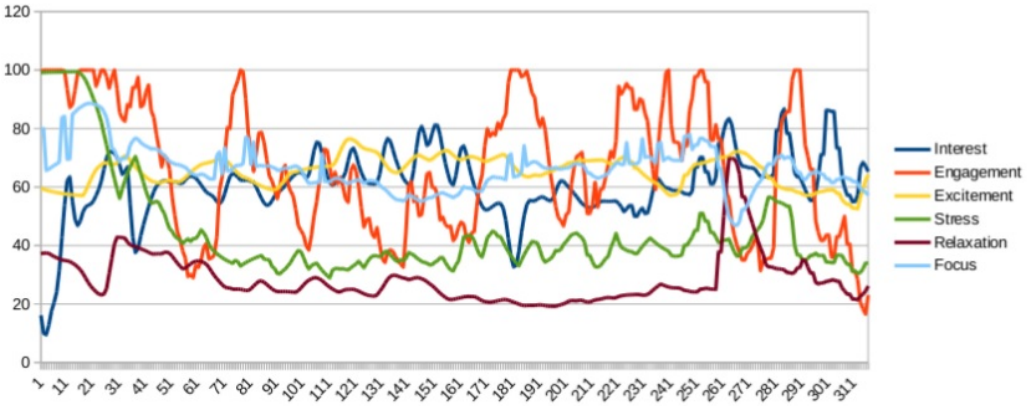
Slika 37. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 2. u toku WSC eksperimenta



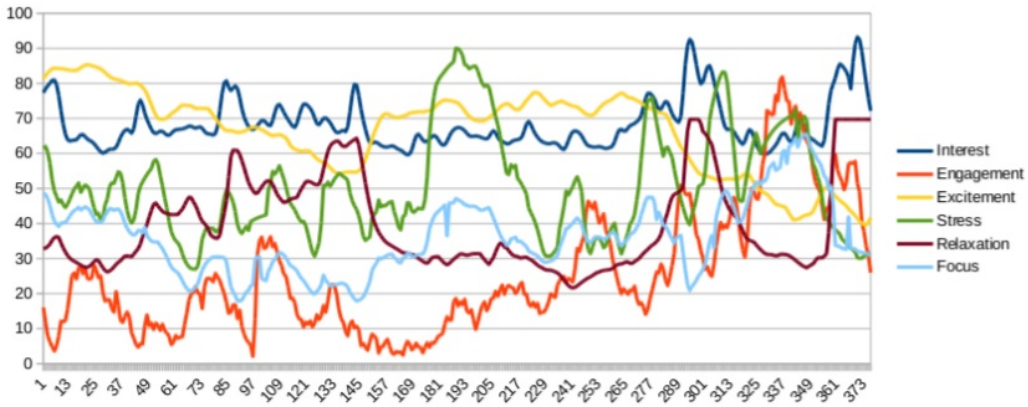
Slika 38. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 3. u toku WSC eksperimenta



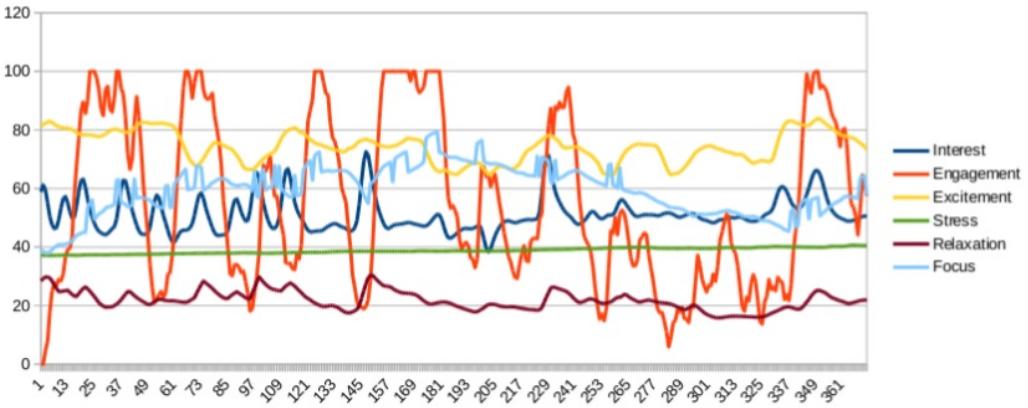
Slika 39. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 4. u toku WSC eksperimenta



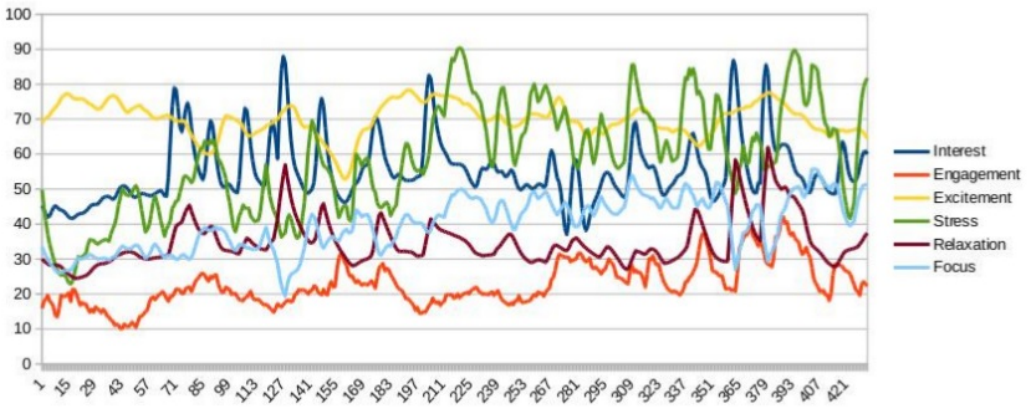
Slika 40. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 5. u toku WSC eksperimenta



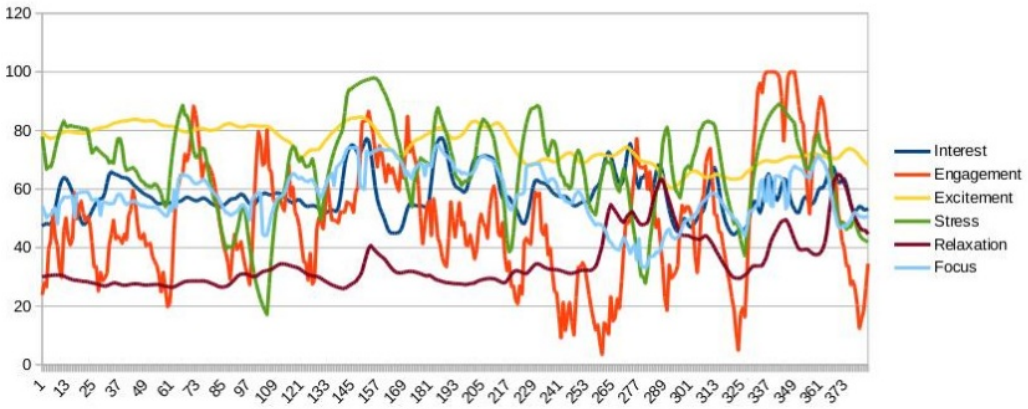
Slika 41. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 6. u toku WSC eksperimenta



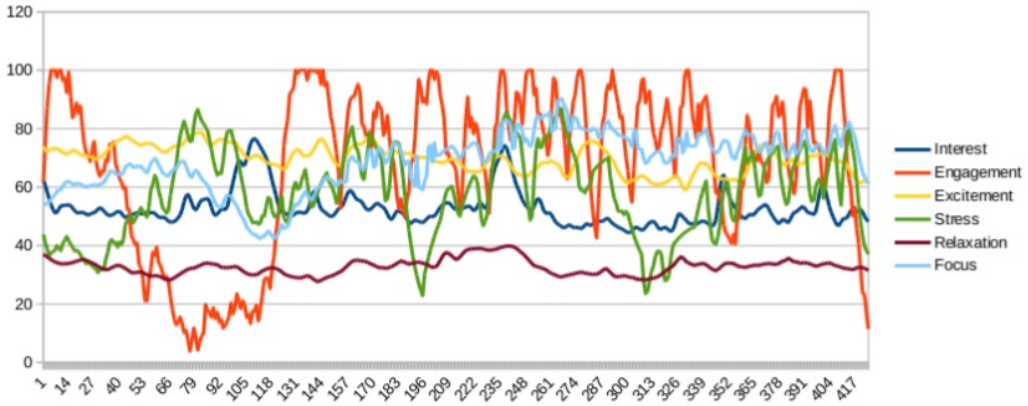
Slika 42. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 7. u toku WSC eksperimenta



Slika 43. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 8. u toku WSC eksperimenta



Slika 44. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 9. u toku WSC eksperimenta

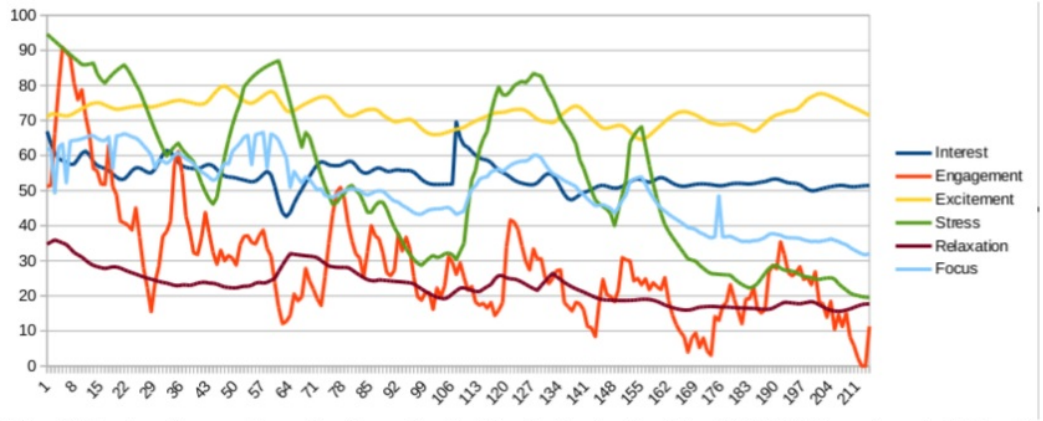


Slika 45. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 10. u toku WSC eksperimenta

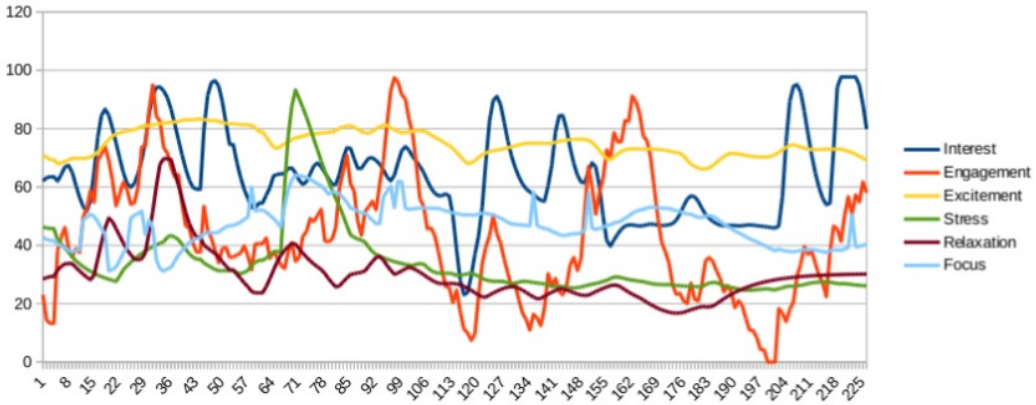
6.3 PRILOG C.

Primeri grafički predstavljenih sesija sa EEG podacima iz VSTWM eksperimenta

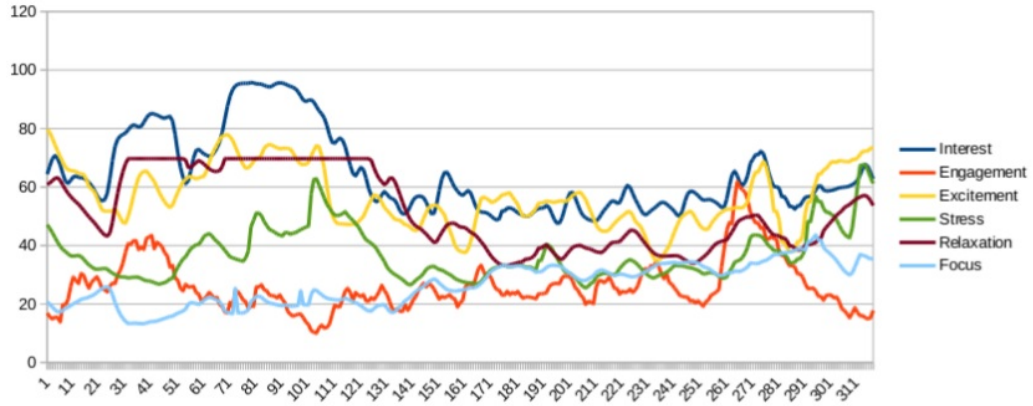
Slika A



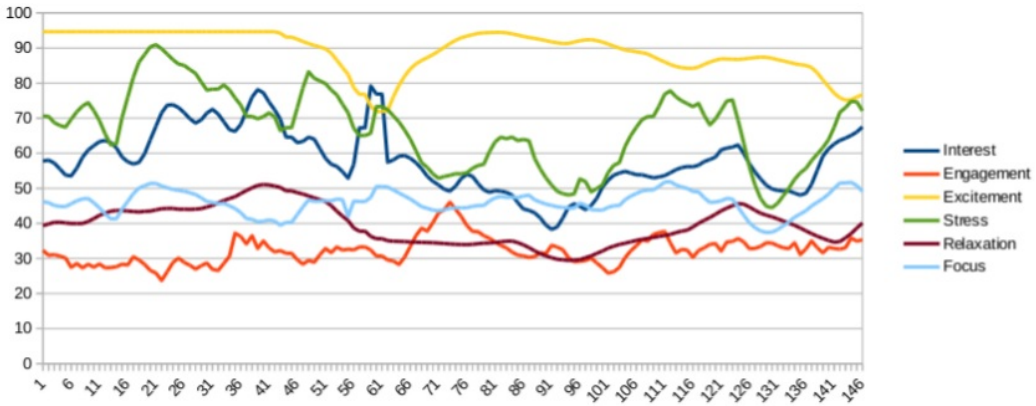
Slika 46. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku VSTWM eksperimenta (Slika A)



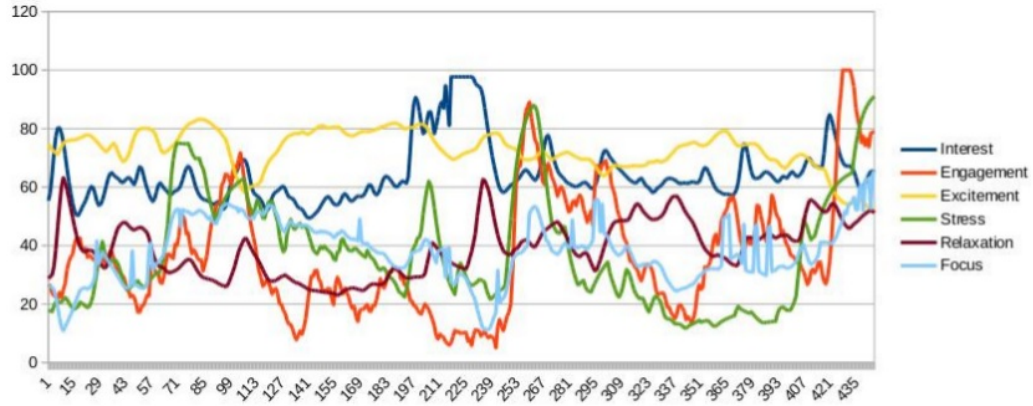
Slika 47. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 2. u toku VSTWM eksperimenta (Slika A)



Slika 48. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 3. u toku VSTWM eksperimenta (Slika A)

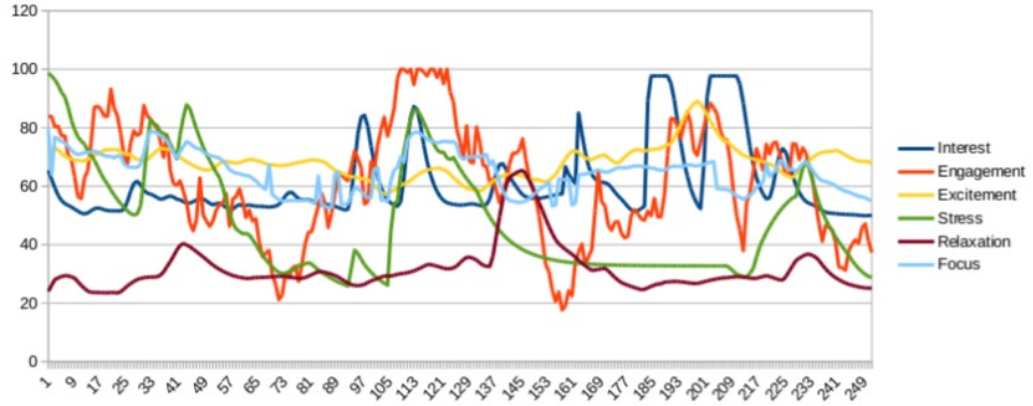


Slika 49. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 4. u toku VSTWM eksperimenta (Slika A)

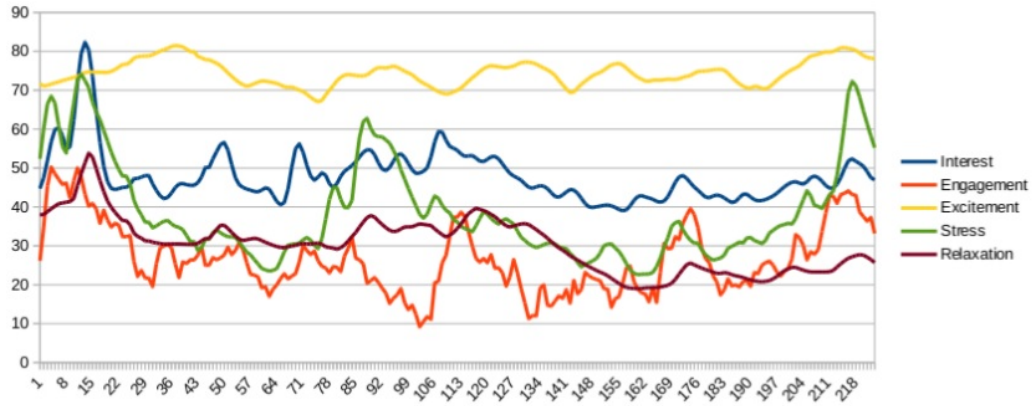


Slika 50. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku VSTWM eksperimenta (Slika A)

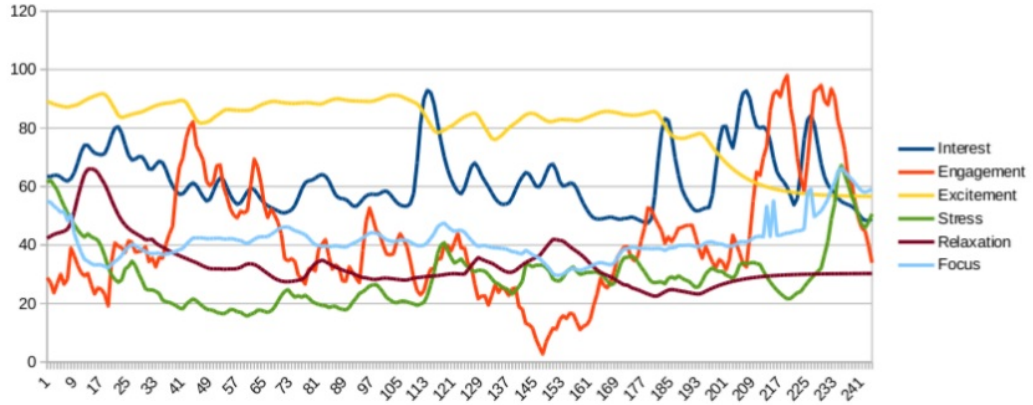
Slika B



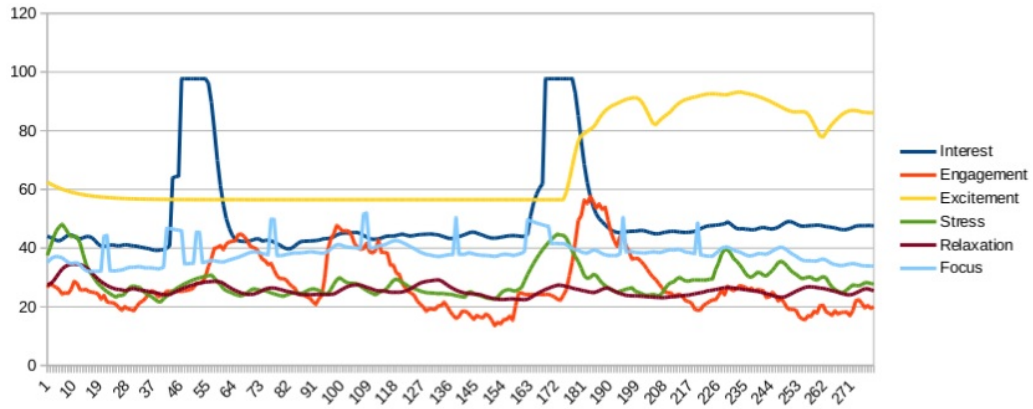
Slika 51. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku VSTWM eksperimenta (Slika B)



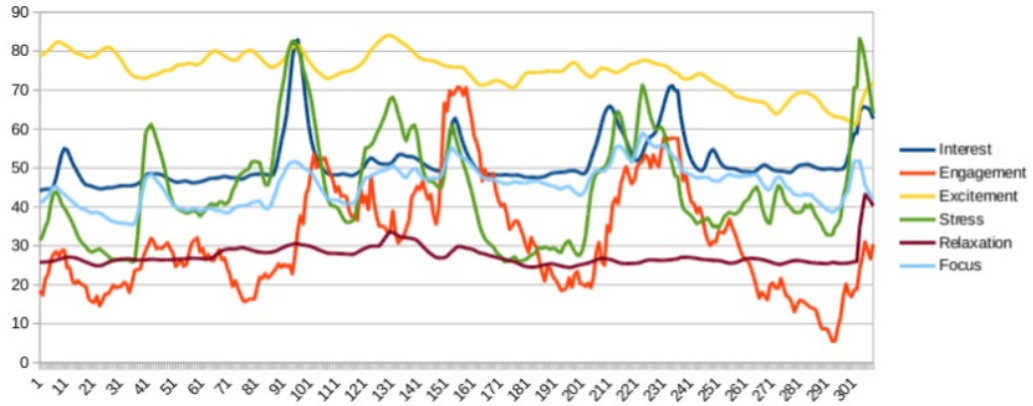
Slika 52. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 2. u toku VSTWM eksperimenta (Slika B)



Slika 53. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 3. u toku VSTWM eksperimenta (Slika B)



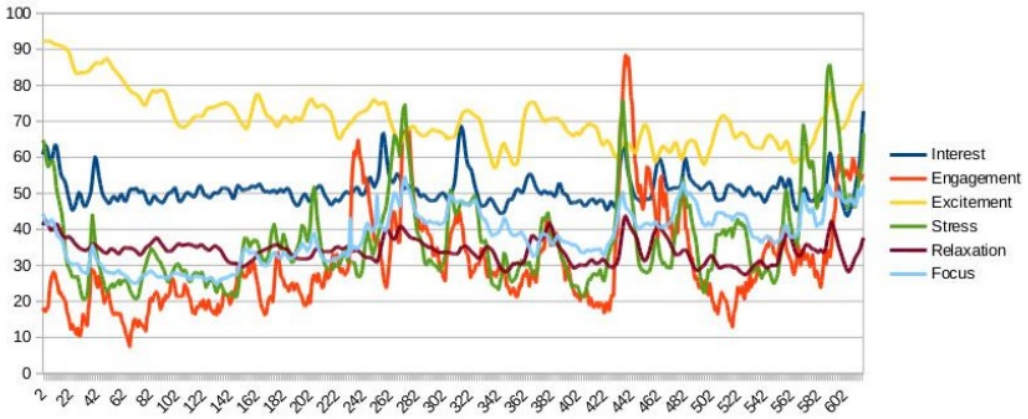
Slika 54. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 4. u toku VSTWM eksperimenta (Slika B)



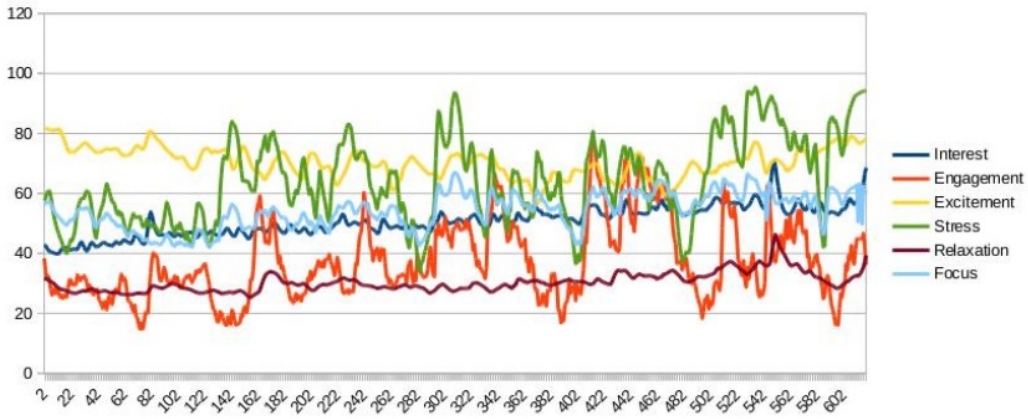
Slika 55. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 5. u toku VSTWM eksperimenta (Slika B)

6.4 PRILOG D.

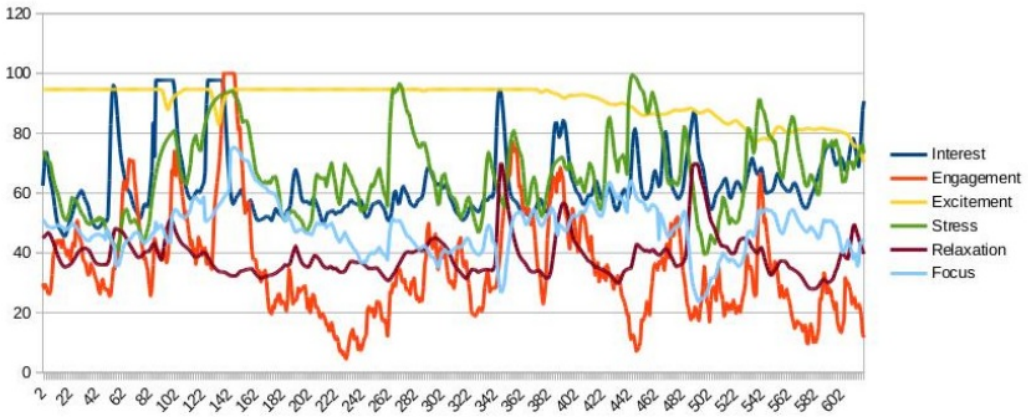
Primeri grafički predstavljenih sesija sa EEG podacima iz mTutor eksperimenta



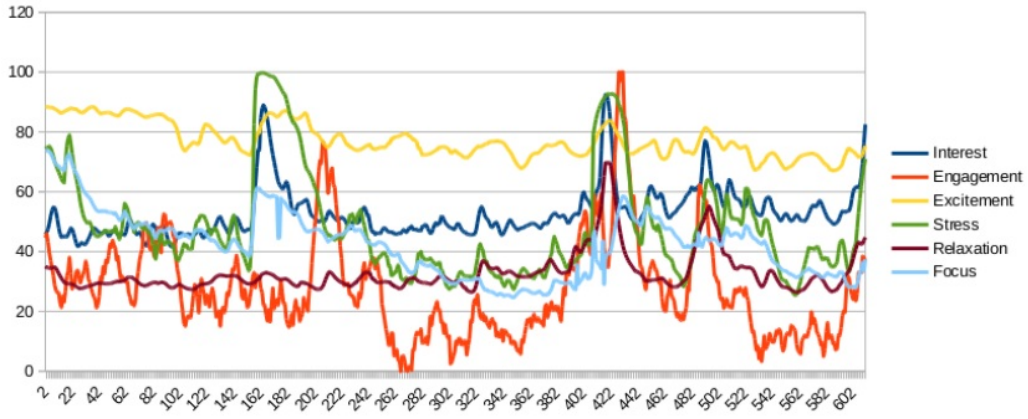
Slika 56. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku mTutor eksperimenta



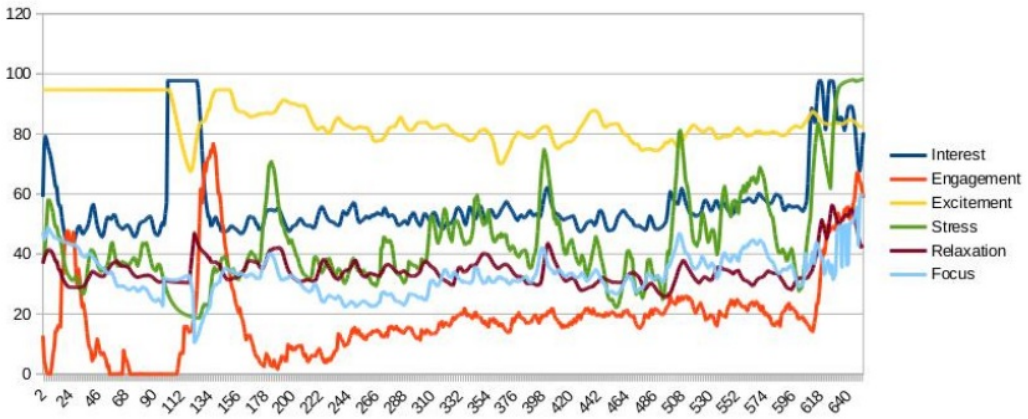
Slika 57. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 2. u toku mTutor eksperimenta



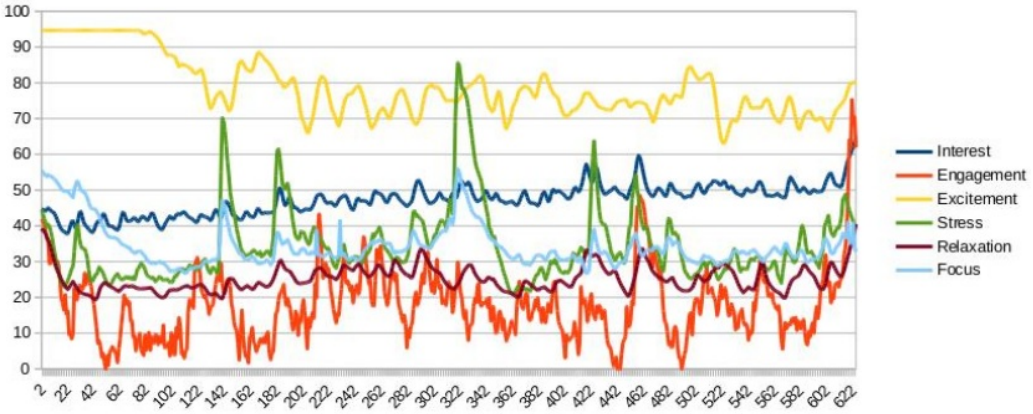
Slika 58. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 3. u toku mTutor eksperimenta



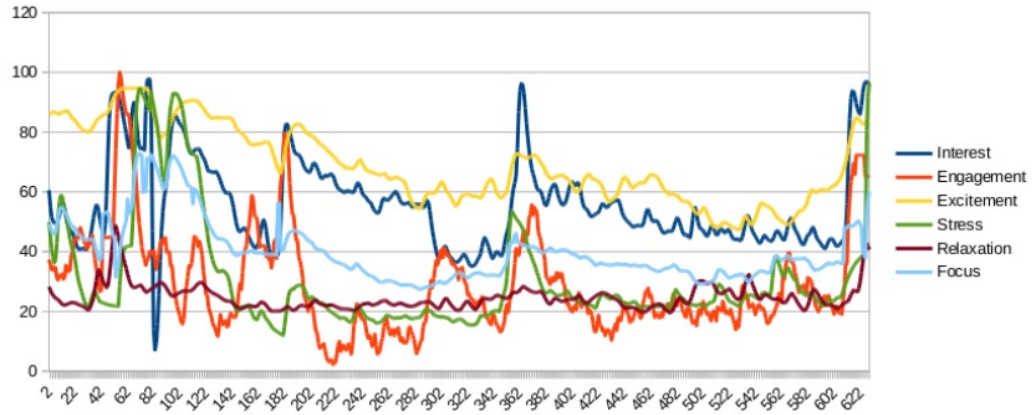
Slika 59. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 4. u toku mTutor eksperimenta



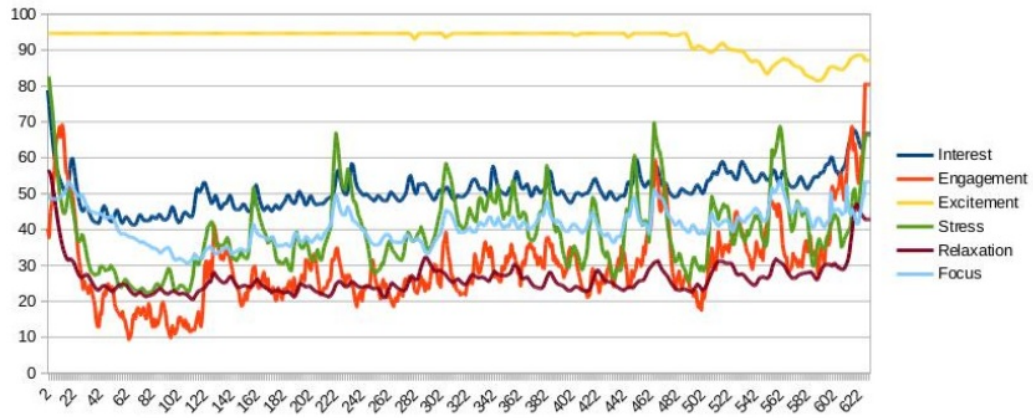
Slika 60. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 5. u toku mTutor eksperimenta



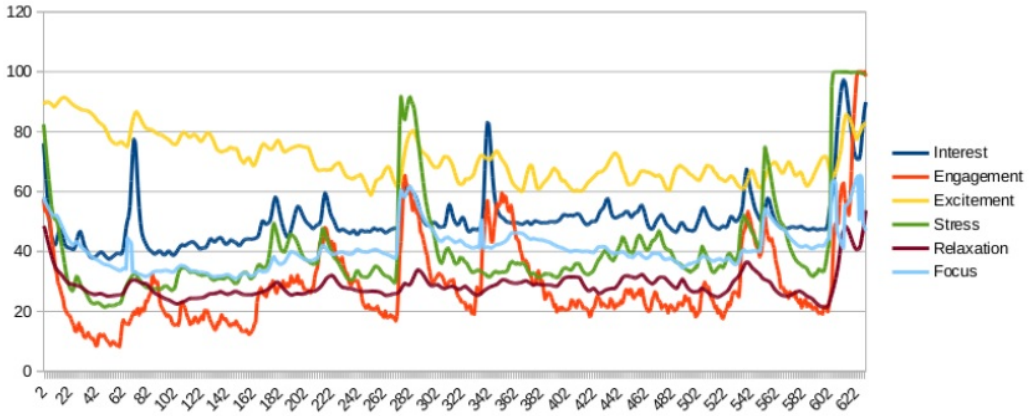
Slika 61. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 6. u toku mTutor eksperimenta



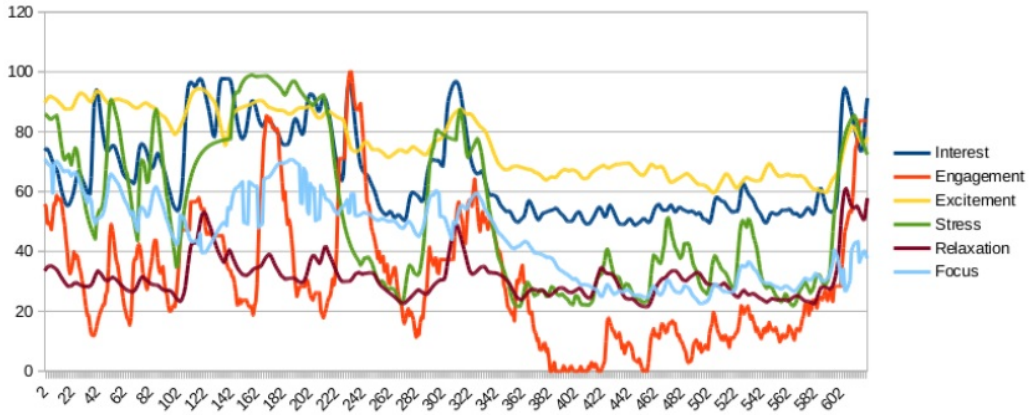
Slika 62. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 7. u toku mTutor eksperimenta



Slika 63. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 8. u toku mTutor eksperimenta



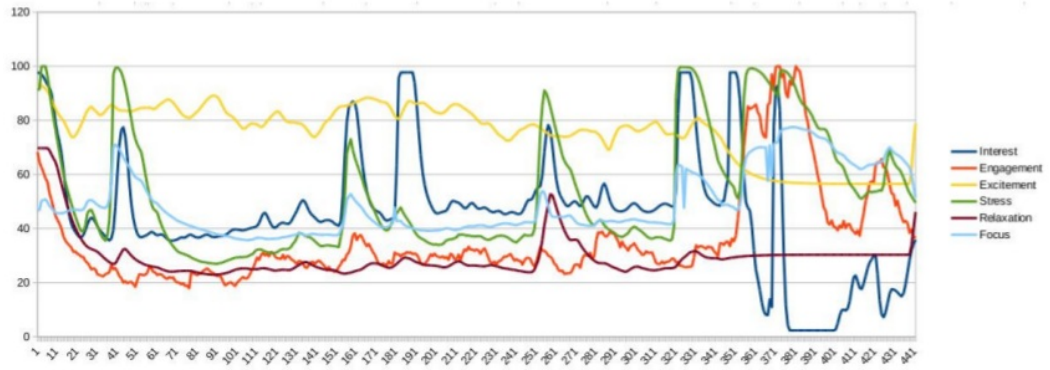
Slika 64. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 9. u toku mTutor eksperimenta



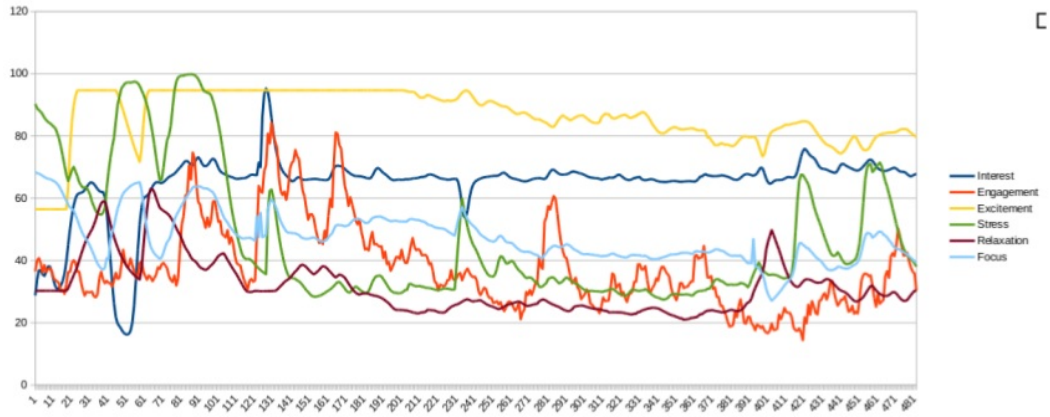
Slika 65. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 10. u toku mTutor eksperimenta

6.5 PRILOG E.

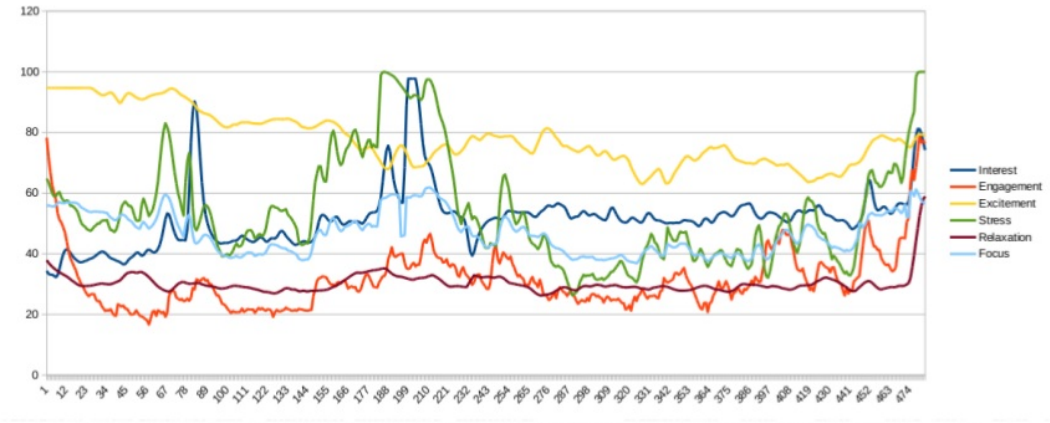
Primeri grafički predstavljenih sesija sa EEG podacima iz ACT eksperimenta



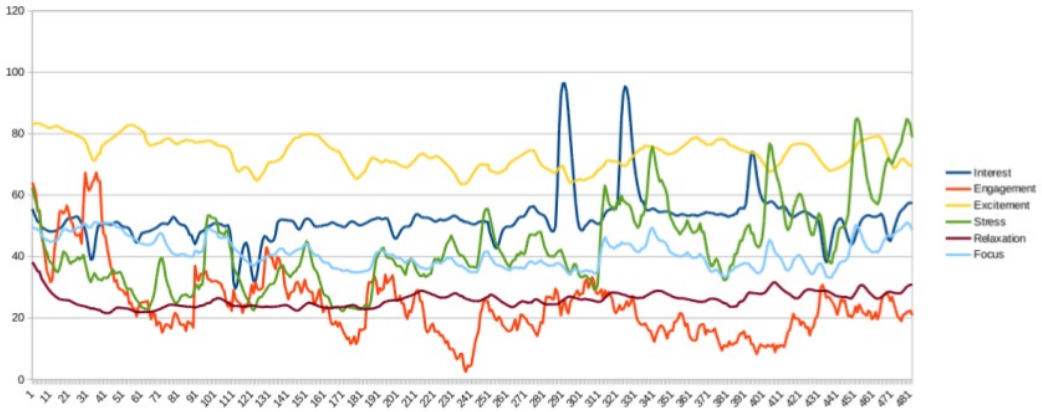
Slika 66. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 1. u toku ACT eksperimenta



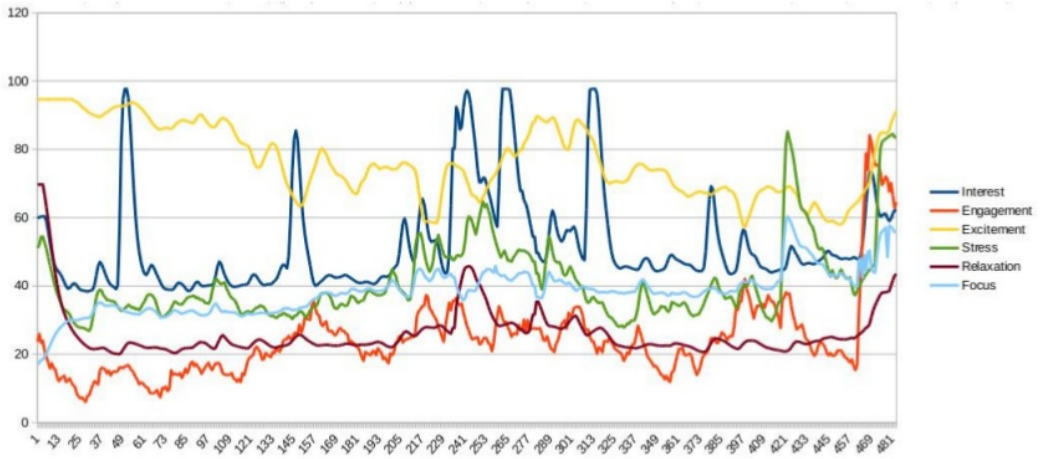
Slika 67. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 2. u toku ACT eksperimenta



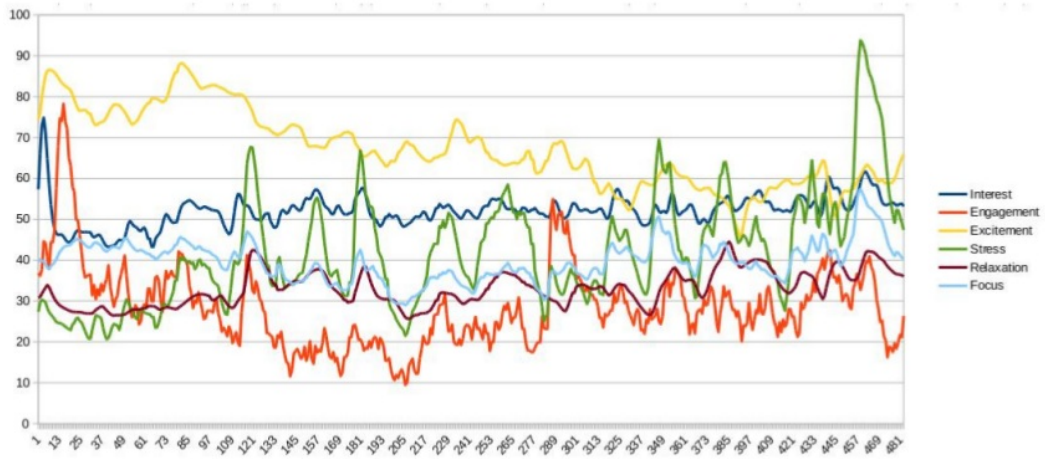
Slika 68. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 3. u toku ACT eksperimenta



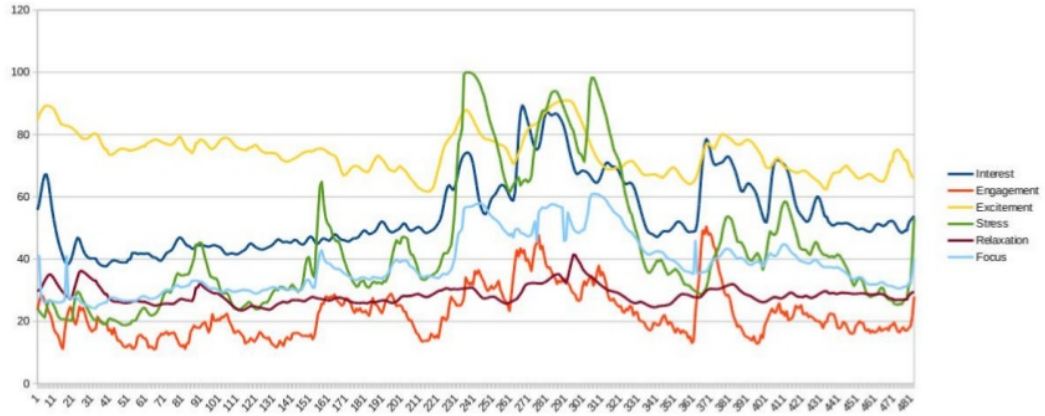
Slika 69. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 4. u toku ACT eksperimenta



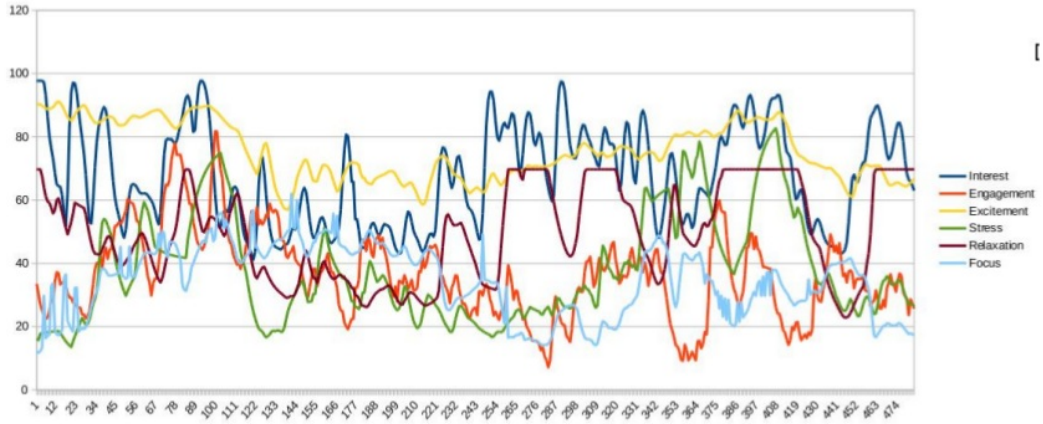
Slika 70. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 5. u toku ACT eksperimenta



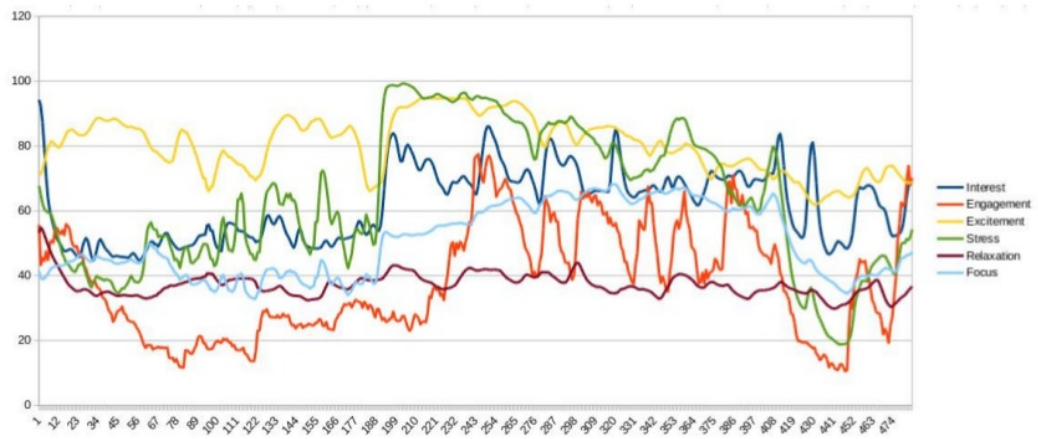
Slika 71. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 6. u toku ACT eksperimenta



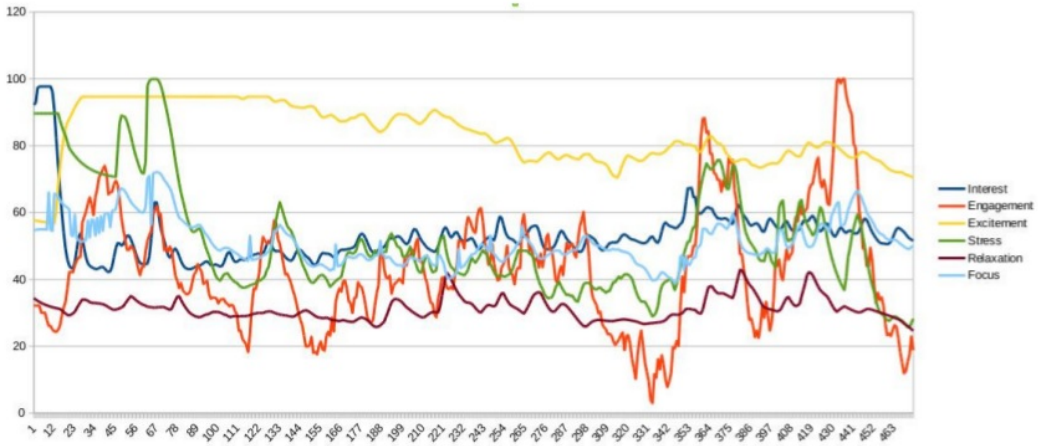
Slika 72. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 7. u toku ACT eksperimenta



Slika 73. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 8. u toku ACT eksperimenta



Slika 74. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 9. u toku ACT eksperimenta



Slika 75. Vrednosti merenih emotivnih osobina kod Ispitanika br. 10. u toku ACT eksperimenta

6.6 PRILOG F.

Primeri sirovih podataka prikupljenih sa VSTWM klijentske aplikacije

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	SequenceID	name	number	question	answered	correct
730808	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217282.333	1547217192.377	1547217192.475	2178.254.132.235	image_time_out				
730809	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217282.476	1547217192.52	1547217192.543	3178.254.132.235	image_removed				
730810	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217282.543	1547217192.587	1547217192.612	4178.254.132.235	quiz_started				
730811	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217282.612	1547217192.656	1547217192.681	5178.254.132.235	question_shown	1			
730822	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217286.807	1547217196.851	1547217196.874	6178.254.132.235	question_shown	2			
730835	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217290.631	1547217200.675	1547217200.698	7178.254.132.235	question_shown	3			
730848	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217294.816	1547217204.86	1547217204.883	8178.254.132.235	question_shown	4			
730859	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217297.768	1547217207.812	1547217207.835	9178.254.132.235	question_shown	5			
730872	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217301.711	1547217211.755	1547217211.778	10178.254.132.235	question_shown	6			
730887	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217306.088	1547217216.132	1547217216.155	11178.254.132.235	question_shown	7			
730901	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217311.792	1547217221.836	1547217221.916	12178.254.132.235	question_shown	8			
730923	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217319.192	1547217229.236	1547217229.315	13178.254.132.235	question_shown	9			
730935	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217323.103	1547217233.147	1547217233.17	14178.254.132.235	question_shown	10			
730951	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.159	1547217238.203	1547217238.292	15178.254.132.235	quiz_completed				
730952	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.286	1547217238.33	1547217238.353	16178.254.132.235	user_answer		1b	b	
730953	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.36	1547217238.404	1547217238.428	17178.254.132.235	user_answer		2d	d	
730956	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.421	1547217238.465	1547217238.49	18178.254.132.235	user_answer		3a	a	
730957	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.487	1547217238.531	1547217238.555	19178.254.132.235	user_answer		4c	c	
730958	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.551	1547217238.595	1547217238.62	20178.254.132.235	user_answer		5a	a	
730959	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.614	1547217238.658	1547217238.683	21178.254.132.235	user_answer		6b	b	
730960	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.681	1547217238.725	1547217238.749	22178.254.132.235	user_answer		7c	c	
730961	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.754	1547217238.798	1547217238.824	23178.254.132.235	user_answer		8d	d	
730962	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.825	1547217238.869	1547217238.896	24178.254.132.235	user_answer		9c	a	
730963	AppPamcenje	stud1.2-Test1-1	event	1547217328.9	1547217238.944	1547217238.968	25178.254.132.235	user_answer		10d	d	

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	Sequer	IP	name	number	question	answered	correct
742371	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219860.153	1547219769.939	1547219769.957	1	178.254.132.235	image_presented				
744301	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219921.221	1547219831.007	1547219831.1	2	178.254.132.235	image_time_out				
744302	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219921.367	1547219831.153	1547219831.175	3	178.254.132.235	image_removed				
744303	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219921.437	1547219831.223	1547219831.245	4	178.254.132.235	quiz_started				
744304	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219921.506	1547219831.292	1547219831.315	5	178.254.132.235	question_shown	1			
744432	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219925.558	1547219835.344	1547219835.364	6	178.254.132.235	question_shown	2			
744532	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219928.198	1547219837.984	1547219838.003	7	178.254.132.235	question_shown	3			
744729	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219934.285	1547219844.071	1547219844.146	8	178.254.132.235	question_shown	4			
744829	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219937.446	1547219847.232	1547219847.252	9	178.254.132.235	question_shown	5			
745057	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219944.126	1547219853.912	1547219853.987	10	178.254.132.235	question_shown	6			
745154	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219947.629	1547219857.415	1547219857.436	11	178.254.132.235	question_shown	7			
745419	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219955.582	1547219865.368	1547219865.443	12	178.254.132.235	question_shown	8			
745616	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219962.054	1547219871.84	1547219871.917	13	178.254.132.235	question_shown	9			
745749	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219966.158	1547219875.944	1547219875.964	14	178.254.132.235	question_shown	10			
745974	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219972.662	1547219882.448	1547219882.53	15	178.254.132.235	quiz_completed				
745975	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219972.785	1547219882.571	1547219882.593	16	178.254.132.235	user_answer		1	b	b
745976	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219972.846	1547219882.632	1547219882.653	17	178.254.132.235	user_answer		2	d	d
745977	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219972.912	1547219882.698	1547219882.719	18	178.254.132.235	user_answer		3	b	a
745978	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219972.977	1547219882.763	1547219882.783	19	178.254.132.235	user_answer		4	c	c
745979	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219973.039	1547219882.825	1547219882.846	20	178.254.132.235	user_answer		5	a	a
745980	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219973.116	1547219882.902	1547219882.923	21	178.254.132.235	user_answer		6	b	b
746016	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219973.181	1547219882.967	1547219882.988	22	178.254.132.235	user_answer		7	d	c
746017	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219973.238	1547219883.024	1547219883.046	23	178.254.132.235	user_answer		8	d	d
746018	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219973.305	1547219883.091	1547219883.111	24	178.254.132.235	user_answer		9	a	a
746019	App/Pamcenje	stud3.2-Test1-1	event	1547219973.367	1547219883.153	1547219883.173	25	178.254.132.235	user_answer		10	d	d

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	Sequer	IP	name	number	question	answered	correct
470267	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885757.486	1540885734.058	1540885734.325	1	91.234.132.35	image_presented				
472251	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885818.765	1540885795.337	1540885795.753	2	91.234.132.35	image_time_out				
472252	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885819.034	1540885795.606	1540885795.864	3	91.234.132.35	image_removed				
472253	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885819.157	1540885795.729	1540885795.985	4	91.234.132.35	quiz_started				
472254	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885819.252	1540885795.824	1540885796.08	5	91.234.132.35	question_shown	1			
472481	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885825.976	1540885802.548	1540885802.906	6	91.234.132.35	question_shown	2			
472647	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885831.322	1540885807.894	1540885808.266	7	91.234.132.35	question_shown	3			
472877	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885838.136	1540885814.708	1540885815.084	8	91.234.132.35	question_shown	4			
473010	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885841.968	1540885818.54	1540885818.792	9	91.234.132.35	question_shown	5			
473174	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885847.24	1540885823.812	1540885824.138	10	91.234.132.35	question_shown	6			
473306	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885850.712	1540885827.284	1540885827.538	11	91.234.132.35	question_shown	7			
473474	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885855.976	1540885832.548	1540885832.928	12	91.234.132.35	question_shown	8			
473705	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885865	1540885841.572	1540885843.763	13	91.234.132.35	question_shown	9			
473969	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885871.217	1540885847.789	1540885848.612	14	91.234.132.35	question_shown	10			
474442	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885882.969	1540885859.541	1540885865.121	15	91.234.132.35	quiz_completed				
474484	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885889.918	1540885866.49	1540885869.497	16	91.234.132.35	user_answer		1	b	b
474575	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885893.217	1540885869.789	1540885870.284	17	91.234.132.35	user_answer		2	d	d
474676	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885893.681	1540885870.253	1540885870.545	18	91.234.132.35	user_answer		3	a	a
474677	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885894.062	1540885870.634	1540885871.035	19	91.234.132.35	user_answer		4	c	c
474712	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885894.541	1540885871.113	1540885872.772	20	91.234.132.35	user_answer		5	a	a
474762	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885896.088	1540885872.66	1540885873.296	21	91.234.132.35	user_answer		6	b	b
474763	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885896.808	1540885873.38	1540885873.785	22	91.234.132.35	user_answer		7	c	c
474794	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885897.281	1540885873.853	1540885874.142	23	91.234.132.35	user_answer		8	d	d
474835	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885897.873	1540885874.445	1540885883.958	24	91.234.132.35	user_answer		9	d	a
475102	App/Pamcenje	skola-usr2-Test1-1	event	1540885908.196	1540885884.768	1540885894.406	25	91.234.132.35	user_answer		10	b	d

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	Seque	IP	name	number	question	answered	correct
478052	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540886969.808	1540886946.608	1540886946.651	1	91.234.132.35	image_presented				
479957	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887030.918	1540887007.718	1540887007.845	2	91.234.132.35	image_time_out				
479960	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887031.12	1540887007.92	1540887007.969	3	91.234.132.35	image_removed				
479961	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887031.238	1540887008.038	1540887008.087	4	91.234.132.35	quiz_started				
479992	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887031.361	1540887008.161	1540887008.213	5	91.234.132.35	question_shown	1			
480124	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887035.507	1540887012.307	1540887012.367	6	91.234.132.35	question_shown	2			
480225	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887038.468	1540887015.268	1540887015.314	7	91.234.132.35	question_shown	3			
480326	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887041.588	1540887018.388	1540887018.494	8	91.234.132.35	question_shown	4			
480426	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887044.972	1540887021.772	1540887021.812	9	91.234.132.35	question_shown	5			
480593	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887048.155	1540887024.955	1540887026.472	10	91.234.132.35	question_shown	6			
480594	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887049.939	1540887026.739	1540887026.784	11	91.234.132.35	question_shown	7			
480826	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887057.139	1540887033.939	1540887034.056	12	91.234.132.35	question_shown	8			
481053	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887063.458	1540887040.258	1540887040.385	13	91.234.132.35	question_shown	9			
481154	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887066.563	1540887043.363	1540887043.407	14	91.234.132.35	question_shown	10			
481321	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887072.171	1540887048.971	1540887049.109	15	91.234.132.35	quiz_completed				
481354	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887072.368	1540887049.168	1540887049.243	16	91.234.132.35	user_answer		1	b	b
481355	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887072.492	1540887049.292	1540887049.37	17	91.234.132.35	user_answer		2	d	d
481356	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887072.619	1540887049.419	1540887049.495	18	91.234.132.35	user_answer		3	a	a
481357	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887072.738	1540887049.538	1540887049.593	19	91.234.132.35	user_answer		4	c	c
481358	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887072.843	1540887049.643	1540887049.726	20	91.234.132.35	user_answer		5	a	a
481359	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887072.986	1540887049.786	1540887049.829	21	91.234.132.35	user_answer		6		b
481360	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887073.076	1540887049.876	1540887049.919	22	91.234.132.35	user_answer		7	c	c
481361	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887073.16	1540887049.96	1540887050.013	23	91.234.132.35	user_answer		8	d	d
481364	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887073.27	1540887050.07	1540887050.114	24	91.234.132.35	user_answer		9	d	a
481395	App/Pamcenje	skola-usr3-Test1-1	event	1540887073.36	1540887050.16	1540887050.207	25	91.234.132.35	user_answer		10	d	d

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	Seque	IP	name	number	question	answered	correct
482446	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898326.763	1540898303.759	1540898303.792	1	91.234.132.35	image_presented				
484468	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898387.864	1540898364.86	1540898373.841	2	91.234.132.35	image_time_out				
484666	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898396.919	1540898373.915	1540898373.951	3	91.234.132.35	image_removed				
484667	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898397.035	1540898374.031	1540898374.151	4	91.234.132.35	quiz_started				
484668	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898397.226	1540898374.222	1540898374.285	5	91.234.132.35	question_shown	1			
484831	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898401.906	1540898378.902	1540898410.764	6	91.234.132.35	question_shown	2			
484897	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898433.885	1540898410.881	1540898410.913	7	91.234.132.35	question_shown	3			
485411	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898440.21	1540898417.206	1540898429.234	8	91.234.132.35	question_shown	4			
485904	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898457.817	1540898434.813	1540898447.892	9	91.234.132.35	question_shown	5			
486583	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898477.969	1540898454.965	1540898457.363	10	91.234.132.35	question_shown	6			
487221	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898490.769	1540898467.765	1540898471.933	11	91.234.132.35	question_shown	7			
487385	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898499.681	1540898476.677	1540898476.717	12	91.234.132.35	question_shown	8			
487872	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898510.145	1540898487.141	1540898494.895	13	91.234.132.35	question_shown	9			
488038	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898526.961	1540898503.957	1540898513.568	14	91.234.132.35	question_shown	10			
488673	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898543.994	1540898520.99	1540898521.24	15	91.234.132.35	quiz_completed				
488676	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898544.37	1540898521.366	1540898521.406	16	91.234.132.35	user_answer		1	b	b
488677	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898544.536	1540898521.532	1540898521.617	17	91.234.132.35	user_answer		2		d
488732	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898547.137	1540898524.133	1540898524.232	18	91.234.132.35	user_answer		3	a	a
488781	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898549.107	1540898526.103	1540898526.345	19	91.234.132.35	user_answer		4	c	c
488876	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898561.857	1540898538.853	1540898545.297	20	91.234.132.35	user_answer		5	a	a
488879	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898568.414	1540898545.41	1540898545.456	21	91.234.132.35	user_answer		6	a	b
488880	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898568.577	1540898545.573	1540898545.624	22	91.234.132.35	user_answer		7	c	c
488881	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898568.714	1540898545.71	1540898545.753	23	91.234.132.35	user_answer		8	d	d
488882	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898568.845	1540898545.841	1540898545.881	24	91.234.132.35	user_answer		9	d	a
488887	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898571.019	1540898548.015	1540898548.057	25	91.234.132.35	user_answer		10	d	d

6.6 PRILOG G.

Primeri sirovih podataka prikupljenih sa ACT klijentske aplikacije

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	Sequence	IP	name	row	col	letter	correct
767418	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567511.136	1552567356.284	1552567356.862	306	147.91.1.43	test_started				
767450	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567512.687	1552567357.835	1552567358.165	307	147.91.1.43					
767479	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567513.688	1552567358.836	1552567358.863	308	147.91.1.43					
767482	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567514.689	1552567359.837	1552567359.864	309	147.91.1.43					
767547	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567514.77	1552567359.918	1552567360.865	310	147.91.1.43	cell_selected	0	4	C	1
767550	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567515.96	1552567361.108	1552567361.868	311	147.91.1.43	cell_selected	0	9	A	1
767613	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567517.368	1552567362.516	1552567362.868	312	147.91.1.43	cell_selected	0	16	A	1
767648	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567518.393	1552567363.541	1552567363.87	313	147.91.1.43	cell_selected	0	19	C	1
767683	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567519.097	1552567364.245	1552567364.869	314	147.91.1.43	cell_selected	0	25	A	1
767718	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567520.44	1552567365.588	1552567365.872	315	147.91.1.43	cell_selected	0	33	C	1
767746	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567521.696	1552567366.844	1552567366.875	316	147.91.1.43					
767749	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567522.096	1552567367.244	1552567367.872	317	147.91.1.43	cell_selected	1	0	A	1
767816	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567523.192	1552567368.34	1552567368.874	318	147.91.1.43	cell_selected	1	8	C	1
767849	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567524.7	1552567369.848	1552567369.878	319	147.91.1.43					
767884	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567525.401	1552567370.549	1552567370.877	320	147.91.1.43	cell_selected	1	23	C	1
767917	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567526.701	1552567371.849	1552567371.877	321	147.91.1.43					
767950	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567527.702	1552567372.85	1552567372.877	322	147.91.1.43					
767983	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567528.623	1552567373.771	1552567373.878	323	147.91.1.43	cell_selected	1	28	C	1
768016	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567529.24	1552567374.388	1552567374.88	324	147.91.1.43	cell_selected	1	33	A	1
768049	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567530.705	1552567375.853	1552567375.882	325	147.91.1.43					
768082	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567531.641	1552567376.789	1552567376.881	326	147.91.1.43	cell_selected	2	4	C	1
768119	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567532.448	1552567377.596	1552567377.881	327	147.91.1.43	cell_selected	2	10	A	1
768150	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567533.344	1552567378.492	1552567378.884	328	147.91.1.43	cell_selected	2	13	A	1
768183	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567534.709	1552567379.857	1552567379.886	329	147.91.1.43					
768218	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567534.808	1552567379.956	1552567380.888	330	147.91.1.43	cell_selected	2	23	A	1
768221	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567536.224	1552567381.372	1552567381.887	331	147.91.1.43	cell_selected	2	27	A	1
768284	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567537.112	1552567382.26	1552567382.887	332	147.91.1.43	cell_selected	2	35	C	1
768317	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567538.713	1552567383.861	1552567383.891	333	147.91.1.43					
768352	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567538.888	1552567384.036	1552567384.89	334	147.91.1.43	cell_selected	3	1	C	1
768387	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567540.16	1552567385.308	1552567385.89	335	147.91.1.43	cell_selected	3	11	C	1
768420	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-ping	1552567541.716	1552567386.864	1552567386.89	336	147.91.1.43					
768455	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567542.048	1552567387.196	1552567387.892	337	147.91.1.43	cell_selected	3	20	A	1
768490	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567543.296	1552567388.444	1552567388.894	338	147.91.1.43	cell_selected	3	25	A	1
768493	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac-1	-event	1552567544.656	1552567389.804	1552567389.895	339	147.91.1.43	cell_selected	3	33	A	1

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	Sequenc	IP	name	row	col	letter	correct
776096	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568036.206	1552567881.364	1552567881.622	276	147.91.1.43	test_started				
776131	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568037.438	1552567882.596	1552567882.629	277	147.91.1.43					
776160	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568038.438	1552567883.596	1552567883.625	278	147.91.1.43					
776193	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568039.018	1552567884.176	1552567884.624	279	147.91.1.43	cell_selected	0	4	C	1
776228	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568040.24	1552567885.398	1552567885.624	280	147.91.1.43	cell_selected	0	9	A	1
776263	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568041.441	1552567886.599	1552567886.625	281	147.91.1.43					
776292	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568042.104	1552567887.262	1552567887.631	282	147.91.1.43	cell_selected	0	16	A	1
776327	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568042.895	1552567888.053	1552567888.629	283	147.91.1.43	cell_selected	0	19	C	1
776362	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568044.095	1552567889.253	1552567889.629	284	147.91.1.43	cell_selected	0	25	A	1
776397	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568045.445	1552567890.603	1552567890.631	285	147.91.1.43					
776426	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568045.951	1552567891.109	1552567891.636	286	147.91.1.43	cell_selected	0	33	C	1
776457	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568047.367	1552567892.525	1552567892.643	287	147.91.1.43	cell_selected	1	0	A	1
776492	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568048.448	1552567893.606	1552567893.638	288	147.91.1.43					
776525	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568049.45	1552567894.608	1552567894.648	289	147.91.1.43					
776555	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568049.89	1552567895.048	1552567895.646	290	147.91.1.43	cell_selected	1	8	C	1
776590	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568051.46	1552567896.618	1552567896.647	291	147.91.1.43					
776623	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568052.461	1552567897.619	1552567897.65	292	147.91.1.43					
776684	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568053.462	1552567898.62	1552567899.023	293	147.91.1.43					
776685	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568054.463	1552567899.621	1552567899.649	294	147.91.1.43					
776718	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568054.613	1552567899.771	1552567900.651	295	147.91.1.43	cell_selected	1	28	C	1
776753	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568055.967	1552567901.125	1552567901.653	296	147.91.1.43	cell_selected	1	33	A	1
776788	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568057.467	1552567902.625	1552567902.654	297	147.91.1.43					
776817	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568058.467	1552567903.625	1552567903.653	298	147.91.1.43					
776851	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568059.47	1552567904.628	1552567904.656	299	147.91.1.43					
776884	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568060.13	1552567905.288	1552567905.657	300	147.91.1.43	cell_selected	2	13	A	1
776919	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568061.472	1552567906.63	1552567906.661	301	147.91.1.43					
776952	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568062.472	1552567907.63	1552567907.665	302	147.91.1.43					
776985	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568063.475	1552567908.633	1552567908.664	303	147.91.1.43					
777018	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568063.593	1552567908.751	1552567909.664	304	147.91.1.43	cell_selected	2	27	A	1
777053	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568065.48	1552567910.638	1552567910.666	305	147.91.1.43					
777082	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568065.719	1552567910.877	1552567911.674	306	147.91.1.43	cell_selected	2	35	C	1
777117	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568067.484	1552567912.642	1552567912.673	307	147.91.1.43					
777150	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	event	1552568067.72	1552567912.878	1552567913.676	308	147.91.1.43	cell_selected	3	1	C	1
777185	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	ping	1552568069.486	1552567914.644	1552567914.673	309	147.91.1.43					

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	Sequer	IP	name	row	col	letter	correct
780361	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568828.18	1552568673.342	1552568673.959	84	147.91.1.43	test_started				
780364	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568829.478	1552568674.64	1552568674.66	85	147.91.1.43					
780397	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568830.479	1552568675.641	1552568675.66	86	147.91.1.43					
780462	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568830.958	1552568676.12	1552568676.668	87	147.91.1.43	cell_selected	0	4	C	1
780495	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568832.003	1552568677.165	1552568677.669	88	147.91.1.43	cell_selected	0	9	A	1
780530	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568833.283	1552568678.445	1552568678.664	89	147.91.1.43	cell_selected	0	16	A	1
780565	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568833.982	1552568679.144	1552568679.663	90	147.91.1.43	cell_selected	0	19	C	1
780662	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568835.115	1552568680.277	1552568683.267	91	147.91.1.43	cell_selected	0	25	A	1
780665	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568838.171	1552568683.333	1552568683.371	92	147.91.1.43	cell_selected	0	33	C	1
780666	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568838.264	1552568683.426	1552568683.453	93	147.91.1.43					
780695	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568838.488	1552568683.65	1552568683.674	94	147.91.1.43					
780726	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568839.489	1552568684.651	1552568684.68	95	147.91.1.43					
780755	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568839.667	1552568684.829	1552568685.986	96	147.91.1.43	cell_selected	1	0	A	1
780758	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568841.053	1552568686.215	1552568686.672	97	147.91.1.43	cell_selected	1	8	C	1
780818	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568842.492	1552568687.654	1552568687.682	98	147.91.1.43					
780848	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568843.494	1552568688.656	1552568688.692	99	147.91.1.43					
780880	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568844.495	1552568689.657	1552568689.69	100	147.91.1.43					
780914	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568844.716	1552568689.878	1552568690.698	101	147.91.1.43	cell_selected	1	23	C	1
780917	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568846.395	1552568691.557	1552568691.693	102	147.91.1.43	cell_selected	1	33	A	1
780979	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568847.5	1552568692.662	1552568692.7	103	147.91.1.43					
781012	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568848.5	1552568693.662	1552568693.681	104	147.91.1.43					
781045	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568848.812	1552568693.974	1552568694.693	105	147.91.1.43	cell_selected	2	4	C	1
781080	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568849.596	1552568694.758	1552568695.69	106	147.91.1.43	cell_selected	2	10	A	1
781111	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568851.491	1552568696.653	1552568696.693	107	147.91.1.43	cell_selected	2	13	A	1
781144	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568852.506	1552568697.668	1552568697.688	108	147.91.1.43					
781175	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568853.507	1552568698.669	1552568698.699	109	147.91.1.43					
781210	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568853.619	1552568698.781	1552568699.701	110	147.91.1.43	cell_selected	2	23	A	1
781241	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568855.511	1552568700.673	1552568700.698	111	147.91.1.43					
781244	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568855.811	1552568700.973	1552568701.702	112	147.91.1.43	cell_selected	2	27	A	1
781302	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568857.514	1552568702.676	1552568702.705	113	147.91.1.43					
781335	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568858.515	1552568703.677	1552568703.707	114	147.91.1.43					
781367	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568859.484	1552568704.646	1552568704.708	115	147.91.1.43	cell_selected	2	35	C	1
781402	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568860.517	1552568705.679	1552568706.013	116	147.91.1.43					
781435	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568861.518	1552568706.68	1552568706.712	117	147.91.1.43					

814622	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981850.327	1552981691.507	1552981691.605	91	212.200.65.91						
814655	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981851.329	1552981692.509	1552981692.589	92	212.200.65.91						
814688	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981851.768	1552981692.948	1552981693.596	93	212.200.65.91	cell_selected	5	23	C	1	
814723	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981853.096	1552981694.276	1552981694.605	94	212.200.65.91	cell_selected	5	28	C	1	
814758	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981854.333	1552981695.513	1552981695.602	95	212.200.65.91						
814793	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981854.593	1552981695.773	1552981696.598	96	212.200.65.91	cell_selected	5	34	A	1	
814826	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981855.975	1552981697.155	1552981697.6	97	212.200.65.91	cell_selected	6	0	C	1	
814861	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981857.216	1552981698.396	1552981698.6	98	212.200.65.91	cell_selected	6	7	A	1	
814896	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981858.336	1552981699.516	1552981699.61	99	212.200.65.91						
814929	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981859.338	1552981700.518	1552981700.602	100	212.200.65.91						
814962	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981860.183	1552981701.363	1552981701.619	101	212.200.65.91	cell_selected	6	12	E		
814997	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981861.341	1552981702.521	1552981702.604	102	212.200.65.91						
815030	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981862.341	1552981703.521	1552981703.614	103	212.200.65.91						
815063	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981863.343	1552981704.523	1552981704.611	104	212.200.65.91						
815096	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981864.345	1552981705.525	1552981705.607	105	212.200.65.91						
815129	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981865.345	1552981706.525	1552981706.608	106	212.200.65.91						
815163	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981865.746	1552981706.926	1552981707.611	107	212.200.65.91	cell_selected	6	25	C	1	
815198	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981867.347	1552981708.527	1552981708.613	108	212.200.65.91						
815231	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981868.348	1552981709.528	1552981709.615	109	212.200.65.91						
815266	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981868.595	1552981709.775	1552981710.628	110	212.200.65.91	cell_selected	6	33	A	1	
815299	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981870.351	1552981711.531	1552981711.613	111	212.200.65.91						
815332	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981871.351	1552981712.531	1552981712.613	112	212.200.65.91						
815367	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981871.483	1552981712.663	1552981713.628	113	212.200.65.91	cell_selected	7	4	A	1	
815400	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981873.354	1552981714.534	1552981714.615	114	212.200.65.91						
815433	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981874.356	1552981715.536	1552981715.618	115	212.200.65.91						
815466	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981874.936	1552981716.116	1552981716.632	116	212.200.65.91	cell_selected	7	13	C	1	
815501	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981876.358	1552981717.538	1552981717.624	117	212.200.65.91						
815534	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981877.36	1552981718.54	1552981718.622	118	212.200.65.91						
815567	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981878.362	1552981719.542	1552981719.626	119	212.200.65.91						
815600	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981879.363	1552981720.543	1552981720.629	120	212.200.65.91						
815633	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981879.778	1552981720.958	1552981721.677	121	212.200.65.91	cell_selected	7	29	C	1	
815668	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981881.366	1552981722.546	1552981722.629	122	212.200.65.91						
815701	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981882.367	1552981723.547	1552981723.63	123	212.200.65.91						
815736	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981882.552	1552981723.732	1552981724.644	124	212.200.65.91	cell_selected	7	33	C	1	
815769	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981884.371	1552981725.551	1552981725.634	125	212.200.65.91						
815802	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981885.374	1552981726.554	1552981726.633	126	212.200.65.91						
815835	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981886.374	1552981727.554	1552981727.648	127	212.200.65.91						
815868	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981886.848	1552981728.028	1552981728.637	128	212.200.65.91	cell_selected	8	1	C	1	
815903	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	ping	1552981888.377	1552981729.557	1552981729.65	129	212.200.65.91						
815936	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6 -	event	1552981889.21	1552981730.39	1552981730.638	130	212.200.65.91	cell_selected	8	13	A	1	

823052	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982252.733	1552982093.947	1552982094.68	116	212.200.65.91	cell_selected	1	23	C	1
823085	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982254.416	1552982095.63	1552982095.682	117	212.200.65.91					
823118	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982255.417	1552982096.631	1552982096.684	118	212.200.65.91					
823153	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982255.748	1552982096.962	1552982097.706	119	212.200.65.91	cell_selected	1	33	A	1
823186	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982257.42	1552982098.634	1552982098.686	120	212.200.65.91					
823219	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982258.308	1552982099.522	1552982099.702	121	212.200.65.91	cell_selected	2	4	C	1
823255	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982259.423	1552982100.637	1552982100.69	122	212.200.65.91					
823287	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982260.425	1552982101.639	1552982101.692	123	212.200.65.91					
823321	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982261.125	1552982102.339	1552982102.717	124	212.200.65.91	cell_selected	2	10	A	1
823356	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982262.372	1552982103.586	1552982103.701	125	212.200.65.91	cell_selected	2	13	A	1
823391	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982263.429	1552982104.643	1552982104.704	126	212.200.65.91					
823424	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982264.432	1552982105.646	1552982105.703	127	212.200.65.91					
823457	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982265.434	1552982106.648	1552982106.704	128	212.200.65.91					
823490	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982266.436	1552982107.65	1552982107.709	129	212.200.65.91					
823523	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982267.438	1552982108.652	1552982108.722	130	212.200.65.91					
823558	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982267.637	1552982108.851	1552982109.721	131	212.200.65.91	cell_selected	2	23	A	1
823592	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982269.053	1552982110.267	1552982110.713	132	212.200.65.91	cell_selected	2	27	A	1
823626	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982270.442	1552982111.656	1552982111.711	133	212.200.65.91					
823661	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982270.621	1552982111.835	1552982112.734	134	212.200.65.91	cell_selected	2	35	C	1
823694	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982272.147	1552982113.361	1552982113.816	135	212.200.65.91	cell_selected	3	1	C	1
823729	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982273.446	1552982114.66	1552982114.73	136	212.200.65.91					
823762	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982274.448	1552982115.662	1552982115.718	137	212.200.65.91					
823795	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982275.449	1552982116.663	1552982116.717	138	212.200.65.91					
823830	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982276.451	1552982117.665	1552982117.72	139	212.200.65.91					
823863	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982277.15	1552982118.364	1552982118.736	140	212.200.65.91	cell_selected	3	20	A	1
823896	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982278.454	1552982119.668	1552982119.734	141	212.200.65.91					
823930	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982279.036	1552982120.25	1552982120.726	142	212.200.65.91	cell_selected	3	25	A	1
823964	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982280.456	1552982121.67	1552982121.74	143	212.200.65.91					
823997	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982281.457	1552982122.671	1552982122.725	144	212.200.65.91					
824031	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982282.459	1552982123.673	1552982123.739	145	212.200.65.91					
824065	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982283.308	1552982124.522	1552982124.773	146	212.200.65.91	cell_selected	4	2	A	1
824100	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982284.108	1552982125.322	1552982125.744	147	212.200.65.91	cell_selected	4	6	C	1
824134	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982285.156	1552982126.37	1552982126.73	148	212.200.65.91	cell_selected	4	10	A	1
824169	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982286.228	1552982127.442	1552982127.748	149	212.200.65.91	cell_selected	4	15	C	1
824204	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982287.465	1552982128.679	1552982128.75	150	212.200.65.91					
824239	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982287.844	1552982129.058	1552982129.733	151	212.200.65.91	cell_selected	4	23	O	

7 LITERATURA

[1] Z. Wei-Long, D. Bo-Nan, L. Bao-Liang, "Multimodal emotion recognition using EEG and eye tracking data", in 36th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., pp. 5040–5043, 2014.

[2] T. Yamauchi and C. Bowman, "Mining Cursor Motions to Find the Gender, Experience, and Feelings of Computer Users", in 2014 IEEE International Conference on Data Mining Workshop, pp. 221–230, 2014.

[3] M. Hibbeln, J. L. Jenkins, C. Schneider, J. S. Valacich, and M. Weinmann, "MISQ Archivist Inferring Negative Emotion from Mouse Cursor Movements", 2015.

[4] B. Youngmann, E. Yom-Tov, "Anxiety and information seeking: Evidence from large-scale mouse tracking." in World Wide Web Conference. 2018 Presented at: WWW '18; April 23-27, 2018; Lyon, France p. 753-762.

[5] A. Jevremovic, S. Arsic, M. Antonijevic, A. Ioannou, N. Garcia, "Human-Computer Interaction Monitoring and Analytics Platform - Wisconsin Card Sorting Test Application", HealthyIoT 2018 - 5th EAI International Conference on IoT Technologies for HealthCare, Guimaraes, Portugal, November 21-23, 2018.

[6] M. Milosavljević, "Veštačka inteligencija", Univerzitet Singidunum, 2019.

[7] A. Poole, L. J. Ball, "Eye Tracking in HCI and Usability Research", pp. 211-219, 2006.

[8] D. L. Mills, "Internet time synchronization: the network time protocol", IEEE Transactions on Communications, vol. 39, no. 10, pp. 1482-1493, 1991.

[9] C. E. Shannon, "Communication in the Presence of Noise", Proceedings of the IEEE, Vol. 86, No. 2, pp. 447-457, 1998.

[10] P. M. Fitts, "The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement", Journal of Experimental Psychology, vol. 47 no. 6, pp. 381–391, 1954.

[11] I. S. MacKenzie, "Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction", Human-computer Interaction, vol. 7, pp. 91-139, 1992.

[12] P. M. Fitts, "The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement", Journal of Experimental Psychology: General, vol. 121, no. 3, pp. 262-269, 1992.

[13] A. T. Welford, "The measurement of sensory-motor performance - Survey and reappraisal of twelve years progress", Ergonomics, vol 3, no. 3, pp. 189-230, doi: 10.1080/00140136008930484, 1960.

[14] R. W. Soukoreff, I. S. MacKenzie, "Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI", Int. J. Human-Computer Studies, vol. 61, pp. 751–789, 2004.

[15] P. M. Fitts, J. R. Peterson, "Information capacity of discrete motor responses", Journal of Experimental Psychology, vol. 67, no. 2, pp. 103-112, 1964.

[16] J. Accot, S. Zhai, "Beyond Fitts' Law: Models for Trajectory-Based HCI Tasks", In Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems (CHI '97). ACM, New York, NY, USA, pp. 295-302, 1997.

[17] Zhao, H. , "Fitt's Law: Modeling Movement Time in HCI". Theories in Computer Human Interaction, 2002

[18] A.R. Lurija, "Osnovi neuropsihologije", Beograd: Nolit, 1976

[19] M.D. Lezak, "Neuropsychological assessment", New York: Oxford University Press, 1983.

[20] D. M. Pavlović, A. M. Pavlović, "Neuropsihologija : od strukture do funkcije mozga", 2018, ISBN 9788663890695

[21] C. Berryman, T. R. Stanton, K. J. Bowering, A. Tabor, A. McFarlane, G. L. Moseley, "Do people with chronic pain have impaired executive function? A meta-analytical review", Clinical Psychology Review, vol. 34, no. 7, pp 563-579, 2014.

[22] R. C.K. Chan, D. Shum, T. Toulopoulou, E. Y.H. Chen, "Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues", Archives of Clinical Neuropsychology, vol. 23, no. 2, pp. 201-216, 2008.

[23] G. A. Gioia, P. K. Isquith, L. E. Kenealy, "Assessment of behavioral aspects of executive function", chapter 8 in "Executive Functions and the Frontal Lobes: A Lifespan Perspective" ed. V. Andreson, E. Jacobs, P. J. Andreson, 2008.

[24] Todd B. Kashdan, Jonathan Rottenberg, Psychological flexibility as a fundamental aspect of health, Clinical Psychology Review, Volume 30, Issue 7, 2010,Pages 865-878.

[25] C. Zucchella, A. Federico, A. Martini, M. Tinazzi, M. Bartolo, S. Tamburin, "Neuropsychological testing", Practical Neurology, vol. 18, pp. 227-337, 2018.

[26] D. Howieson, "Current limitations of neuropsychological tests and assessment procedures", The Clinical Neuropsychologist, vol. 33, no. 2, pp. 1-9, 2019.

[27] R. K. Heaton, "A manual for the Wisconsin Card Sorting Test", Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, 1982.

[28] B. Milner, "Effects of Different Brain Lesions on Card Sorting: The Role of the Frontal Lobes", Arch Neurol., vol. 9, no. 1., 1963., doi:10.1001/archneur.1963.00460070100010

[29] D. A. Grant, E. A. Berg, "A behavioral analysis of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigel-type card-sorting problem", Journal of Experimental Psychology, vol. 38, pp. 404-411, 1948., doi:10.1037/h0059831

[30] R. K. Heaton, "Wisconsin Card Sorting Test Manual" Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, 1981.

[31] H. E. Nelson, "A Modified Card Sorting Test Sensitive to Frontal Lobe Defects", Cortex, vol. 12, no. 4, pp. 313-324, 1976.

[32] H. Yamauchi, R. Nishii, T. Higashi, S. Kagawa, H. Fukuyama, "Selective neuronal damage and Wisconsin Card Sorting Test performance in atherosclerotic occlusive disease of the major

cerebral artery", J Neurol Neurosurg Psychiatry, vol. 82, no. 2, pp. 150-156, 2011, doi: 10.1136/jnnp.2010.207274.

[33] A. D. Baddeley, “The episodic buffer: a new component of working memory,” Trends in Cognitive Science, vol. 4, no. 11, pp. 417-423, 2000.

[34] R. Luria, P. Sessa, A. Gotler, P. Jolicoeur, R. Dell'Acqua, “Visual short-term memory capacity for simple and complex objects,” Journal of Cognitive Neuroscience, vol. 22, no. 3, pp. 496-512, 2010.

[35] A. D. Baddeley, G. J. Hitch, “Working memory,” G. H. Bower (ed.): The psychology of learning and motivation, New York: Academic Press, pp. 47-90, 1974.

[36] N. Cowan, E. M. Elliott, J. S. Saults, C. C. Morey, S. Mattox, A. Hismjatullina, A. R. A. Conway, “On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes,” Cognitive Psychology, vol. 51, no. 1, pp. 42-100, 2005.

[37] A. D. Baddeley, “Working memory,” New York: Oxford University Press, 1986.

[38] D. Wechsler, "A standardized memory scale for clinical use", The Journal of Psychology: Interdisciplinary and Applied, vol. 19, no. 1, pp. 87-95, 1945.

[39] M. Korkman, U. Kirk, S. Kemp, "NEPSY-II: A developmental neuropsychological assessment", San Antonio, TX: The Psychological Corporation, 2007.

[40] C. K. Conners, "Conners’ Continuous Performance Test user’s manual", Toronto, Canada: Multi-Health Systems, 2000.

[41] T. N. Tombaugh, “Test of memory malingering: TOMM,” North Tonawanda, NY: Multi-Health Systems, 1996.

[42] H. E. Hooper, "The Hooper visual Organization Test (1983 ed)" Los Angeles: Western Psychological Services, 1983.

[43] "Introducing the Test of Variables of Attention (T.O.V.A.)". The Tova Company, [Online], Available: http://tovatest.com

[44] M. R. Asato, J. A. Sweeney, B. Luna, "Cognitive processes in the development of TOL performance", Neuropsychologia, vol. 44, no. 12, pp. 2259-2269, 2006.

[45] T. P. Alloway, G. A. Alloway, “Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment,” Journal of Experimental Child Psychology, vol. 106, no. 1, pp. 20-29, 2009.

[46] R. F. Burton, “Multiple choice and true/false tests: Reliability measures and some implications of negative marking,” Assess. Eval. High. Educ., vol. 29, no. 5, pp. 585–595, 2004.

[47] D. M. Pavlović, A. M. Pavlović. Neuropsihološka dijagnostika, Beograd, ORION ART, 2013.

[48] G. A. Talland, "Deranged Memory", New York, NY: Academic Press, 1965.

[49] L. Diller, Y. Ben-Yishay, L. J. Gerstman, R, Goodin, W. Gordon, J. Weinberg (1974). "Studies in Scanning Behavior in Hemiplegia". Rehabilitation Monograph No. 50, Studies in

Cognition and Rehabilitation in Hemiplegia, New York, NY: New York University Medical Center, Institute of Rehabilitation Medicine, 1974.

[50] S. J. Russell, P. Norvig, "Artificial Intelligence A Modern Approach, 3rd ed", Prentice Hall, 2010.

[51] N. J. Nilsson, "The Quest for Artificial Intelligence - a history of ideas and achievements", Cambridge University Press, 2010.

[52] S. Shalev-Shwartz, S. Ben-David, "Understanding Machine Learning - From Theory to Algorithms", Cambridge University Press, 2014.

[53] A. J. Malik, F.A. Khan, "A hybrid technique using binary particle swarm optimization and decision tree pruning for network intrusion detection", Cluster Computing, vol. 21, pp. 667–680, 2018. doi:10.1007/s10586-017-0971-8

[54] F. Esposito, D. Malerba, G. Semeraro, "A comparative analysis of methods for pruning decision trees", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 19, no. 5, pp. 476–492, 1997.

[55] V. Kulkarni, P. Sinha, "Pruning of random forest classifiers: a survey and future directions," in International Conference on Data Science Engineering (ICDSE) (Cochin, Kerala), pp 64-68, 2012, doi: 10.1109/ICDSE.2012.6282329

[56] B. E. Boser, I. Guyon, V. N. Vapnik, "A training algorithm for optimal margin classifiers" InProceedings of the Fifth Annual Workshop of Computational Learning Theory, vol. 5, 144-152. Pittsburgh, ACM, 1992.

[57] L. Jiang, Z. Cai, D. Wang, S. Jiang, "Survey of Improving K-Nearest-Neighbor for Classification", in Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD 2007), 2007., doi:10.1109/fskd.2007.552

[58] H. Ekanayake, "P300 and Emotiv EPOC: Does Emotiv EPOC capture real EEG?", pp. 1–8, 2011.

[59] S. Debener, F. Minow, R. Emkes, K. Gandras, and M. de Vos, "How about taking a low-cost, small, and wireless EEG for a walk?", Psychophysiology, vol. 49, no. 11, pp. 1617–1621, 2012.

[60] R. N. Khushaba, L. Greenacre, S. Kodagoda, J. Louviere, S. Burke, and G. Dissanayake, "Choice modeling and the brain: A study on the Electroencephalogram (EEG) of preferences", Expert Syst. Appl., vol. 39, no. 16, pp. 12378–12388, 2012.

[61] R. N. Khushaba, C. Wise, S. Kodagoda, J. Louviere, B. E. Kahn, and C. Townsend, "Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking", Expert Syst. Appl., vol. 40, no. 9, pp. 3803–3812, 2013.

[62] G. S. Taylor and C. Schmidt, "Empirical evaluation of the Emotiv EPOC BCI headset for the detection of mental actions", Proc. Hum. Factors Ergon. Soc., pp. 193–197, 2012.

[63] E. T. Esfahani, V. Sundararajan, "Classification of primitive shapes using brain-computer interfaces", CAD. 44. pp. 1011-1019, 2012., doi:10.1016/j.cad.2011.04.008.

[64] J. Gomez-Gil, I. San-Jose-Gonzalez, L. F. Nicolas-Alonso, and S. Alonso-Garcia, "Steering a tractor by means of an EMG-based human-machine interface", Sensors, vol. 11, no. 7, pp. 7110–7126, 2011.

[65] G. N. Ranky and S. Adamovich, "Analysis of a commercial EEG device for the control of a robot arm", in Proc. 2010 IEEE 36th Annu. Northeast Bioeng. Conf. NEBEC 2010, pp. 6–7, 2010.

[66] M. K. Mukerjee, "NeuroPhone : Brain-Mobile Phone Interface using a Wireless EEG Headset", Dartmouth Computer Science Technical Report TR2010-666, 2010.

[67] P. S. Inventado, R. Legaspi, M. Suarez, and M. Numao, "Predicting Student Emotions Resulting From Appraisal of Its Feedback", Res. Pract. Technol. Enhanc. Learn., vol. 6, no. 2, pp. 107–133, 2011.

[68] P. Bobrov, A. Frolov, C. Cantor, I. Fedulova, M. Bakhnyan, and A. Zhavoronkov, "Brain-computer interface based on generation of visual images", PLoS One, vol. 6, no. 6, 2011.

[69] M. K. Petersen, C. Stahlhut, A. Stopczynski, J. E. Larsen, and L. K. Hansen, "Smartphones get emotional: Mind reading images and reconstructing the neural sources," Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics), vol. 6975 LNCS, no. PART 2, pp. 578–587, 2011.

[70] E. T. Esfahani, V. Sundararajan, "Using Brain–Computer Interfaces To Detect Human Satisfaction in Human–Robot Interaction", Int. J. Humanoid Robot., vol. 08, no. 01, pp. 87–101, 2011.

[71] W. Zheng, B. Dong, B. Lu, "Multimodal emotion recognition using EEG and eye tracking data", in 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014, 2014., doi:10.1109/EMBC.2014.6944757

[72] W. Zheng, J. Zhu, Y. Peng and B. Lu, "EEG-based emotion classification using deep belief networks", in 2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Chengdu, 2014, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICME.2014.6890166

[73] Y. Lin, C. Wang, T. Wu, S. Jeng and J. Chen, "EEG-based emotion recognition in music listening: A comparison of schemes for multiclass support vector machine", in 2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Taipei, pp. 489-492, 2009., doi: 10.1109/ICASSP.2009.4959627

[74] D. Nie, X. Wang, L. Shi and B. Lu, "EEG-based emotion recognition during watching movies", in 2011 5th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering, Cancun, 2011, pp. 667-670, 2011., doi: 10.1109/NER.2011.5910636

[75] B. T. Nugraha, R. Sarno, D. A. Asfani, T. Igasaki, M. N. Munawar, "CLASSIFICATION OF DRIVER FATIGUE STATE BASED ON EEG USING EMOTIV EPOC+", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, vol. 86., no.3, 2016.

[76] E. T. Mampusti, J. S. Ng, J. J. I. Quinto, G. L. Teng, M. T. C. Suarez and R. S. Trogo, "Measuring Academic Affective States of Students via Brainwave Signals", in 2011 Third International Conference on Knowledge and Systems Engineering, Hanoi, pp. 226-231, 2011., doi: 10.1109/KSE.2011.4.

[77] R. N. Khushaba, C. Wise, S. Kodagoda, J. Louviere, B. E. Kahn, C. Townsend, "Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking", Expert Systems with Applications, vol. 40, no. 9, pp. 3803-3812, 2013., https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.095.

[78] I. Martinovic, D. Davies, M. Frank, D. Perito, T. Ros, D. Song, "On the feasibility of side-channel attacks with brain-computer interfaces", in Proceedings of the 21st USENIX conference on Security symposium (Security'12). USENIX Association, USA, 2012.

[79] M. Zainab, M. El Halaby, S. Tamer, S. Doaa, B. Ashraf, "Characterizing focused attention and working memory using EEG", Sensors, vol. 18, pp. 1-21, 2018.

[80] S. Bona, J. Silvanto, "Accuracy and confidence of visual short-term memory behavioral and neural dissociations", PLoS One, Published online March 24, 2014., doi:0.1371/journal.pone.0090808.

[81] Z. Khayer, V. Nejati, J. Fathabadi, "Stress induction and visual working memory performance: The effects of emotional and non-emotional stimuli", Published online May 31, 2017., doi:10.5812/bhs.57652.

[82] S. Vogel, L. Schwabe, "Learning and memory under stress: implications for the classroom", NPJ Science Of Learning, vol. 1, 16011, 2016.

[83] M. C. Chen, J. R. Anderson, M. H. Sohn, "What can a mouse cursor tell us more? correlation of eye/mouse movements on web browsing", in CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '01). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 281–282, 2001., doi:https://doi.org/10.1145/634067.634234

[84] L. Cooke, "Is the mouse a poor man's eye tracker?", in Proceedings of STC, 2006.

[85] J. Huang, R. White, G. Buscher, "User see, user point: gaze and cursor alignment in web search", in Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12). Asociation for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 1341–1350, 2012., doi:https://doi.org/10.1145/2207676.2208591

[86] "JNI - Design Overview." [Online]. Available: https://docs.oracle.com/javase/7/docs/technotes/guides/jni/spec/design.html.

[87] "The Eye Tribe" [Online]. Available: http://theeyetribe.com.

[88] G. Šimić, "Inteligentni edukativni sistem Multitutor", Master's thesis, Faculty of Organisational sciences, Belgrade, Serbia, 2004.

[89] "Emotiv." [Online]. Available: https://www.emotiv.com

[90] "Technical Specifications - EPOC+." [Online]. Available: https://emotiv.gitbooks.io/epoc-user-manual/content/introduction/technical_specifications.html.

[91] G.H. Klem, H. O. Luders, H. H. Jasper, C. Elger, "The Ten-Twenty Electrode System of the International Federation", Recommendations for the Practice of Clinical Neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Physiology (EEG Suppl. 52), pp. 3-6, 1999.

[92] "Advanced EEG Technology - Backed by Science." [Online]. Available: https://www.emotiv.com/the-science/.

[93] M. Antonijevic, G. Shimic, A. Jevremovic, M. Veinovic, "Potentials of Using Artificial Intelligence and EEG Data in Electronic Assessments", 5th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, Palic, Serbia, Zbornik radova, pp. 1253-1255, 2018.

[94] F. Eminovic, S. Arsic, "Correlation between Executive and Motor Functions in patients after a Stroke", in K. P. Bennett (ed.) Executive Functioning: Role in Early Learning Processes, Impairments in Neurological Disorders and Impact of Cognitive Behavior Therapy (CBT), pp. 323, 2014.

[95] N. Bigdely-Shamlo, A. Vankov, R. R. Ramirez, S. Makeig, "Brain activity-based image classification from rapid serial visual presentation", IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 16, no. 5, pp. 432-441, 2008.

[96] T. Kawakami, T. Ogawa, M. Haseyama, "Novel image classification based on decision-level fusion of EEG and visual features", in 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Florence, pp. 5874-5878, 2014.

[97] P. Suppes, B. Han, J. Epelboim, Z. Lu, "Invariance of brain-wave representations of simple visual images and their names," in Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 96, no. 25, pp. 14658-14663, 2000.

[98] S. Taylor, T. Seeman, N. Eisenberger, T. Kozanian, A. Moore, W. Moons, "Effects of a supportive or an unsupportive audience on biological and psychological responses to stress", Journal of Personality and Social Psychology, vol. 98, no. 1, pp. 47-56, 2010.

[99] N. Bolger, D. Amarel, "Effects of social support visibility on adjustment to stress: Experimental evidence", Journal of Personality and Social Psychology, no. 92, vol. 3, pp. 458-475, 2007.

[100] N. Bolger, A. Zuckerman, R. C. Kessler, "Invisible support and adjustment to stress", Journal of Personality and Social Psychology, vol. 79, no. 6, pp. 953-961, 2000.

[101] I. Deng, L. Chung, N. Talwar, F. Tam, N. W. Churchill, T. A. Schweizer, S. J. Graham, "Functional MRI of Letter Cancellation Task Performance in Older Adults", Front. Hum. Neurosci., 2019., doi: 10.3389/fnhum.2019.00097

[102] H. M. Geurts, S. Begeer, L. Stockmann, "Brief Report: Inhibitory Control of Socially Relevant Stimuli in Children with High Functioning Autism" J Autism Dev Disord 39, 1603, 2009.

[103] T. Ionescu, "Exploring the nature of cognitive flexibility", New Ideas in Psychology, vol. 30, no. 2, 190–200, 2012., doi: https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2011.11.001

[104] A. Diamond, "The Early Development of Executive Functions", 2006. doi:10.1093/acprof:oso/9780195169539.003.0006.

Objavljeni radovi:

M. Antonijevic, M. Zivkovic, S.Arsic, A. Jevremovic, "Using AI-Based Classification Techniques to Process EEG Data Collected during the Visual Short-Term Memory Assessment", Journal of Sensors, vol. 2020, 2020., https://doi.org/10.1155/2020/8767865

M. Antonijevic, G. Shimic, A. Jevremovic, M. Veinovic, S. Arsic, "The Potential for the Use of EEG Data in Electronic Assessments", Serbian Journal of Electrical Engineering, vol. 15, no. 3, pp. 339-351, 2018., DOI: https://doi.org/10.2298/SJEE1803339A

Primena veštačke inteligencije za analizu interakcije između čoveka i računara i procenu kognitivnih performansi

ORIGINALITY REPORT

3%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	www.cognifit.com Internet	292 words — 1%
2	www.hindawi.com Internet	194 words — 1%
3	www.cris.uns.ac.rs Internet	83 words — < 1%
4	www.scribd.com Internet	67 words — < 1%
5	0579-6431, 2008 Publications	21 words — < 1%
6	nardus.mpn.gov.rs Internet	20 words — < 1%
7	community.oracle.com Internet	17 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE MATCHES < 10 WORDS